

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

국어 영역 (생명과학 II)

성명		수험 번호																	
----	--	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- 문제지의 해당란에 성명과 수험번호를 정확히 쓰시오.
- 답안지의 필적 확인란에 다음의 문구를 정자로 기재하시오.

**그 어떤 간청도 그대가 선량함과
연민을 베풀어 이 생물을 좋아할 수 없는가?**

- 답안지의 해당란에 성명과 수험번호를 쓰고, 또 수험번호와 답을 정확히 표시하시오.
- 문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고하시오.
배점은 2점 또는 3점입니다.

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

제 1 교시

국어 영역

1. 생명 과학의 역사

생명체의 기본 단위인 세포가 발견된 이후 생명 과학자들은 다양한 종류의 세포를 관찰하였다. 현미경 제작 기술이 향상됨에 따라 살아 있는 세포의 내부를 관찰하고 연구하게 되었으며, 모든 생물은 하나 이상의 세포로 이루어져 있다는 세포설이 등장하였다. 이후 새로운 세포는 살아 있는 세포로부터만 들어진다는 사실이 밝혀지면서 세포설이 확립되었고, 세포의 구조와 기능을 활발하게 연구하기 시작하였다. 특히 전자 현미경의 발달로 미토콘드리아, 세포막, 리보솜 등의 구조와 세포 분열에 관한 지식이 축적되면서 세포 소기관의 기능을 자세히 연구하게 되었다.

오늘날 세포의 연구는 세포 주기 조절과 암세포 연구로 이어져 사람의 질병 치료를 위한 기초로 활용되고 있다.

17세기에 레이우엔훅이 자신이 만든 현미경을 이용하여 맨눈으로는 보이지 않는 미생물을 발견하였고 파스퇴르(Pasteur, L., 1822~1895)는 S자형(백조의 목)의 플라스크를 이용하여 공기 속에 미생물이 존재한다는 것을 밝힘으로써 생물속생설을 입증하였다.

19세기 중반에 이르러 발효가 미생물에 의해 일어난다는 것이 밝혀지면서 미생물의 연구가 활발히 진행되었다. 이후 탄저균, 결핵균과 같은 세균이 전염병을 일으키는 원인이라는 것이 밝혀지면서 소독법과 멸균법이 개발되어 수술 후 상처 부위의 세균 감염에 의한 사망률을 크게 줄일 수 있게 되었다.

또, 전염병의 원인과 감염 경로를 밝히기 위한 연구가 진행되었고, 전염병을 예방할 수 있는 백신이 개발되었다. 그리고 플레밍(Fleming, Sir A., 1881 ~1955)이 세균 배양 접시에 핀 푸른곰팡이에서 세균의 증식을 억제하는 페니실린을 발견하고 항생제가 대량으로 만들어지면서 세균성 전염병으로 고통받는 수많은 환자를 치료할 수 있게 되었다.

19세기 말에 담배모자이크병에 걸린 식물을 연구하는 과정에서 바이러스가 발견되었고, 담배모자이크바이러스(TMV)의 결정을 얻으면서 바이러스의 구조가 확인되었다. 이후 TMV를 비롯한 여러 종류의 바이러스를 전자 현미경으로 관찰하게 되면서 바이러스의 구조적 특징과 생명 현상에 관한 연구가 활발하게 진행되었다. 이를 통해 감기, 소아마비, 천연두, 후천성 면역 결핍증(AIDS) 등이 바이러스성 질환이라는 것이 밝혀졌으며, 바이러스성 질환의 치료제 및 백신을 개발하기 위한 연구가 계속되고 있다.

생물 분류는 고대 그리스 시대부터 아리스토텔레스(Aristoteles, B.C. 384~B.C. 322)를 비롯한 여러 과학자에 의해 이루어졌지만, 18세기까지 큰 발전은 없었다. 18세기 이후에 린네에 의해 체계적인 생물 분류가 시작되었다. 또, 화석이 발견되고 지질학이 발달하면서 생물이 변화할 수 있다는 생각을 하게 되었다. 이러한 영향을 받은 다윈은 오랜 연구를 통해 자연 선택에 의한 진화를 주장하는 『종의 기원』이란 책을 출판하였다. 다윈의 진화론은 전 세계적으로 대단한 논란을 불러일으켰다. 그러나 여러 과학자가 다윈의 진화론을 검증하고 수정·보완하면서 진화론은 점차 생명 과학의 여러 분야를 통합하는 이론으로 자리 잡게 되었다.

진화론의 확립으로 유전학을 비롯한 생명 과학의 거의 모든 분야는 생물의 진화에 근거하여 생명 현상을 설명하는 방향으로 발전하였다. 또, 진화론은 생명 과학뿐만 아니라 정치, 경제, 사회, 문화, 철학 등 많은 분야에 큰 영향을 미쳤다.

19세기 전까지 사람들은 자손이 부모를 닮는 것은 부모의 형질이 액체처럼 혼합된 방식으로 자손에게 전달되기 때문이라고 믿었다. 그러나 19세기에 멘델이 완두의 교배 실험 결과를 분석하여 부모의 형질은 섞이거나 변형되지 않는 입자인 유전 인자의 형태로 자손에게 전달된다는 것을 알아냈다. 그 당시 과학자들은 염색체의 존재를 몰라 멘델의 연구 결과에 관심을 보이지 않았으나, 이후 여러 과학자에 의해 멘델 법칙이 재발견되었다.

세포의 구조와 세포 분열에 관한 연구가 진행되면서 멘델 법칙의 정확한 해석이 이루어졌고, 유전자는 세포의 어느 곳에 있는가와 유전자를 구성하는 물질은 무엇인가에 과학자들은 관심을 두게 되었다. 모건은 여러 개의 유전자가 염색체의 일정한 위치에 존재한다는 것을 밝혔고, 초파리의 X 염색체에 의한 유전을 연구하였다. 멀러는 초파리의 돌연변이를 인공적으로 유도할 수 있다는 것과 돌연변이가 염색체와 유전자의 변화로 일어난다는 것을 발견하였다.

유전학의 발달에 힘입어 과학자들은 유전자가 어떤 방식으로 형질을 나타내는지를 연구하였다. 비들과 테이텀은 유전자 하나에 의해 효소 하나가 합성된다는 것을 밝혔으며, 이들의 연구로 분자 수준에서 생명 현상을 다루는 분자 생물학의 기틀이 마련되었다.

염색체가 단백질과 핵산으로 이루어져 있다는 것이 밝혀진 후 여러 과학자의 연구로 DNA가 유전 물질이라는 것이 증명되었다. DNA가 유전 물질이라는 것과 핵산의 구성 성분이 밝혀지면서 과학자들은 DNA의 입체 구조를 알아내기 위한 연구에 박차를 가하였다. 1953년에 마침내 왓슨과 크릭이 DNA가 이중 나선 구조로 이루어져 있다는 것을 알아냈고, 이후 유전 부호가 모두 해독되었다.

분자 생물학의 발달로 생물의 발생, 성장, 노화, 유전병의 원인 등과 같은 생명 현상을 분자 수준에서 설명하는 것이 가능해졌다. 1970년 이후에는 유전 현상을 설명하는 단계에서 나아가 유전자를 인위적으로 다룰 수 있게 되면서 유전자 재조합 기술이 탄생하였다. 1980년대에는 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 이용하여 소량의 DNA를 많은 양으로 증폭할 수 있게 됨으로써 유전자의 작용에 관한 연구뿐만 아니라 여러 종류의 유전병과 감염성 질환을 진단하는 기술 등이 획기적으로 발전하였다. 또, DNA 염기 서열 자동 분석기를 통해 생물의 유전체를 빠르고 쉽게 분석할 수 있게 되었다.

21세기에 들어 생명 과학은 생물 정보학, 의생명 과학, 법의학, 뇌 과학 등과 같은 여러 학문 분야와 융합된 형태의 학문으로 발전하고 있다. 그리고 생명 현상을 연구하는 수준을 넘어 의약품의 대량 생산, 유전병 치료, 식량 생산 증대, 환경 오염 방지 등 인류 복지에 이바지하는 종합 학문으로서 그 영역을 계속 확대해 나가고 있다.

19세기 말에 개에게서 이자를 떼어 내면 당뇨병이 생긴다는

사실이 발견된 이후, 과학자들은 이자에서 인슐린을 순수하게 분리하는 방법을 고민하였다. 1920년에 캐나다의 의사 밴팅(Banting, F. G., 1891~1941)은 이자에서 분비되는 물질이 당뇨병과 관계있다는 논문을 읽은 후, 개를 연구 대상으로 하여 이자에서 인슐린을 추출하는 데 성공하였다. 이후 순수한 인슐린을 분리하였고, 당뇨병 환자에게 인슐린을 주사하는 임상 시험을 하여 혈당량이 감소하는 결과를 얻게 되었다.

밴팅이 인슐린을 분리할 수 있었던 것은 문헌 조사를 통해 의문을 갖고, 의문을 해결하기 위한 가설을 세운 다음 반복적인 실험을 끈기 있게 수행했기 때문이다.

오스트리아의 동물 행동학자 로렌츠(Lorenz, K., 1903~1989)는 야생 동물을 직접 찾아가 관찰하거나, 집에서 야생 동물을 키우면서 동물 행동을 연구하였다. 로렌츠는 회색기러기 새끼들이 갓 태어났을 때 처음 본 움직이는 물체를 어미로 각인한다는 것을 밝혔다.

로렌츠의 동물 행동 연구에서는 자연환경에서 동물을 관찰하여 얻은 사실을 토대로 회색기러기의 행동 연구 결과를 분석하는 탐구 방법이 사용되었다.

이처럼 생명 과학의 발달에 이바지한 발견들에서는 가설을 설정한 후 탐구를 설계하고 수행하여 얻은 결과를 정리·분석함으로써 가설의 옳고 그름을 확인하는 연역적 탐구 방법과, 어떤 현상을 관찰하여 얻은 자료를 종합하여 결론을 내리는 귀납적 탐구 방법이 사용되었다.

DNA 이중 나선 구조 발견을 비롯한 생명 과학의 연구에 사용된 탐구 과정에서 가장 중요한 것은 생명 현상의 관찰과 과학적 실험이며, 나아가 생명 과학자의 창의성과 많은 시행착오를 겪어도 굴하지 않는 도전 정신이라고 할 수 있다.

1. (가)~(다)는 생명 과학자 ㉠~㉣의 주요 성과이다. ㉠~㉣은 플레밍, 파스퇴르, 레이우엔훅을 순서 없이 나타낸 것이다.

- (가) ㉠은 생물 속생설을 입증하였다.
- (나) ㉡은 ㉢에서 페니실린을 발견하였다.
- (다) ㉣은 자신이 만든 현미경으로 세균을 관찰하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 파스퇴르이다.
 - ㄴ. ㉢은 바이러스이다.
 - ㄷ. (가)~(다)를 시대 순으로 배열하면 (다)→(나)→(가)이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 생명체의 구성

다세포 생물은 수많은 세포로 이루어져 있으며, 각각의 세포는 독자적인 생명 활동을 유지하고 유기적으로 결합하여 정교한 체제를 이룬다. 다세포 생물에서는 형태와 기능이 비슷한 세포가 모여 조직을 이루고, 여러 조직이 모여 고유한 기능을 하는 기관을 형성한다. 그리고 여러 기관이 모여 독립된 구조와 기능을 가지고 생활하는 하나의 생명체인 개체가 된다.

동물의 조직에는 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직이 있다. 이러한 조직이 모여 특정 기능을 수행하는 기관을 이루고, 연관된 기능을 하는 기관들이 모여 기관계가 된다. 예를 들면 순환계는 심장과 혈관 등의 기관들이 기능적으로 서로 연결되어 혈액 순환이라는 기능을 수행하는 기관계이다. 동물의 기관계에는 소화계, 호흡계, 배설계, 신경계, 생식계 등이 있으며, 여러 기관계가 모여서 하나의 개체를 이룬다.

식물의 조직에는 분열 조직, 표피 조직, 유조직, 통도 조직 등이 있다. 이러한 조직이 모여 일정한 기능을 수행하는 조직계를 이룬다. 식물의 조직계에는 표피 조직계, 관다발 조직계, 기본 조직계가 있으며, 각각의 조직계는 식물체 전체에 연속적으로 연결되어 기관을 구성한다. 식물의 기관으로는 뿌리, 줄기, 잎, 꽃, 열매가 있으며, 서로 다른 일을 하는 여러 기관이 모여서 하나의 개체를 이룬다. 다세포 생물의 몸은 유기적인 구성 체제를 갖추고 있어 여러 가지 생명 활동을 효과적으로 수행할 수 있다.

생명체는 주로 물과 탄소 화합물로 이루어져 있다. 탄소 화합물에는 탄수화물, 지질, 단백질, 핵산이 있으며, 그중 탄수화물, 단백질, 핵산은 단위체가 긴 사슬 형태로 연결되어 형성된 물질이다. 생명체를 구성하는 탄소 화합물은 종류에 따라 구성 비율이 다르며, 생명 활동에 중요한 역할을 한다.

탄수화물은 단당류, 이당류, 다당류로 구분한다. 단당류는 가장 단순한 형태의 탄수화물로 탄소 골격의 탄소 수에 따라 구분하며, 포도당, 과당, 갈락토스는 6탄당에 해당한다. 포도당과 같은 단당류는 세포의 주된 에너지원으로 이용된다.

이당류는 단당류 두 분자가 결합한 것으로 엿당, 젖당, 설탕이 있다. 엿당은 포도당과 포도당, 젖당은 갈락토스와 포도당, 설탕은 포도당과 과당이 결합하여 형성된다.

다당류는 수백 또는 수천 개의 단당류가 결합한 것으로, 녹말, 글리코젠, 셀룰로스 등이 있다. 녹말은 식물의 뿌리, 열매, 줄기, 잎 등에 저장되고, 글리코젠은 동물의 간이나 근육 등에 저장된다. 셀룰로스는 식물 세포의 세포벽을 구성하는 물질로, 식물 세포를 구조적으로 지지하는 역할을 한다.

지질은 물에는 잘 녹지 않지만 유기 용매에는 잘 녹는다. 지질은 성분이나 구조에 따라 중성 지방, 인지질, 스테로이드 등으로 구분된다. 중성 지방은 지방산과 글리세롤로 구성되는데, 생명체 내에서 에너지 저장 물질로 이용되며 동물의 체온을 유지하는 데 중요하다. 인지질은 주로 세포막을 구성하는 성분이며 인산을 함유하고 있다. 스테로이드는 4개의 고리가 연결된 구조로, 성호르몬, 부신 결절 호르몬 등의 구성 성분이다. 대표적인 예로는 콜레스테롤이 있으며, 콜레스테롤은 인지질과 함께 동물의 세포막을 구성한다.

생명체 내에는 특정한 구조와 기능을 가진 다양한 종류의 단백질이 있다. 단백질은 여러 종류의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 화합물이다. 단백질을 구성하는 아미노산의 수, 종류, 서열에 따라 구조가 달라져 서로 다른 종류의 단백질이 된다. 단백질의 다양한 기능은 폴리펩타이드 사슬의 입체 구조에 의해 결정된다.

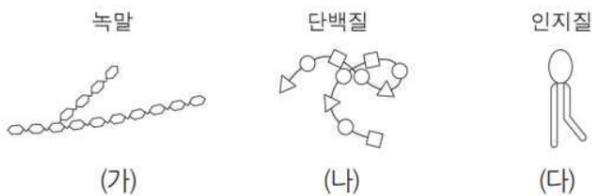
단백질의 입체 구조는 온도, pH 등의 환경 조건에 영향을 받는다. 환경 조건의 변화에 의해 단백질이 제 기능을 할 수 없도록 입체 구조가 변하는 것을 변성이라고 한다.

단백질은 호르몬, 효소, 항체의 성분으로 세포 사이의 정보 교환, 물질대사 조절, 방어 작용 등의 역할을 하며 동물의 근육, 뼈, 힘줄, 피부 등을 구성한다.

핵산의 종류에는 디옥시리보 핵산(DNA)과 리보핵산(RNA)이 있다. 핵산은 많은 수의 뉴클레오타이드가 결합하여 형성된 폴리뉴클레오타이드이다. 뉴클레오타이드는 염기, 당, 인산이 1:1:1로 결합되어 있다. 염기는 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기로 나눈다. 퓨린 계열 염기에는 아데닌(A)과 구아닌(G)이 있고, 피리미딘 계열 염기에는 사이토신(C), 타이민(T), 유라실(U)이 있다. 아데닌, 구아닌, 사이토신은 DNA와 RNA에 모두 있으며, 타이민은 DNA에만, 유라실은 RNA에만 있다. 염기에 연결된 당은 5탄당으로 DNA의 당은 디옥시리보스이고, RNA의 당은 리보스이다.

DNA는 이중 나선 구조로, 유전 정보를 저장한다. RNA는 단일 가닥으로, 유전 정보에 따라 단백질을 합성하는 과정에 관여한다. 탄수화물, 단백질, 핵산 등은 단위체의 구성에 따라 다양한 종류가 형성되어 생명체의 구성 물질로 이용되거나, 여러 가지 생명 현상에서 많은 역할을 담당한다.

2. 그림 (가)~(다)는 녹말, 단백질, 인지질을 나타낸 것이다.

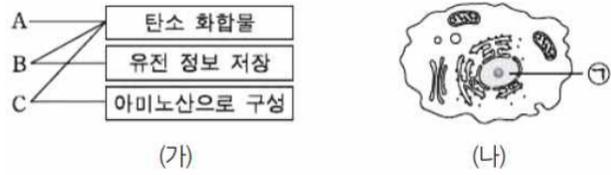


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >
 ㄱ. (가)의 구성 원소는 C, H, O이다.
 ㄴ. (나)에는 펩타이드 결합이 존재한다.
 ㄷ. (다)는 세포막의 구성 성분이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 그림 (가)는 물질 A~C와 그것의 특성을 선으로 연결하여 나타낸 것이다. A~C는 각각 단백질, 탄수화물, 핵산 중 하나이다. 그림 (나)는 동물 세포를 나타낸 것이며, ㉠은 세포 소기관이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >
 ㄱ. 콜레스테롤은 A에 속한다.
 ㄴ. B의 구성 단위는 뉴클레오타이드이다.
 ㄷ. ㉠에는 C가 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

4. 인지질과 RNA에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >
 ㄱ. 세포막의 구성 성분에는 인지질이 있다.
 ㄴ. RNA의 기본 단위는 아미노산이다.
 ㄷ. 인지질과 RNA의 구성 원소에 모두 인(P)이 포함된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

3. 세포의 구조와 기능

세균은 동물 세포나 식물 세포와 달리 막으로 둘러싸인 핵을 가지고 있지 않은데, 이처럼 막으로 둘러싸인 핵이 없는 세포를 **원핵세포**라고 한다. 원핵세포의 세포질에는 하나의 원형 DNA가 응축되어 있으며, 미토콘드리아, 골지체, 소포체, 엽록체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다.

식물 세포나 동물 세포와 같이 막으로 둘러싸인 핵을 가지고 있는 세포를 **진핵세포**라고 한다. 진핵세포의 핵 속에는 여러 개의 선형 DNA가 있으며, DNA는 단백질과 함께 염색체를 구성한다. 세포 내에는 미토콘드리아, 골지체, 소포체, 엽록체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 존재한다.

단백질을 합성하는 리보솜은 원핵세포와 진핵세포에 모두 존재하지만, 원핵세포의 리보솜이 진핵세포의 리보솜보다 크기가 작다.

원핵세포로 이루어진 원핵생물은 모두 하나의 세포로 구성되며 모양이 다양하고, 뜨거운 온천이나 염분의 농도가 높은 소금물 환경에서 살 수 있는 것도 있다. 진핵세포로 이루어진 진핵생물은 하나의 세포 또는 많은 수의 세포로 구성된다.

오늘날에는 다양한 현미경과 염색법 등의 발달로 세포 소기관의 미세한 구조까지 볼 수 있게 되었다. 또, 세포 분획법과 자기 방사법 등을 이용하여 세포 소기관의 기능을 자세히 연구할 수 있다.

세포의 구조를 관찰하는 데 일반적으로 사용되는 현미경은 광학 현미경이다. 광학 현미경은 대물렌즈와 접안렌즈를 통해 가시광선을 굴절시켜 확대된 상을 얻는다. 광학 현미경을 이용하면 살아 있는 세포의 모양과 길이뿐만 아니라 핵, 엽록체, 엽록체, 미토콘드리아 등을 관찰할 수 있다. 또, 관찰하려는 세포 소기관을 염색하면 해당 세포 소기관을 좀 더 잘 구별할 수 있다.

광학 현미경의 종류에는 일반적인 광학 현미경 외에 위상차 현미경, 형광 현미경, 간섭 현미경 등이 있다.

광학 현미경보다 높은 배율과 해상력을 가진 전자 현미경이 개발되면서 세포 소기관의 내부 구조를 관찰할 수 있게 되었다. 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 전자렌즈로 굴절시켜 물체의 상을 확대한다. 전자 현미경에는 투과전자 현미경(TEM)과 주사 전자 현미경(SEM)이 있다. 투과전자 현미경은 전자를 시료의 얇은 단면에 투과시켜 컴퓨터 화면에 시료 단면의 영상을 형성하고, 주사 전자 현미경은 시료 표면에 전자를 주사하여 컴퓨터 화면에 시료 표면의 3차원 입체 영상을 형성한다.

세포 분획법은 세포 내의 구성 물질이나 세포 소기관을 서로 분리하는 기술이다. 세포 분획을 하기 위해서는 먼저 세포나 조직을 파쇄한 후, 세포 파쇄액을 원심 분리기에 넣어 회전시킨다. 원심 분리기를 이용하여 세포 파쇄액이 들어 있는 시험관을 다양한 속도로 회전시키면 세포 소기관들이 바닥에 가라앉아 침전물이 형성된다. 느린 속도에서는 비교적 크고 무거운 핵 등이 포함된 침전물이 형성되고, 속도를 증가시키면 엽록체, 미토콘드리아, 소포체, 리보솜 등의 순서로 세포 소기관이 포함된 침전물이 가라앉아 분리된다.

세포 분획법은 특정한 세포 소기관의 구조나 기능을 연구하기 위해 그 세포 소기관을 대량으로 얻고자 할 때 사용된다.

방사성 동위 원소가 표지된 화합물을 세포에 공급하고 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법을 자기 방사법이라고 한다. 자기 방사법은 세포 내에서 물질의 이동이나 변화 과정을 알아보고자 할 때 이용된다.

^{14}C 로 표지된 아미노산이 들어 있는 배양액에 세포를 배양하면서 시간 경과에 따라 방사선을 방출하는 세포 소기관을 조사하면, 세포 내에서 단백질이 합성되어 이동하는 경로를 알 수 있다.

세포는 여러 가지 물질을 합성하고, 합성한 물질을 세포 내의 필요한 장소로 보내거나 저장하며, 세포 밖으로 분비하기도 한다. 이러한 생명 활동은 여러 세포 소기관들이 서로 연관되어 유기적으로 작용함으로써 이루어진다.

세포가 합성하는 물질 중 단백질은 세포를 구성하는 주요 성분이고, 세포 내에서 일어나는 대부분의 생명 활동을 조절하는 데 관여한다. 핵 속에 있는 DNA의 유전 정보에 따라 세포에서 단백질이 합성되고, 단백질의 기능에 따라 세포의 생명 활동 특성이 결정된다. 따라서 핵은 세포의 구조와 기능을 결정하고, 세포의 생명 활동을 조절하는 역할을 한다.

핵은 핵막으로 둘러싸여 있으며, 핵막은 각각 인지질 2중층으로 된 외막과 내막으로 이루어져 있다. 핵막에는 핵공이라는 작은 구멍이 있어 이곳을 통해 RNA, 단백질 등의 물질이 출입한다. 세포의 핵 속에는 인이라는 구조가 있다. 인에서는 rRNA(리보솜 RNA가 합성되며, rRNA는 핵공을 통해 들어온 리보솜 단백질과 합쳐져 리보솜 단위체가 된다.

리보솜은 rRNA와 단백질로 구성되며 2개의 단위체가 결합된 형태이다. 리보솜은 세포질에서 유전 정보에 따라 단백질을 합성하므로 단백질 합성이 활발한 세포에서 많이 발견된다. 리보솜은 세포질 내에서 자유롭게 떠다니거나 소포체에 붙어 있다.

소포체는 막으로 이루어진 세포 소기관으로, 핵막에 부분적으로 연결되어 있다. 소포체에는 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체와 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체가 있다. 거친면 소포체는 리보솜에서 합성된 단백질을 이동시키는 통로 역할을 하며, 합성된 단백질은 소포체 막에서 분리된 소낭을 통해 세포 내 다른 부위로 이동한다. 매끈면 소포체는 막에 효소가 있어 지방, 인지질 등의 지질을 합성하는 역할을 하며, 칼슘 이온의 저장과 독성 물질의 제거에 관여한다.

골지체는 납작한 주머니인 시스терна가 겹쳐져 있는 세포 소기관으로, 소포체로부터 수송된 단백질과 지질을 변형하고 분류하여 다른 목적지로 보낸다. 골지체는 소포체와 달리 내부가 서로 연결되어 있지 않으며, 소낭을 통해 물질을 세포의 다른 부위로 운반하거나 세포 밖으로 분비한다.

물질이 합성되어 분비되기까지의 과정에 관여하는 세포 소기관을 살펴보자. 세포는 생명 활동에 필요한 에너지를 얻기 위해 물질대사를 통하여 에너지를 전환한다. 세포에서 에너지 전환 과정을 담당하는 세포 소기관에는 미토콘드리아와 엽록체가 있다.

미토콘드리아는 거의 모든 진핵세포에 존재하며, 세포 호흡으로 ATP가 합성되는 곳이다. 미토콘드리아는 두 겹의 막으로 둘러싸여 있으며, 세포 호흡에 관여하는 여러 가지 효소를 가지고 있다. 또, DNA와 리보솜을 가지고 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

엽록체는 주로 식물에서 발견되는 세포 소기관으로, 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 포도당을 합성하는 광합성이 일어나는 곳이다. 엽록체는 두 겹의 막으로 둘러싸여 있으며, 광합성 색소와 에너지를 전환하는 데 관여하는 효소를 가지고 있다. 또, DNA와 리보솜을 가지고 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

세포 내에서는 고분자 물질이 분해되어 재활용되고, 손상된 소기관이 분해된다. 그리고 세포는 물질을 저장할 수도 있다.

리소좀은 주로 동물 세포에서 발견되며, 막으로 둘러싸인 주머니 모양의 세포 소기관이다. 리소좀에는 탄수화물, 단백질, 지질, 핵산 등을 분해할 수 있는 여러 종류의 가수 분해 효소가 들어 있어, 세포내 소화를 담당한다. 또 세포 내로 들어온 물질을 분해하거나 손상된 세포 소기관을 자가 분해하기도 한다.

액포는 막으로 둘러싸인 주머니 모양의 세포 소기관으로, 세포의 종류에 따라 기능이 다양하다. 특히 성숙한 식물 세포에서 형성되는 액포는 단백질, 무기염류, 색소 등을 저장하며, 세포 내부의 수분 함량을 조절한다.

세포벽은 세포막 바깥쪽에 형성되는 구조물로, 식물 세포에서는 주성분이 셀룰로스이다. 세포벽은 물과 용질을 모두 통과시키는 구조로 물질 출입을 조절하는 능력은 없고 세포를 보호하고 모양을 유지하는 역할을 한다. 어린 식물 세포에서 얇은 1차 세포벽이 형성되고, 세포가 성숙하면서 세포막과 1차 세포벽 사이에 2차 세포벽이 합성됨으로써 세포벽은 더욱 두껍게 발달한다.

세포질에는 단백질로 구성된 그물 모양의 지지 구조가 있는데, 이를 **세포 골격**이라고 한다. 세포 골격의 중요한 기능은 세포의 모양을 유지하는 것이며, 미세 섬유, 중간 섬유, 미세 소관으로 구분된다. 미세 섬유는 세포 내의 물질 이동과 근육 섬유의 수축에 관여한다. 중간 섬유는 핵과 세포 소기관의 위치를 고정하는데 중요한 역할을 한다. 미세 소관은 세포 소기관이나 세포 분열 시 염색체의 이동에 관여하며 중심체, 방추사, 섬모, 편모 등을 구성한다.

편모와 **섬모**는 세포의 운동 기관이다. 섬모는 길이가 짧고 수가 많으며, 편모는 길이가 길고 수가 적다. 편모와 섬모는 미세 소관으로 이루어져 있다.

5. 표는 세포 연구에 이용하는 실험 방법 (가)~(다)의 내용을 나타낸 것이다. (가)~(다)는 세포 분획법, 자기 방사법, 현미경을 이용한 방법을 순서 없이 나타낸 것이다.

실험 방법	내용
(가)	광학 현미경으로 세포를 관찰한다.
(나)	원심 분리기를 이용하여 세포 파쇄액으로부터 세포 소기관을 분리한다.
(다)	방사성 동위 원소로 표지된 아미노산을 세포에 주입한 후 시간에 따라 방출되는 방사선을 추적한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

— < 보 기 > —

ㄱ. (가)는 자기 방사법이다.
 ㄴ. (나)를 이용하여 식물 세포로부터 엽록체를 분리할 수 있다.
 ㄷ. (다)를 이용하여 방사성 동위 원소로 표지된 단백질의 세포 내 이동 경로를 추적할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

6. 다음은 단백질 X의 이동 경로에 대한 자료이다.

어떤 세포에서 방사성 동위 원소로 표지된 단백질 X의 이동 경로를 추적하였더니, X는 A에서 B를 거쳐 세포 밖으로 이동하였다. A와 B는 골지체와 소포체를 순서 없이 나타낸 것이다.

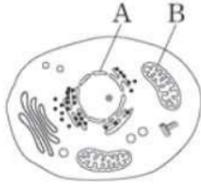
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

— < 보 기 > —

ㄱ. A는 소포체이다.
 ㄴ. B는 2중막을 갖는다.
 ㄷ. X의 이동 경로 추적에 자기 방사법이 이용되었다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

7. 그림은 동물 세포의 구조를 나타낸 것이다.
 A와 B는 각각 핵과 미토콘드리아 중 하나이다.
 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서
 있는 대로 고른 것은?

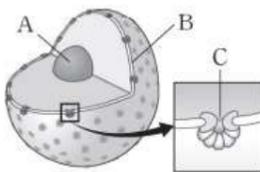


————— < 보 기 > —————

ㄱ. A에는 DNA가 있다.
 ㄴ. B는 대장균에도 있다.
 ㄷ. A와 B는 모두 2중막을 갖는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

8. 그림은 세포의 핵 구조를 나타낸 것이다.
 A~C는 각각 인, 핵공, 핵막 중 하나이다.
 이에 대한 설명으로 옳은 것만을
 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



————— < 보 기 > —————

ㄱ. A에서 rRNA가 합성된다.
 ㄴ. B는 인지질을 가진다.
 ㄷ. C를 통해 mRNA가 핵에서 세포질로 이동한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

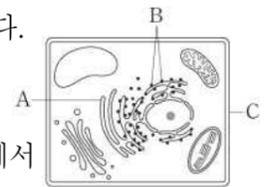
9. 대장균과 시금치의 공변세포가 공통으로 갖는 특징만을 <보
 기>에서 있는 대로 고른 것은?

————— < 보 기 > —————

ㄱ. 세포벽을 가진다.
 ㄴ. 세포질에서 단백질 합성이 일어난다.
 ㄷ. 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 가진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10. 그림은 식물 세포의 구조를 나타낸 것이다.
 A~C는 리보솜, 세포벽, 매끈면 소포체를
 순서 없이 나타낸 것이다.
 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서
 있는 대로 고른 것은?



————— < 보 기 > —————

ㄱ. A는 매끈면 소포체이다.
 ㄴ. B에서 단백질 합성이 일어난다.
 ㄷ. C의 구성 성분에는 셀룰로스가 포함된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 세포막을 통한 물질의 출입

세포막을 구성하는 주성분은 인지질과 단백질이다. 한 분자의 인지질은 인산기가 있는 친수성 부분과 지방산이 있는 소수성 부분을 함께 가지고 있다. 세포의 안과 밖은 모두 수용성 환경이므로, 인지질의 친수성 인산 부분이 양쪽 바깥으로 배열되고 소수성 지방산 부분이 서로 마주 보며 배열된다. 따라서 세포막은 인지질 2중층 구조를 이룬다. 또, 여러 종류의 단백질이 인지질 2중층을 관통하거나, 인지질 2중층에 파묻혀 있거나 표면에 붙어 있다. 대부분의 막단백질도 친수성과 소수성 부분을 함께 가지고 있다. 인지질과 단백질은 모두 특정 위치에 고정되어 있는 것이 아니라 유동성이 있어 움직일 수 있다.

세포막은 세포를 외부와 구분 짓고, 다른 세포나 외부의 물질을 인식하는 등 다양한 기능을 한다. 그러나 세포막의 가장 중요한 기능은 세포 안팎으로의 물질 이동을 조절하는 것이다. 세포막을 통한 물질의 이동은 물질의 종류에 따라 선택적으로 일어난다.

세포막을 통한 물질 이동에는 에너지를 사용하지 않는 수동 수송과 에너지를 사용하는 능동 수송이 있다. 물질의 분포 차이에 의한 농도 기울기에 따라 물질이 이동하는 확산과 삼투는 수동 수송에 해당한다. 반면에, 세포막의 어떤 막단백질은 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 물질을 이동시킬 수 있는데, 이러한 물질 이동은 능동 수송에 해당한다.

산소, 이산화 탄소와 같은 분자는 세포막의 인지질 2중층을 쉽게 통과한다. 이처럼 분자들이 농도 기울기에 따라 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 현상을 **단순 확산**이라고 한다. 폐포와 모세 혈관 사이에서 일어나는 산소와 이산화 탄소의 이동은 단순 확산의 예이다.

이온, 포도당, 아미노산과 같은 분자는 인지질 2중층을 직접 통과하기 어려워 막단백질의 도움을 받아 이동한다. 막단백질을 통해 농도 기울기에 따라 물질이 이동하는 현상을 **촉진 확산**이라고 한다. 신경 세포에서 흥분 전도 시 Na^+ 통로가 열려 Na^+ 이 세포 밖에서 안으로 이동하는 것은 촉진 확산의 예이다.

설탕 분자는 통과할 수 없고 물 분자는 통과할 수 있는 선택적 투과성 막 사이에 둔 U자관에 농도가 다른 설탕 용액을 넣는다고 가정해 보자. 선택적 투과성 막의 구멍을 설탕 분자는 통과할 수 없고 물 분자는 통과할 수 있으므로, 물의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물이 확산된다. 따라서 시간이 지남에 따라 농도가 높은 설탕 용액의 높이는 높아지고, 농도가 낮은 설탕 용액의 높이는 낮아진다. 이처럼 선택적 투과성 막 사이에 두고 물의 농도 기울기에 따라 물이 확산하는 현상을 **삼투**라고 한다.

동물 세포인 적혈구를 저장액인 증류수에 넣으면 삼투에 의해 물이 빠져나가는 속도보다 적혈구 안으로 들어오는 속도가 빨라 적혈구가 부풀어 오르게 되며, 결국 적혈구의 막이 터지는 **용혈**이 일어난다. 반대로 적혈구를 고장액에 넣어 두면 물이 적혈구 안으로 들어오는 속도보다 밖으로 빠져나가는 속도가 빨라 적혈구가 쪼그러든다. 등장액에서는 물의 이동이 양방향으로 같은 속도로 일어나 적혈구의 모양이 정상 상태를 유지한다.

식물 세포를 저장액에 넣으면 물이 세포 안으로 들어오는 속도가 밖으로 빠져나가는 속도보다 빨라 세포의 부피가 커지

는데, 이를 **팽윤 상태**라고 한다. 식물 세포는 단단한 세포벽이 있어 일정 부피가 되면 더는 커지지 않는다. 식물 세포를 고장액에 넣으면 물이 세포 밖으로 빠져나가는 속도가 안으로 들어오는 속도보다 빨라 세포질의 부피가 작아지다가 세포막이 세포벽에서 떨어진다. 이러한 현상을 **원형질 분리**라고 한다.

어떤 물질의 농도는 세포 안과 밖에서 서로 다르게 유지될 때도 있다. 사람 혈액의 K^+ 농도는 혈장에 비해 적혈구 내부에서 높게 유지되고 있으나, Na^+ 농도는 오히려 적혈구 내부보다 혈장에서 높게 유지되고 있다. 이것은 적혈구가 농도 기울기를 거슬러서 물질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질을 이동시켰기 때문이다.

세포막에서 에너지를 사용하여 농도 기울기를 거슬러 물질이 이동하는 방식을 **능동 수송**이라고 한다. 능동 수송에는 세포막에 존재하는 특정한 운반체 단백질이 관여한다. $Na^+ - K^+$ 펌프가 세포막을 통해 Na^+ 과 K^+ 을 수송하는 것은 능동 수송의 예에 해당한다.

단백질처럼 큰 분자들은 세포막에 싸여 운반되기도 한다. 이때 특정 물질을 세포 밖으로 내보내는 작용을 **세포의 배출**, 세포 안으로 받아들이는 작용을 **세포내 섭취**라고 한다. 이자 세포에서 인슐린을 합성하여 혈액으로 분비하는 것은 세포의 배출에 해당하며, 백혈구의 식세포 작용은 세포내 섭취에 해당한다. 세포의 배출과 세포내 섭취에는 모두 에너지가 필요하다.

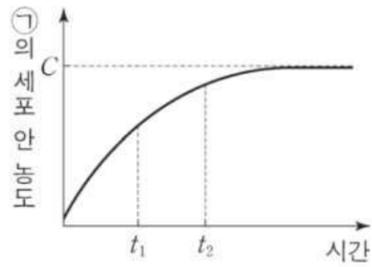
11. 다음은 동물 세포의 세포막을 통한 물질의 이동에 대한 세 학생의 의견이다.



제시한 의견이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

12. 그림은 물질 ㉠이 들어 있는 배양액에 세포를 넣은 후 시간에 따른 ㉠의 세포 안 농도를 나타낸 것이다. C는 ㉠의 세포 안과 밖의 농도가 같아졌을 때 ㉠의 세포 밖 농도이다. ㉠의 이동 방식은 능동 수송과 촉진 확산 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



< 보 기 >

ㄱ. ㉠의 이동 방식은 촉진 확산이다.
 ㄴ. $\frac{t_2 \text{일 때 ㉠의 세포 안과 밖의 농도 차}}{t_1 \text{일 때 ㉠의 세포 안과 밖의 농도 차}} > 1$ 이다.
 ㄷ. 인슐린이 세포 밖으로 이동하는 방식은 ㉠의 이동 방식과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

13. 표는 세포막을 통한 물질의 이동 방식 I~Ⅲ의 예를 나타낸 것이다. I~Ⅲ은 삼투, 능동 수송, 세포내 섭취를 순서 없이 나타낸 것이다.

이동 방식	예
I	백혈구의 식세포 작용에서 세포 안으로 세균의 이동
II	$\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프를 통한 Na^+ 의 이동
III	㉠ 원형질 분리가 일어난 식물 세포를 저장액에 넣었을 때 세포막을 통한 물의 이동

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. I은 삼투이다.
 ㄴ. II에서 에너지가 소모된다.
 ㄷ. ㉠에서 물은 세포 안으로 유입된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

5. 효소의 작용

세포에서는 화학 반응이 끊임없이 일어나며, 각 반응은 특정한 효소에 의해 촉진된다. 화학 반응이 일어나기 위해서는 최소한의 에너지가 필요한데, 이를 **활성화 에너지**라고 한다. 활성화 에너지는 에너지 장벽에 비유할 수 있으며, 에너지 장벽을 넘어야 화학 반응이 일어날 수 있다. 화학 반응에서 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도에 영향을 주는 물질을 **촉매**라고 한다. 세포에는 활성화 에너지를 낮추어 주는 생체 촉매인 효소가 있어 화학 반응이 잘 일어날 수 있다.

효소와 결합하는 특정 반응물을 **기질**이라고 하며, 효소에 기질이 결합하는 부분을 **활성 부위**라고 한다. 체내에서 화학 반응이 일어날 때 효소는 활성 부위의 구조에 들어 맞는 기질과 만나 **효소·기질 복합체**를 형성함으로써 반응의 활성화 에너지를 낮추어 준다. 효소가 특정한 기질과만 결합하여 작용하는 성질을 효소의 **기질 특이성**이라고 한다. 효소는 반응에서 소모되거나 변형되지 않으며, 생성물이 만들어진 후 다시 반응에 이용된다.

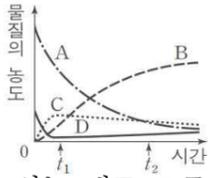
효소의 농도가 일정한 경우 기질의 농도가 증가하면 반응 속도도 증가한다. 그러나 기질의 농도가 일정 수준에 이르면 반응 속도가 더는 증가하지 않고 일정해진다. 이것은 모든 효소가 기질과 결합하여 포화 상태가 되었기 때문이다.

효소 중에는 단백질 성분으로만 활성을 나타내는 것과, 단백질 성분과 함께 비단백질 성분이 있어야 활성을 나타내는 것이 있다. 예를 들면 아밀레이스, 펩신과 같은 소화 효소는 단백질 성분으로만 활성을 나타내고, 탈수소 효소는 비단백질 성분이 있어야 활성을 나타낼 수 있다. 이때 단백질 성분을 주효소, 비단백질 성분을 보조 인자라고 하며, 이들이 결합한 것을 전효소라고 한다. 보조 인자 중에는 효소의 단백질 부분으로부터 쉽게 분리되는 것도 있지만, 효소와 강하게 결합하고 있어서 잘 분리되지 않는 것도 있다. 보조 인자에는 Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} 등의 금속 이온, 유기물인 조효소가 있다. 생명체에서는 수많은 종류의 화학 반응이 일어나며, 반응에 관여하는 효소의 종류도 다양하다.

효소의 주성분은 단백질이므로, 효소의 활성은 단백질의 입체 구조에 영향을 미치는 온도, pH 등과 같은 환경에 영향을 받는다. 온도와 pH 등에 의하여 효소의 입체 구조가 변하면 효소·기질 복합체의 형성이 어려워져 반응 속도가 감소하거나 반응이 일어나지 않게 된다.

효소의 활성은 효소와 결합하는 다른 물질에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 효소와 결합하여 효소·기질 복합체의 형성을 방해하는 물질을 **저해제**라고 한다. 저해제는 특정 효소의 작용을 선택적으로 방해하여 물질대사에 영향을 미친다. 특히 효소의 활성 부위에 결합하여 효소 반응을 방해하는 물질을 **경쟁적 저해제**라고 한다.

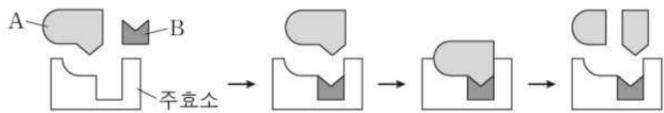
14. 그림은 어떤 효소가 관여하는 반응에서 시간에 따른 반응액 내 물질 A~D의 농도를 나타낸 것이다. A~D는 각각 효소, 기질, 효소-기질 복합체, 생성물 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. B는 생성물이다.
 - ㄴ. t₂일 때 B는 모두 D와 결합된다.
 - ㄷ. 반응 속도는 t₂일 때가 t₁ 일 때보다 빠르다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

15. 그림은 어떤 효소 반응을 나타낸 것이다. A와 B는 각각 기질과 보조인자 중 하나이다.



이 반응에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 기질이다.
 - ㄴ. 이 효소는 이성질화 효소이다.
 - ㄷ. 활성화 에너지는 보조 인자가 있을 때가 없을 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

6. 세포 호흡

미토콘드리아는 내막과 외막으로 이루어진 2중막 구조를 가지며, 내막에 의해 막 사이 공간과 기질로 구분된다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름을 형성하는데, 이를 **크리스타**라고 한다. 내막에는 전자 전달에 필요한 효소와 ATP 합성 효소가 분포하고, 기질에는 유기물을 분해하는 데 필요한 여러 가지 효소가 존재한다.

엽록체도 내막과 외막으로 이루어진 2중막 구조를 가지며, 내막 안쪽의 공간을 **스트로마**라고 한다. 스트로마에는 동전 모양의 **틸라코이드**가 있으며, 틸라코이드가 포개져 쌓여 있는 구조를 **그라나**라고 한다. 틸라코이드 막에는 광합성 색소, 전자 전달에 필요한 효소, ATP 합성 효소가 분포하고, 스트로마에는 유기물을 합성하는 데 필요한 여러 가지 효소가 존재한다.

미토콘드리아에서는 유기물을 분해하여 생명 활동에 필요한 에너지를 얻는 세포 호흡이 일어나고, 엽록체에서는 빛에너지를 이용하여 유기물을 합성하는 광합성이 일어난다. 미토콘드리아와 엽록체는 서로 다른 물질대사를 담당하지만 에너지 전환이 일어나는 세포 소기관이라는 공통점을 가진다. 미토콘드리아와 엽록체에서 에너지 전환에 관여하는 막단백질은 각각 내막과 틸라코이드 막에 있다.

세포 호흡은 포도당을 산화하여 이산화 탄소와 물로 분해하는 과정이다.



세포 호흡에서 방출된 에너지의 일부는 ATP로 전환되어 생명체의 다양한 생명 활동에 이용되고, 나머지는 열로 방출된다.

세포 호흡은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화로 구분한다. 해당 과정은 세포질에서 일어나고, 피루브산의 산화 및 TCA 회로와 산화적 인산화는 모두 미토콘드리아에서 일어난다. 세포 호흡은 여러 반응을 거쳐 일어나며, 각 반응에는 효소가 작용하므로 세포 호흡은 온도, pH 등의 영향을 받는다.

세포 호흡의 첫 번째 단계는 해당 과정으로, 포도당으로부터 에너지를 얻는 모든 원핵세포와 진핵세포에서 일어난다. **해당 과정**은 포도당 1분자가 여러 가지 화학 반응을 거쳐 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정이다.

해당 과정의 초기에 2분자의 ATP가 사용되며 포도당이 과당 2인산이 된다. 과당 2인산이 2분자의 피루브산으로 분해되면서 4분자의 ATP가 합성되므로, 결과적으로 포도당 1분자가 해당 과정을 거치면 2분자의 ATP가 순생성된다. 과당 2인산은 피루브산으로 분해될 때 탈수소 효소의 작용으로 산화되고 H⁺과 고에너지의 전자를 방출하는데, NAD⁺는 방출된 H⁺과 전자를 받아 NADH로 환원된다.

해당 과정에서 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아 기질로 이동하여 산화되고 조효소A(CoA)와 결합해 아세틸 CoA가 된다. 이 과정에서 이산화 탄소가 방출되고, NAD⁺는 H⁺과 전자를 받아 NADH로 환원된다. 피루브산은 탈수소 효소 복합체에 의해 아세틸 CoA로 전환된다.

아세틸 CoA는 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 되고, 시트르산은 여러 화학 반응을 거쳐 다시 옥살아세트산이 된다. 재생된 옥살아세트산은 아세틸 CoA와 결합하여 시트르산이 되는 회로를 반복하는데, 이 회로를 **TCA 회로**라고 한다. TCA 회로의 각 단계는 여러 효소에 의해 일어나며, 이 회로를 통해 2분자의 이산화 탄소가 방출된다.

미토콘드리아 기질에서는 피루브산이 산화되어 아세틸 CoA가 되는 과정과 TCA 회로가 진행된다. 이 과정에서 반응물의 탄소 수가 감소하는 탈탄산 반응과, 반응물로부터 H⁺과 전자가 방출되는 탈수소 반응이 일어난다. NAD⁺와 FAD는 각각 탈수소 반응에서 방출된 H⁺과 전자를 받아 NADH와 FADH₂로 환원된다. TCA 회로에서 아세틸 CoA가 가지는 에너지의 일부는 기질 수준 인산화로 ATP를 합성하는 데 이용되고, 나머지는 NADH와 FADH₂에 저장된다.

세포 호흡의 마지막 단계인 **산화적 인산화**는 미토콘드리아 내막에 있는 전자 전달계에서 방출된 에너지를 이용하여 ATP를 합성하는 과정이다.

전자 전달계는 전자 전달 효소 복합체와 전자를 운반하는 전자 운반체로 이루어져있다. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 FADH₂는 전자 전달계에서 H⁺과 고에너지 전자를 내놓고 산화되며, 고에너지 전자는 전자 전달 효소 복합체와 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 전달된다. 이 과정에서 고에너지 전자가 가지고 있던 에너지가 단계적으로 방출되고, 에너지를 잃은 전자는 미토콘드리아 기질에 있는 H⁺과 함께 최종적으로 산소에 전달되어 물을 생성한다.

일부 전자 전달 효소 복합체는 전자를 전달하는 과정에서 H⁺을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송한다. 그 결과 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. H⁺의 능동 수송에는 전자의 전달 과정에서 방출된 에너지가 이용된다.

전자 전달계에서 방출된 에너지를 이용하여 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되면, H⁺은 미토콘드리아 내막을 통해 고농도에서 저농도로 확산하는데, 이 과정을 **화학 삼투**라고 한다. H⁺이 화학 삼투에 의해 ATP 합성 효소를 통과할 때 ATP가 합성된다. **ATP 합성 효소**는 미토콘드리아 내막에 존재한다. 이처럼 산화적 인산화에서는 전자 전달계와 화학 삼투가 연결되어 ATP가 합성된다.

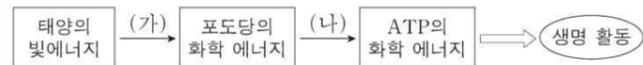
음식물 속의 탄수화물, 단백질, 지방은 세포 호흡에서 ATP를 얻는 데 이용되는 에너지원이다. 이처럼 세포에서 에너지원으로 이용되는 물질을 **호흡 기질**이라고 한다. 탄수화물은 당으로 분해되어 세포 호흡의 경로로 들어간다. 단백질과 지방도 분해되어 세포 호흡의 여러 경로로 들어가 호흡 기질로 이용된다.

세포 호흡에서 이용된 산소와 생성된 이산화 탄소의 부피비를 **호흡률**이라고 한다.

$$\text{호흡률} = \frac{\text{생성된 이산화 탄소의 부피}}{\text{이용된 산소의 부피}}$$

탄수화물, 단백질, 지방은 각각 탄소, 수소, 산소의 구성비가 다르므로 호흡 기질의 종류에 따라 호흡률은 달라진다. 탄수화물의 호흡률은 1.0이고, 단백질은 약 0.8, 지방은 약 0.7이다.

16. 그림은 태양의 빛에너지가 생명 활동에 이용되기까지의 과정을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 각각 세포 호흡과 광합성 중 하나이다.

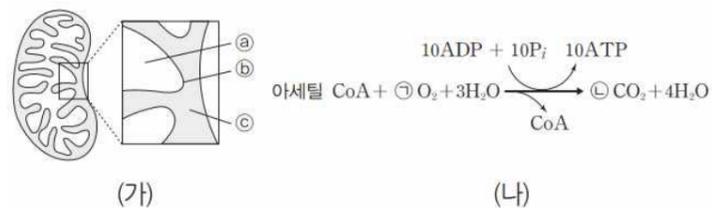


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. (가)에서 O₂가 소모된다.
 - ㄴ. (나)에서 산화 환원 효소가 관여한다.
 - ㄷ. 해감에서 (가)와 (나)가 모두 일어난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

17. 그림 (가)는 미토콘드리아의 구조를, (나)는 (가)의 ㉠에 존재하는 아세틸 CoA가 TCA 회로와 산화적 인산화를 통해 분해되는 반응을 나타낸 것이다.

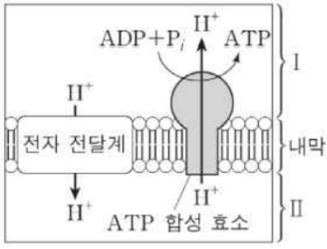


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 세포 호흡이 활발할 때, pH는 ㉠에서보다 ㉢에서 높다.
 - ㄴ. ㉠에는 (나)의 산화적 인산화에 필요한 전자 전달계가 존재한다.
 - ㄷ. (나)에서 ⑦+⑧=4 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

18. 그림은 세포 호흡이 일어나고 있는 어떤 세포의 미토콘드리아에서 일어나는 산화적 인산화 과정의 일부를 나타낸 것이다. I 과 II는 각각 미토콘드리아 기질과 막 사이 공간 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. I 은 미토콘드리아 기질이다.
 - ㄴ. pH는 II에서가 I에서보다 높다.
 - ㄷ. 이 전자 전달계에서 전자의 최종 수용체는 NAD^+ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

19. 그림은 동물 세포에서 일어나는 세포 호흡 과정의 일부를, 표는 물질 ㉠~㉣을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 미토콘드리아 기질에서 일어난다.
 - ㄴ. 탈탄산 효소가 작용한다.
 - ㄷ. ㉡이 ㉢으로 산화된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

7. 발효

세포 호흡을 통해 합성되는 ATP의 대부분은 산화적 인산화에서 만들어지기 때문에 ATP가 충분히 합성되려면 산소가 필요하다. 산소를 필요로 하는 산화적 인산화가 진행되는 세포 호흡을 산소 호흡이라고 한다. 산소가 없을 때는 세포 호흡의 세 단계 중 해당 과정만 진행된다. 산소가 없는 상태에서는 포도당이 피루브산으로 분해된 후 세포질에서 알코올, 젖산 등을 생성하는 반응이 일어나는데, 이를 발효라고 한다.

포도당이 세포 호흡을 통해 완전히 산화되면 많은 양의 에너지가 방출되지만, 발효에서는 포도당이 완전히 산화되지 않으므로 방출되는 에너지양이 적다. 발효는 여러 미생물에서 일어나며, 산소가 부족할 때 사람의 근육에서도 일어난다.

발효는 생성되는 물질의 종류에 따라 알코올 발효, 젖산 발효 등으로 구분한다.

피루브산으로부터 에탄올과 같은 알코올을 생성하는 반응을 알코올 발효라고 한다. 알코올 발효에서 피루브산은 아세트알데하이드로 전환되면서 이산화 탄소를 방출하고, 아세트알데하이드는 NADH에 의해 환원되어 에탄올이 된다. 효모에서 알코올 발효가 일어나면 해당 과정에서 소량의 ATP가 합성되고, 이산화 탄소와 함께 에탄올이 생성된다.

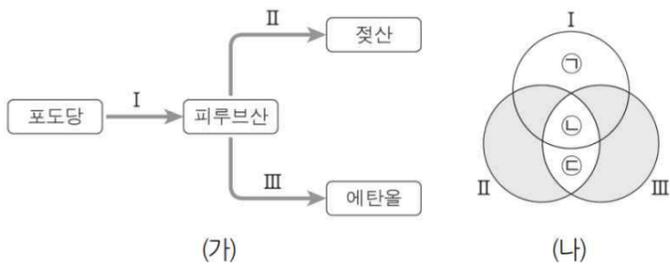
피루브산으로부터 젖산을 생성하는 반응을 젖산 발효라고 한다. 젖산 발효에서 피루브산은 NADH에 의해 환원되어 젖산이 된다. 젖산균에서 젖산 발효가 일어나면 해당 과정에서 소량의 ATP가 합성되고, 젖산이 생성된다.

운동을 시작하는 초기에 근육에 공급되는 산소의 양이 부족하면 근육 세포에서도 젖산 발효가 진행된다. 근육 세포에 축적된 젖산은 간으로 이동하여 포도당으로 합성되거나 피루브산으로 다시 전환되어 세포 호흡에 이용된다.

발효 과정에서 생성되는 물질은 음식의 맛과 향기를 다양하게 하는 역할을 하기도한다. 인류 문명 초기에 농경을 통해 생산량이 늘어나고 식품을 보존하는 방식이 필요하게 되자 여러 가지 발효가 이용되었다. 우리나라는 예로부터 채소를 발효하여 김치를, 수산물을 발효하여 젓갈을, 곡류를

발효하여 술과 식초를 만들었다. 발효로 생성되는 다양한 물질은 우리나라 전통 음식이 고유한 맛과 향을 내도록 하였으며, 발효는 다양한 식품 산업에도 이용되고 있다.

20. 그림 (가)는 생물체 내에서 포도당이 분해되는 경로 I~III을, (나)는 I~III의 특징을 구분하여 나타낸 것이다.

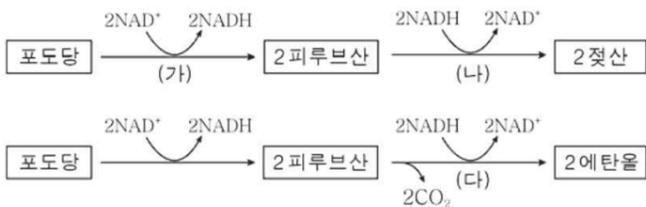


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. '기질 수준 인산화가 일어남'은 ㉠에 해당한다.
 - ㄴ. '산소가 소모되지 않음'은 ㉡에 해당한다.
 - ㄷ. 'NADH가 산화됨'은 ㉢에 해당한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

21. 그림은 젖산 발효와 알코올 발효 과정의 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 ATP가 합성된다.
 - ㄴ. (가)~(다)는 모두 미토콘드리아에서 일어난다.
 - ㄷ. 사람의 근육 세포에서 (나)와 (다)가 모두 일어난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

8. 광합성

식물이 흡수한 빛에너지는 탄소 화합물에 화학 에너지 형태로 저장되어 먹이 사슬을 통해 전달됨으로써 생명체가 생명 활동을 유지할 수 있게 해 준다. 식물이 빛에너지를 흡수할 수 있는 것은 광합성 색소가 존재하기 때문이다.

엽록체의 틸라코이드 막에 존재하는 광합성 색소에는 엽록소, 카로티노이드 등이 있다. 엽록소는 a, b, c, 거의 네 종류가 있는데, 그중 엽록소 a는 광합성을 하는 진핵생물과 일부 세균에서 공통으로 발견된다. 식물에는 엽록소 a와 b가 존재한다. 카로티노이드에는 카로틴, 잔토펜 등이 있다. 카로티노이드는 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하고, 과도한 빛에 의해 엽록소가 손상되는 것을 막아 준다.

식물의 광합성 색소는 특정 파장대의 빛을 흡수한다. 따라서 엽록소, 카로티노이드 등 광합성 색소가 각각 들어 있는 용액에 여러 파장의 빛을 비추면 파장에 따라 빛을 흡수하는 정도가 다르게 나타난다. 이를 그래프로 나타낸 것이 흡수 스펙트럼이다. 엽록체 추출액에 여러 파장의 빛을 비추면 파장에 따라 광합성 속도가 달라지는데, 이를 그래프로 나타낸 것이 작용 스펙트럼이다.

틸라코이드 막에는 엽록소와 카로티노이드가 단백질과 결합한 복합체가 존재하는데, 이를 광계라고 한다. 광계는 광합성에서 빛을 흡수하는 단위로 빛에너지를 효율적으로 흡수할 수 있는 구조를 가진다. 광계에는 가장 중심적인 역할을 하는 반응 중심 색소와 반응 중심 색소로 빛에너지를 전달하는 안테나 역할을 하는 보조 색소가 있다. 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.

광합성 과정은 명반응과 암반응으로 구분한다. 명반응은 빛 에너지를 흡수하여 화학 에너지로 전환하는 과정이고, 암반응은 대기 중의 이산화 탄소를 고정하여 포도당을 합성하는 과정이다.

명반응에서는 틸라코이드 막에 있는 광합성 색소가 흡수한 빛에너지를 이용하여 ATP와 NADPH가 합성된다. 이 과정에서 물이 분해되어 산소가 발생한다. 암반응은 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화 탄소로부터 포도당을 합성하는 과정으로, 스트로마에서 일어난다. 대기 중의 이산화 탄소가 고정되는 캘빈 회로에서는 빛이 직접 이용되지 않지만, 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 공급되어야 유기물이 합성될 수 있다. 따라서 암반응이 계속 일어나려면 빛이 지속해서 공급되어야 한다.

틸라코이드 막에는 광계와 전자 전달계가 존재하는데, 이들 사이에서 일어나는 전자의 이동으로 ATP와 NADPH가 합성된다.

광계에는 반응 중심 색소가 P700인 광계 I과 반응 중심 색소가 P680인 광계 II가 있다. 광계에서 흡수된 빛에너지가 반응 중심 색소로 전달되면 반응 중심 색소는 고에너지 전자를 방출한다. 고에너지 전자의 전달 과정은 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름으로 구분된다.

비순환적 전자 흐름은 광계 II에서 방출된 전자가 전자 전달계와 광계 I을 거쳐 NADP⁺로 전달되는 과정이다. 광계 n가 빛을 흡수하면 P680에서 고에너지 전자가 방출되어 1차 전자 수용체로 전달된다. 전자를 잃어 산화된 P680은 물이 분해될 때 방출된 전자를 받아 환원되며, 이 과정에서 산소가 방출된다.

다. 1차 전자 수용체로 전달된 고에너지 전자는 전자 전달계의 산화 환원 반응을 거쳐 광계 I의 P700으로 전달된다. 전자 전달계에서 전자가 이동할 때 방출된 에너지는 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다. 광계 I에서도 빛을 흡수하여 P700에서 고에너지 전자가 방출되며, 이 전자는 1차 전자 수용체와 전자 전달계를 거쳐 NADP⁺에 전달된다. 전자를 잃어 산화된 P700은 P680에서 방출된 전자를 받아 환원되고, NADP⁺는 H⁺과 전자를 받아 NADPH로 환원된다.

순환적 전자 흐름은 광계 I의 P700에서 방출된 전자가 NADP⁺에 전달되지 않고 전자 전달계를 거쳐 P700으로 되돌아오는 경로이다. 순환적 전자 흐름에서는 광계 I만 관여하며, NADPH는 합성되지 않고 산소가 방출되지 않는다.

미토콘드리아와 마찬가지로 엽록체의 틸라코이드 막에서도 화학 삼투가 일어나 ATP가 합성된다. 엽록소에서 방출된 전자가 전자 전달계를 따라 이동할 때 방출되는 에너지는 스트로마에서 틸라코이드 내부로 H⁺을 이동시키는 데 이용되며, 그 결과 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. H⁺의 농도 기울기를 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 틸라코이드 내부에서 스트로마로 확산하며, 이 과정에서 ATP가 합성된다.

미토콘드리아 내막과 엽록체 틸라코이드 막에서 일어나는 전자 전달과 ATP 합성은 막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 의해 H⁺이 막을 통과하면서 일어난다는 공통점을 가진다. 그러나 세포 호흡과 달리 광합성의 명반응에서 ATP가 합성되는 것은 빛에너지를 흡수한 광계의 도움을 받아 일어나므로 세포 호흡의 산화적 인산화와 구별해 **광인산화**라고 한다.

광합성에서 포도당이 합성될 때 이산화 탄소가 고정된다.



이산화 탄소가 고정되는 반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다. 이산화 탄소는 RuBP와 결합하여 3PG가 되고, 3PG는 환원 반응을 거쳐 PGAL이 된 후 다시 RuBP가 된다. 재생된 RuBP는 이산화 탄소와 결합하여 3PG가 되는 회로를 반복하는데, 이 회로를 **캘빈 회로**라고 한다. 캘빈 회로는 탄소 고정, 3PG의 환원, RuBP의 재생으로 구분되며, 각 단계는 여러 효소에 의해 일어난다.

캘빈 회로에서 사용되는 ATP와 NADPH는 빛에너지가 전환되어 합성된 물질이다. ATP와 NADPH의 에너지는 캘빈 회로에서 PGAL에 저장되고, PGAL의 일부는 포도당 합성에 이용된다.

포도당을 합성하기 위해서는 빛에너지를 흡수하는 반응, 캘빈 회로, PGAL이 포도당으로 합성되는 반응이 통합되어 일어나야 하며, 이 과정에서 대기 중의 이산화 탄소는 고정되어 생명체가 이용할 수 있는 유기물로 합성된다.

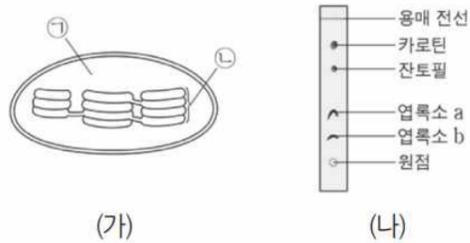
TCA 회로와 캘빈 회로에서는 반응물이 여러 단계의 화학 반응을 거치며, 반응물이 투입되는 한 회로는 계속 순환된다. TCA 회로와 캘빈 회로는 각 단계가 효소에 의해 조절되는 일련의 화학 반응이다.

TCA 회로는 유기물을 분해하여 이산화 탄소를 방출하는 이화 작용이고, 캘빈 회로는 대기 중의 이산화 탄소를 고정하여 유기물을 합성하는 동화 작용이다.

세포 호흡의 산화적 인산화와 광합성의 명반응은 각각 생체막인 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에서 일어난다. 산화적 인산화와 명반응의 전자 전달계에서 전자는 연속적인 산화 환원 반응을 통해 이동한다. 이 과정에서 단계적으로 에너지가 방출되며, 전자의 에너지 수준이 점차 낮아진다. 방출된 전자의 에너지는 생체막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용되며, H⁺의 농도 기울기는 ATP 합성의 원동력이 된다.

포도당의 화학 에너지는 세포 호흡 과정에서 ATP로 전환된다. 빛에너지는 광합성 과정에서 ATP로 전환된 후 포도당을 합성하는 데 이용된다.

22. 그림 (가)는 어떤 식물의 엽록체 구조를, (나)는 이 식물 잎의 광합성 색소를 종이 크로마토그래피를 이용하여 분리한 결과를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 그라나와 스트로마 중 하나이다.

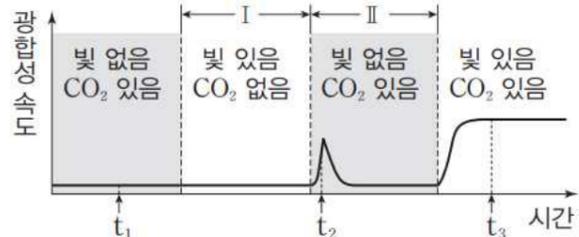


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㉠. 광합성의 탄소 고정 반응은 ㉠에서 일어난다.
 - ㉡. ㉡에는 엽록소 a가 있다.
 - ㉢. (나)에서 전개율은 카로틴보다 엽록소 b가 크다.

- ① ㉠ ② ㉢ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

23. 그림은 어떤 식물에서 빛과 CO₂ 조건을 달리했을 때의 시간에 따른 광합성 속도를 나타낸 것이다.

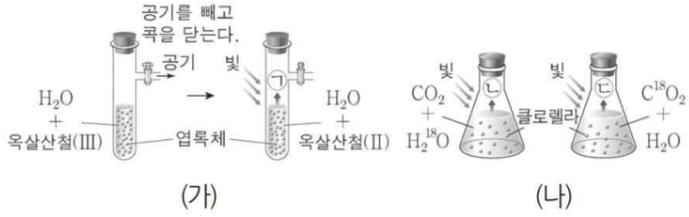


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㉠. 스트로마에서 NADPH의 양은 t₂일 때가 t₁일 때보다 많다.
 - ㉡. O₂ 생성량은 구간 I에서가 구간 II에서보다 많다.
 - ㉢. t₃일 때 스트로마에서 PGAL이 6탄당 인산(포도당 인산)으로 전환된다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉢ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

24. 그림 (가)는 힐의 실험을, (나)는 루벤의 실험을 나타낸 것이다. ㉠~㉣은 광합성의 명반응 결과 생성된 기체이다.

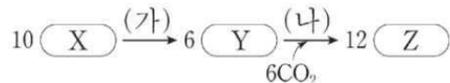


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠과 ㉣은 모두 산소이다.
 - ㄴ. (가)에서 물이 광분해된다.
 - ㄷ. (나)에서 ㉢과 ㉣은 모두 순환적 광인산화 과정의 산물이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

25. 그림은 캘빈 회로에서 물질 전환 과정의 일부를 나타낸 것이다. X~Z는 3PG(PGA), PGAL, RuBP를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 과정 (가)에서 포도당이 합성된다.
 - ㄴ. 과정 (나)에서 NADPH가 사용된다.
 - ㄷ. 1분자당 $\frac{\text{X의 인산기 수} + \text{Z의 인산기 수}}{\text{Y의 인산기 수}} = 1$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

26. 그림은 어떤 식물의 엽록체 구조를, 표는 이 식물의 광합성 과정에서 일어나는 반응 (가)와 (나)를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉢은 각각 틸라코이드 내부와 스트로마 중 하나이다.

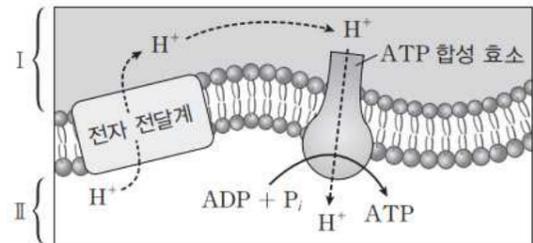
(가)	$\text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NADP}^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
(나)	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \frac{1}{2}\text{O}_2$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 ㉠에서 일어난다.
 - ㄴ. (나)의 O₂는 광계 I에서 생성된다.
 - ㄷ. (나)에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거치면 H⁺의 농도는 ㉠에서가 ㉢에서보다 높아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

27. 그림은 식물 세포에서의 인산화 과정 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 엽록체에서 I은 내막과 외막 사이의 공간이다.
 - ㄴ. 엽록체에서 II에서 I로의 H⁺의 이동 방식은 능동 수송이다.
 - ㄷ. 미토콘드리아에서 전자 전달계를 억제하면 막 사이 공간의 pH는 전자 전달계를 억제하기 전보다 감소한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

9. 유전자의 구조와 DNA 복제

유전체는 생물의 한 세포에 들어 있는 모든 유전 물질을 뜻하며, 여기에는 한 생물이 가진 모든 유전자가 포함된다. 1970년대에 바이러스의 유전체를 시작으로 대장균, 효모, 애기장대, 초파리, 사람 등 다양한 생물의 유전체가 분석되었다.

원핵세포와 진핵세포는 염색체의 수와 모양이 다를 뿐 아니라 유전체 크기와 유전자 수도 차이가 있다. 일반적으로 진핵세포는 원핵세포보다 유전체 크기가 크고, 유전자 수가 많다. DNA에는 유전자 이외에 비유전자 부분도 있는데, 하나의 DNA에서 유전자가 차지하는 비율은 원핵세포가 진핵세포보다 높다.

원핵세포와 진핵세포는 유전자 구조에도 차이가 있다. 일반적으로 원핵세포의 유전자는 단백질을 암호화하는 부위로만 이루어진 반면, 진핵세포의 유전자에는 단백질을 암호화하는 부위(엑손) 뿐 아니라 단백질을 암호화하지 않는 부위(인트론)도 있다.

DNA는 원핵세포와 진핵세포에서 모두 유전 물질로 사용된다. DNA가 유전 물질임이 명확히 밝혀진 것은 1952년에 허시와 체이스의 박테리오파지를 이용한 실험을 통해서이다. 허시와 체이스는 ³⁵S로 단백질을 표지한 파지와 ³²P로 DNA를 표지한 파지를 각각 대장균에 감염시킨 후 원심 분리하여 상층액과 침전물에서 방사선이 검출되는지 확인하였다. 실험 결과 ³⁵S로 표지한 파지를 사용했을 때에는 파지가 있는 상층액에서 방사선이 검출되었고, ³²P로 표지한 파지를 사용했을 때에는 대장균이 있는 침전물에서 방사선이 검출되었다. 이를 통해 파지가 증식을 위해 대장균 안으로 주입하는 유전 물질이 DNA임이 밝혀졌다.

DNA는 두 개의 폴리뉴클레오타이드 가닥으로 구성되며, 당-인산 골격이 바깥쪽에, 염기가 안쪽에 위치한다. DNA의 두 가닥은 방향이 서로 반대이며, 두 가닥의 염기는 수소 결합으로 연결된다. 염기 아데닌 A 은 타이민 T 과, 구아닌 G 은 사이토신 C 과 결합하는데, 이와 같은 염기쌍의 결합을 상보결합이라고 한다. 상보결합으로 DNA에서 한쪽 가닥의 염기 서열을 알면 다른 쪽 가닥의 염기 서열도 알 수 있다. DNA는 염기 서열의 형태로 다양한 유전 정보를 저장할 수 있어 생명의 정보를 저장하는 유전 물질로 이용된다.

세포 분열 과정에서 모세포에 저장된 유전 정보는 딸세포로 정확하게 전달되어야 한다. 이를 위해 DNA는 세포 분열이 일어나기 전에 복제된 후 세포 분열 과정에서 분리되어 2개의 딸세포로 나뉜다. DNA는 어떤 방식으로 복제되는 것일까? DNA 복제 방식에 관한 모델로 보존적 복제, 반보존적 복제, 분산적 복제의 세 가지를 들 수 있다.

메셀슨(Meselson, M. S., 1930~)과 스탈(Stahl, F. W., 1929~)의 실험을 통해 복제 결과 생긴 DNA의 두 가닥 중 한 가닥은 원래의 가닥이고, 나머지 한 가닥은 새로 합성된 가닥이라는 것을 알게 되어 DNA는 **반보존적**으로 복제된다는 것이 증명되었다.

DNA가 반보존적으로 복제될 때는 먼저 DNA 이중 가닥이 풀어지며, 풀린 두 가닥을 각각 주형으로 하여 새로운 가닥이 합성된다. 이때 새로운 가닥의 합성은 DNA 중합 효소에 의해 일어난다. DNA 중합 효소는 주형 가닥과 결합한 후, 주형 가

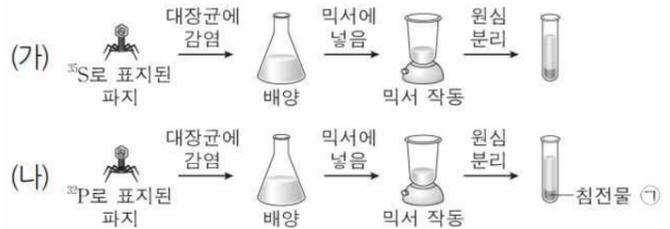
닥에 상보적인 염기를 가진 디옥시리보뉴클레오타이드를 합성 중인 가닥의 3' 말단에 연결한다. 따라서 합성 중인 가닥은 항상 5' - 3' 방향으로 길어지며, 합성 중인 가닥과 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다.

DNA 중합 효소에 의해 새로운 가닥이 합성되기 위해서는 주형 가닥과 상보적인 염기 서열을 가진 짧은 RNA 조각인 RNA 프라이머가 필요하다. RNA 프라이머가 합성되면 DNA 중합 효소가 RNA 프라이머의 3' 말단에 새로운 디옥시리보뉴클레오타이드를 연결하여 새로운 가닥의 합성을 시작한다. RNA 프라이머는 DNA 복제가 완료되기 전에 제거되며, RNA 프라이머가 있던 부위는 디옥시리보뉴클레오타이드로 채워진다.

DNA가 복제될 때는 원래의 두 가닥을 각각 주형으로 하여 새로운 두 가닥이 동시에 합성된다. 이때 한 가닥은 연속적으로 길게 합성되며, 이 가닥을 선도 가닥이라고 한다.

다른 가닥은 불연속적으로 짧은 조각들을 만들며 합성된다. 이 짧은 조각들은 나중에 DNA 연결 효소에 의해 하나로 길게 연결되는데, 이 가닥을 지연 가닥이라고 한다.

28. 그림 (가)와 (나)는 허시와 체이스의 실험을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
ㄱ. 원심 분리는 파지의 단백질 껍질을 침전시키기 위한 과정이다.
ㄴ. (가)와 (나) 모두에서 파지의 유전 물질은 대장균으로 들어간다.
ㄷ. ㉠에 ³²P로 표지된 DNA가 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

29. 다음은 2중 나선 DNA X에 대한 자료이다.

- 염기 간 수소 결합의 총 수는 130개이다.
○ 퓨린 계열 염기의 수는 50개이다.

X에서 염기 중 사이토신(C)의 비율은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

- ① 15% ② 20% ③ 25% ④ 30% ⑤ 35%

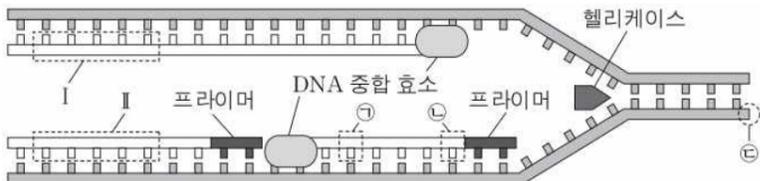
30. 다음은 DNA 복제에 대한 세 학생의 의견이다. DNA 복제 시 연속적으로 합성되는 가닥은 선도 가닥, 불연속적으로 합성되는 가닥은 지연 가닥이다.



제시한 의견이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, B ④ A, C ⑤ B, C

31. 그림은 세포에서 정상적으로 일어나는 DNA 복제 과정의 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. I 과 II 의 염기는 상보적이다.
 ㄴ. 주형 가닥의 말단 ㉔은 5' 방향이다.
 ㄷ. DNA 중합 효소에 의해 ㉑은 ㉒보다 합성되는 가닥에 먼저 결합된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

10. 유전자 발현

사람의 눈동자 색깔, 혈액형뿐만 아니라 페닐케톤뇨증과 같은 유전병은 부모에서 자녀에게 전달되는 유전 형질이다. 유전 형질은 유전자에 저장된 유전 정보에 의해 나타나며, 유전자로부터 유전 형질이 나타나기까지의 과정을 **유전자 발현**이라고 한다.

비들과 테이텀은 이 실험 결과를 바탕으로 하나의 유전자는 하나의 효소를 합성하게 함으로써 유전 형질이 나타나게 한다는 **1유전자 1효소설**을 제안하였다. 이후 유전자가 케라틴, 인슐린 등과 같은 효소가 아닌 단백질도 합성하게 하여 유전 형질이 나타나게 한다는 것이 밝혀지면서 1유전자 1효소설은 1유전자 1단백질설로 바뀌었다. 현재는 헤모글로빈과 같이 하나의 단백질이 두 종류 이상의 폴리펩타이드로 이루어진 경우, 서로 다른 유전자가 각 폴리펩타이드를 합성하게 한다는 것이 밝혀져 **1유전자 1폴리펩타이드설**로 수정되었다.

유전자가 발현될 때는 DNA의 유전 정보가 RNA로 전달되는 전사와 RNA의 유전 정보를 이용하여 단백질이 합성되는 번역이 일어난다. 이처럼 DNA → RNA → 단백질의 순서로 유전 정보가 흐르며 유전자가 발현되는 현상을 **중심 원리**라고 한다.

진핵세포는 핵 안에 있는 DNA의 특정 부위에서 전사가 일어난다. 전사는 DNA의 두 가닥 중 한 가닥만을 주형으로 하여 RNA 중합효소가 특정 유전자의 프로모터에 결합하면서 시작된다. 이후 DNA 이중 나선이 풀어지면 RNA 중합효소는 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 차례대로 연결하며 RNA 가닥을 5' - 3' 방향으로 합성한다.

DNA 복제와 달리 전사에서는 프라이머가 사용되지 않으며, 주형 가닥의 염기 아데닌(A)에 대한 상보적인 염기로 유라실(U)이 사용된다. 전사가 진행 중인 부위에서 합성 중인 RNA 가닥과 DNA 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다. 전사가 끝나면 RNA 중합효소와 합성된 단일 가닥 RNA는 모두 DNA에서 떨어져 나온다.

번역 과정에서는 mRNA의 유전 정보에 따라 단백질이 합성된다. 진핵세포에서는 핵 안에서 합성된 mRNA가 핵공을 통해 세포질로 이동하여 번역에 이용된다. 번역이 일어나기 위해서는 mRNA뿐만 아니라 리보솜과 tRNA가 필요하다.

리보솜은 두 개의 아미노산을 펩타이드 결합으로 연결하면서 단백질을 합성하는 장소이다. 리보솜은 대단위체와 소단위체로 구성된다. 이 두 단위체는 분리되어 있다가 번역을 시작할 때 mRNA와 함께 서로 결합한다.

tRNA는 mRNA의 각 코돈이 지정하는 아미노산을 리보솜으로 운반하는 역할을 한다. 각각의 tRNA에는 특정 아미노산이 결합하는 자리가 있으며, mRNA의 특정 코돈과 상보적으로 결합하는 안티코돈이 있다. mRNA의 특정 코돈이 번역될 때 이 코돈과 상보적인 안티코돈을 가진 tRNA가 특정 아미노산을 운반하므로 각 코돈이 지정하는 아미노산이 정확하게 차례대로 연결되어 단백질이 합성된다.

번역은 mRNA의 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝난다. 개시 코돈은 번역을 시작하는 코돈으로 메싸이오닌을 지정하며, 종결 코돈은 번역을 끝내는 코돈으로 아미노산을 지정하지 않는다.

번역은 개시, 신장, 종결의 세 단계로 진행된다.

개시 단계에서는 mRNA에 리보솜 소단위체, 메싸이오닌과 결합한 개시 tRNA, 리보솜 대단위체가 모두 결합한다. 이때 개시 tRNA는 안티코돈을 이용하여 개시 코돈과 상보적으로 결합하며, 리보솜의 P 자리에 위치한다.

신장 단계에서는 비어 있는 A 자리에 두 번째 코돈이 지정하는 아미노산과 결합한 tRNA가 들어오고, P 자리에 있는 개시 tRNA에서 메싸이오닌이 떨어져 A 자리의 tRNA에 결합한 두 번째 아미노산과 펩타이드 결합을 형성한다.

다음으로 리보솜이 mRNA의 3' 말단 방향으로 하나의 코돈만큼 이동하면서 P 자리에 있던 개시 tRNA는 E 자리로 이동했다가 리보솜 밖으로 방출되고, A 자리에 있던 tRNA는 P 자리로 이동한다. 이때부터 P 자리의 tRNA에는 두 개 이상의 아미노산으로 이루어진 펩타이드가 결합해 있다.

비어 있는 A 자리에 다음 코돈이 지정하는 아미노산과 결합한 tRNA가 들어오고, P 자리의 tRNA로부터 펩타이드가 떨어져 A 자리의 아미노산과 결합한다. 이러한 과정을 반복하면서 폴리펩타이드가 길어진다.

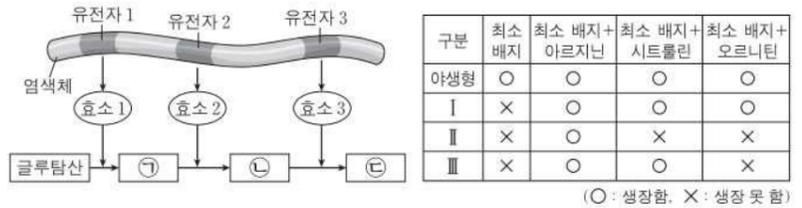
폴리펩타이드가 길어지다가 리보솜의 A 자리에 종결 코돈이 오면 번역 과정이 종결된다. 종결 단계에서는 합성된 폴리펩타이드가 리보솜에서 방출되고, 리보솜의 두 단위체와 tRNA가 모두 mRNA로부터 떨어져 나간다.

하나의 리보솜에서 번역이 일어나는 동안 또다른 리보솜이 같은 mRNA에 결합하여 번역을 시작할 수 있다. 따라서 하나의 mRNA에 여러 개의 리보솜이 결합하여 여러 개의 폴리펩타이드가 동시에 합성될 수 있는데, 이러한 구조를 폴리솜이라고 한다.

DNA의 유전 정보는 연속된 염기 3개가 하나의 유전부호로 작용한다. 이를 3염기 조합이라 하고, 여기에 상보적인 mRNA의 유전부호를 코돈이라고한다. mRNA를 구성하는 염기는 4 종류이므로 이것을 3개씩 조합하면 $64(=4^3)$ 종류의 코돈이 만들어진다. 이 중에서 61개는 아미노산을 지정하고, 3개는 아미노산을 지정하지 않는다. 번역 과정에서 아미노산을 지정하지 않는 코돈 UAA, UAG, UGA가 나오면 단백질 합성이 끝나므로 이 코돈들을 종결 코돈이라고 한다. AUG는 단백질 합성을 시작하는 개시 코돈인 동시에 메싸이오닌을 지정하는 코돈이다.

유전부호는 대부분 생물에서 동일하므로 생물이 공통 조상으로부터 진화해 왔다는 증거가 되기도 한다. 한 종류의 mRNA가 번역되어 합성되는 폴리펩타이드들의 아미노산 서열은 모두 같아야 하므로 번역의 시작과 끝이 달라지지 않도록 개시 코돈과 종결 코돈이 사용된다.

32. 그림은 붉은빵곰팡이에서 물질 ㉔이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지와 최소 배지에 첨가된 물질에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I~III의 성장 여부를 나타낸 것이다. ㉑~㉔은 각각 아르지닌, 시트룰린, 오르니틴 중 하나이다.

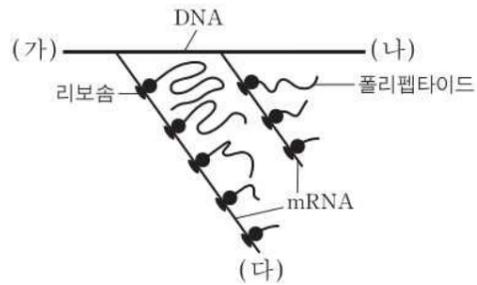


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, I~III은 각각 유전자 1~3 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 시트룰린은 오르니틴의 전구 물질(전구 물질)이다.
 - ㄴ. II는 유전자 3에 돌연변이가 일어난 것이다.
 - ㄷ. 유전자 1~3은 ㉔ 오페론의 구조 유전자이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

33. 그림은 어떤 세포의 유전자 발현을 나타낸 것이다.

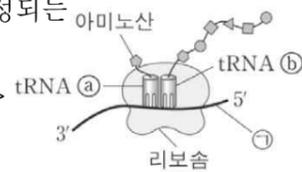


이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가) → (나) 방향으로 전사가 진행된다.
 - ㄴ. 전사 과정이 완료되기 전에 번역이 시작된다.
 - ㄷ. (다)쪽에 mRNA의 3' 말단이 위치한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

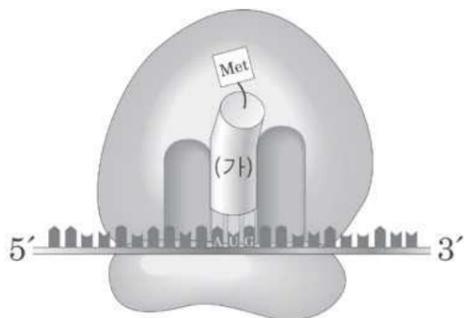
34. 그림은 폴리펩타이드 합성 과정 중 형성되는 복합체를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 리보솜에는 rRNA가 있다.
 - ㄴ. ㉑에는 안티코돈이 있다.
 - ㄷ. 리보솜에서 tRNA ㉒가 tRNA ㉑보다 먼저 방출된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

35. 그림은 번역 개시 과정의 일부를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 P 자리에 있다.
 - ㄴ. 메싸이오닌(Met)은 A 자리로 들어오는 아미노산과 펩타이드 결합을 형성한다.
 - ㄷ. 리보솜이 이동할 때 메싸이오닌과 분리된 (가)는 E 자리로 이동한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11. 유전자 발현의 조절

원핵생물은 단세포 생물이므로 환경의 변화에 빨리 적응해야 에너지와 자원을 절약할 수 있고 생존에 유리하다. 따라서 원핵생물에서는 물질대사에 필요한 효소들이 동시에 합성될 수 있도록 전사가 조절된다.

원핵생물인 대장균이 젓당을 물질대사에 이용하려면 젓당의 분해와 이동에 관여하는 효소들이 필요하다. 이 효소들을 암호화하고 있는 구조 유전자들은 대장균의 염색체에서 인접하여 배열되어 있고, 하나의 프로모터에 의해 한꺼번에 전사된다. 프로모터와 구조 유전자 사이에는 억제 단백질이 결합하는 작동 부위가 있다. 작동 부위에 억제 단백질이 결합하면 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조 유전자가 전사되지 않는다.

이처럼 프로모터, 작동 부위, 구조 유전자가 나란히 존재하여 하나의 전사 단위로 묶여 있는 유전자 집단을 **오페론**이라고 한다. 특히 젓당 이용에 필요한 효소 유전자들을 포함하는 오페론을 **젓당 오페론**이라고 한다. 젓당 오페론의 앞쪽에는 조절 유전자가 있는데, 조절 유전자는 작동 부위에 결합하는 억제 단백질을 암호화한다.

대장균은 포도당이 있을 때는 포도당을 먼저 이용하여 에너지를 얻지만, 포도당을 모두 소모하고 젓당만 있을 때는 젓당을 분해하여 에너지를 얻을 수 있다. 원핵생물의 전사 조절에서는 젓당 오페론처럼 분해할 물질이 있을 때 전사가 일어나는 경우도 있지만, 특정 물질이 충분하면 전사가 중단되어 그 물질이 더는 합성되지 않도록 하는 경우도 있다.

진핵생물에서 발생이 정상적으로 진행되어 각 세포가 기능을 획득하고 유지하기 위해서는 적절한 시기에 서로 다른 유전자가 발현되어야 한다. 따라서 진핵생물은 원핵생물보다 훨씬 복잡하고 다양한 전사 조절 과정을 거친다. 진핵생물에서는 원핵생물과 달리 염색질이 핵 안에서 응축된 상태로 존재한다. 심하게 응축된 부위의 유전자는 전사가 일어나기 어려우므로 염색질의 응축을 푸는 과정을 통해 유전자의 전사를 조절할 수 있다.

유전자에서 프로모터의 앞쪽에는 여러 종류의 **조절 부위**가 있다. 조절 부위는 **전사 인자**가 결합하는 DNA 염기 서열로, 유전자에 따라 차이가 난다. 전사 인자는 조절 부위에 결합하거나 전사 개시 복합체 구성에 관여하는 단백질이다. 조절 부위에 전사 인자가 특이적으로 결합하고, 여러 전사 인자와 RNA 중합효소가 전사 개시 복합체를 형성하면 전사가 시작된다.

원핵생물에서는 전사와 번역이 세포질에서 동시에 일어난다. 그러나 진핵생물에서 전사는 핵 안에서 일어나고, 번역은 세포질에서 일어난다. 따라서 전사된 진핵생물의 mRNA는 원핵생물의 mRNA와 달리 핵 안에서 가공 과정을 거친 후 세포질로 이동하여 단백질 합성에 이용된다.

진핵생물은 발생 과정에서 세포들이 각기 다른 형태를 가지고 특정 기능을 수행하도록 분화되어야 하며, 세포 분화는 유전자 발현 조절의 차이로 일어난다. 유전자가 발현되려면 전사 인자가 필요하며, 전사 인자를 암호화하는 유전자를 **조절 유전자**라고 한다. 조절 유전자가 발현되어 전사 인자가 합성되면, 이 전사 인자에 의해 다른 조절 유전자가 발현되는 과정이 연속적으로 일어난다. 이때 세포의 발생 운명을 결정하는 상위

단계의 조절 유전자를 **핵심 조절 유전자**라고 하며, 세포 분화는 어떤 전사 인자가 합성되어 전사를 조절하는가에 따라 달라진다.

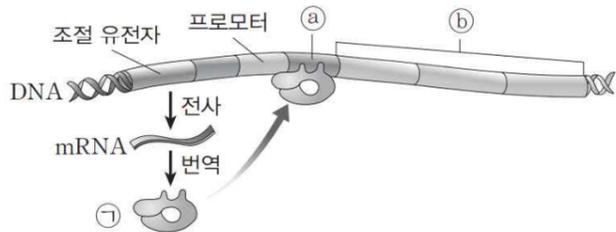
동물은 발생 초기 단계에서 몸의 각 기관이 정확한 위치에 형성되어야 하는데, 이 과정에 관여하는 유전자를 **혹스 유전자**라고 한다. 초파리의 경우 먼저 머리와 꼬리의 방향이 정해지고, 배아 단계에서 몸의 체절이 형성된다. 그다음 단계에서 각 체절에 적절한 기관이 형성되는데, 혹스 유전자는 각 체절에 있는 세포의 발생 운명을 결정하는 전사 인자를 암호화한다.

초파리는 3번 염색체에 혹스 유전자 8개가 배열되어 있는데, 혹스 유전자들은 각각의 유전자가 기능을 결정할 체절들과 같은 순서로 배열되어 있다. 혹스 유전자로부터 합성된 전사 인자에 의해 특정 유전자의 발현이 조절되고, 그 결과 몸의 정확한 위치에 고유한 기능을 수행하기에 적합한 기관이 형성된다.

혹스 유전자가 동물의 기관 발생 과정에서 어떤 조절을 하는지는 혹스 유전자의 돌연변이를 통해 밝혀졌다. 초파리의 경우 가슴 체절에서 다리 형성에 관여하는 혹스 유전자에 돌연변이가 일어나면 더듬이가 생겨야 할 부위에 다리가 생긴다. 또, 가슴 체절에서 날개 형성에 관여하는 혹스 유전자에 돌연변이가 일어나면 2쌍의 날개를 가진 초파리가 생긴다.

동물 대부분은 혹스 유전자를 가지고 있는 것으로 알려졌다. 척추동물인 생쥐나 사람은 4개의 염색체에 혹스 유전자가 반복해서 배열되어 있는데, 혹스 유전자의 종류와 염색체에 배열된 순서가 초파리와 비슷하다. 혹스 유전자는 종과 상관없이 유사한 방식으로 기관 형성이 이루어지도록 발생 과정에 영향을 미치므로 동물이 공통 조상으로부터 진화해 왔다는 증거가 되기도 한다.

36. 그림은 젓당이 없을 때 조절 유전자와 젓당 오페론의 작용을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡는 각각 작동 부위와 구조 유전자 중 하나이다.

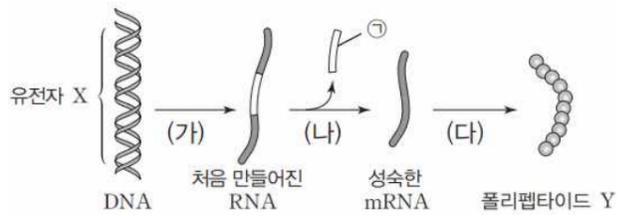


이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 젓당 분해 효소의 아미노산 서열은 ㉠에 암호화되어 있다.
 - ㄴ. ㉠에 결합한 ㉡에 의해 ㉢의 전사가 촉진된다.
 - ㄷ. ㉡는 젓당 오페론의 구성 요소이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

37. 그림은 진핵 세포에서 유전자 X의 발현이 조절되어 폴리펩타이드 Y가 만들어지는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 전사 인자에 의한 유전자 발현 조절은 (가)에서 일어난다.
 - ㄴ. RNA의 가공은 (나)에서 일어난다.
 - ㄷ. ㉠은 (다)에서 폴리펩타이드 Y로 번역되지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

38. 그림은 수정란으로부터 근육 세포와 모근 세포로 분화되는 과정과 분화된 각 세포에서 발현되는 특정 유전자를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 마이오신 유전자와 케라틴 유전자의 염기 서열은 동일하다.
 - ㄴ. 수정란에는 마이오신 유전자와 케라틴 유전자가 모두 있다.
 - ㄷ. 모근 세포에는 케라틴 유전자의 전사에 관여하는 전사 인자가 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

12. 생명의 기원

원시 지구의 환경은 현재의 환경과 매우 다르고 불안정하였을 것이다. 대기 중에는 수소, 암모니아, 메테인, 수증기 등이 풍부하고 산소는 거의 없었을 것이다. 그리고 활발한 지각 활동으로 생성된 열에너지, 불안정한 대기로 인해 발생한 번개와 같은 전기 에너지, 우주에서 복사되는 자외선과 같은 복사 에너지가 풍부하게 있었을 것이다.

이러한 원시 지구 환경에서 최초의 생명체가 탄생하는 과정을 설명하는 여러 가설이 존재하는데, 오파린은 『생명의 기원』이라는 저서를 통해 **화학적 진화설**을 제안하였다. 이 가설에 따르면 원시 지구의 화학적·물리적 환경으로부터 아미노산과 같은 단순한 유기물이 생성되었다. 단순한 유기물이 농축되어 복잡한 유기물이 생성되었고, 이 유기물이 모여 유기물 복합체를 형성하였다. 형성된 유기물 복합체가 스스로 분열할 수 있고 유전 물질을 전달할 수 있게 되면서 오늘날의 원핵세포와 유사한 최초의 생명체가 출현하였을 것으로 보인다.

밀러(Miller, S. L., 1930~2007)와 유리(Urey, H. C., 1893~1981)는 실험을 통해 무기물로부터 단순한 유기물이 만들어질 수 있음을 확인하여 오파린의 가설을 뒷받침하였다.

화학적 진화설이 원시 지구 환경을 충분히 고려하지 못한다는 한계점이 있어 이를 보완하기 위해 여러 가설이 제시되었으며, 그중 하나가 **심해 열수구설**이다. 이 가설은 원시 지구에서 유기물이 합성된 장소로 열수 분출구를 제시하고 있다. 열수 분출구는 심해에서 마그마에 의해 뜨거워진 물이 분출되는 곳으로, 여기에는 아미노산과 같은 유기물이 합성될 때 필요한 재료와 에너지, 금속 촉매 등이 풍부하다. 심해 열수구설에 따르면 열수 분출구에서 최초의 생명체가 탄생하였을 것으로 보인다.

원시 지구 환경에서 무기물로부터 합성된 단순한 유기물은 여러 과정을 통해 농축되어 핵산, 단백질과 같은 복잡한 유기물을 형성하였을 것이다. 폭스(Fox, S. W., 1912~1998)는 아미노산을 가열해 단백질과 유사한 중합체를 합성함으로써 원시 지구 환경에서 풍부한 열에너지에 의해 복잡한 유기물이 생성될 수 있음을 입증하였다.

원시 생명체가 생성되기 위해서는 물질대사와 생식이 일어나야 한다. 물질대사와 생식을 위해서는 외부 환경과 분리되어 독자적인 화학 반응이 일어날 수 있는 공간이 필요하다. 이를 위해서는 주변 환경과의 경계, 즉 세포막이 필요하다. 또, 세포막은 세포에 필요한 물질을 선택적으로 흡수하여 세포 내 환경을 안정적으로 유지하는 데도 필수적이다.

오파린을 비롯한 여러 과학자는 원시 지구 환경에서 합성된 중합체로부터 액체 방울을 합성함으로써 원시 생명체가 탄생하는 데 필요한 막 구조를 재현하였다.

오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합체를 이용하여 **코아세르베이트**라고 하는 막에 둘러싸인 작은 액체 방울을 만들었다. 코아세르베이트는 주변 환경에서 물질을 선택적으로 받아들여 계속 성장하며, 어느 정도의 크기에 도달하면 둘로 나누어지는 등 세포와 유사한 행동을 나타냈다.

폭스는 아미노산을 가열하여 만든 중합체를 뜨거운 물에 넣었다가 서서히 식혀 그림 작은 액체 방울 모양의 **마이크로스피어**를 만들었다. 마이크로스피어는 코아세르베이트와 달리 단

백질로만 구성된 막을 가지고 있지만, 선택적으로 물질을 흡수하며 스스로 분열하는 특성이 있다.

리포솜도 막 구조를 가진 유기물 복합체이다. 물속에 들어 있는 인지질은 뭉쳐서 리포솜을 형성한다. 리포솜의 인지질 2중층 구조는 현재의 세포와 거의 유사하므로, 리포솜은 최초의 생명체 탄생과 관련이 있을 것으로 보인다.

최초의 생명체는 원시 바닷속에 높은 농도로 축적된 유기물을 이용하여 에너지와 필요한 물질을 얻는 중속 영양 생물이었을 것이다. 또한, 유전 물질과 효소를 가지고 있으며, 막을 통해 물질의 이동을 조절할 수 있는 원핵생물이었을 것이다. 최초의 생명체에서 유전 물질과 효소 역할을 하는 물질이 무엇인지에 대한 여러 가설이 있는데, 그중 하나가 **RNA 우선 가설**이다. RNA 우선 가설에서는 촉매 기능을 가진 RNA인 리보자임이 그 역할을 했을 것이라고 제시하고 있다.

약 21억 년 전의 지층에서 광합성을 하는 조류의 화석이 발견되었는데, 이 생물은 진핵세포의 구조를 나타내고 있었다. 진핵생물은 다양한 기능을 하는 원핵생물의 상호작용으로 생겨났을 것이다. 진핵생물의 출현 과정은 막 진화설과 세포내 공생설로 설명하고 있다.

막 진화설은 원핵생물에서 세포막이 안으로 함입되어 겹쳐지면서 진핵생물의 핵, 골지체, 소포체와 같은 막으로 구성된 세포 소기관이 생겨났다고 보는 가설이다. **세포내 공생설**은 원핵생물이 다른 원핵생물에 들어가 공생하면서 미토콘드리아, 엽록체와 같은 세포 소기관이 되었다고 보는 가설이다. 세포내 공생설에 따르면 미토콘드리아는 산소 호흡을 하는 원핵생물에서, 엽록체는 광합성을 하는 원핵생물에서 각각 유래한 것으로 보인다.

다세포 생물은 동일 종의 단세포 진핵생물이 모여서 군체를 형성하고, 군체를 형성하는 세포들 사이에서 기능적 분화가 일어나 생성되었을 것이다. 다세포 생물이 출현한 이후 생물 다양성은 급격히 증가하였다.

39. 다음은 화학 진화설을 확인하기 위한 밀러의 실험에 대해 세 학생이 대화한 내용이다.



밀러의 실험에 대해 옳게 설명한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① B ② C ③ A, B ④ A, C ⑤ A, B, C

40. 다음은 리보자임(라이보자임)에 대한 세 학생의 설명이다.



리보자임에 대해 옳게 설명한 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, B ④ A, C ⑤ B, C

41. 원시 생명체의 진화에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 최초의 생명체에 의해 대기 중 O₂ 농도가 증가하였다.
 ㄴ. 핵의 형성은 세포 내 공생설로 설명할 수 있다.
 ㄷ. 육상 생물의 출현 시기에는 무산소 호흡 생물과 광합성 생물이 모두 존재하였다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

13. 생물의 분류 체계

지구에 존재하는 다양한 생물을 체계적으로 연구하기 위해 분류한다. 생물의 분류는 공통된 특징을 바탕으로 생물을 여러 무리로 나누는 것을 말한다. 예를 들어 사람은 곰, 코끼리, 고양이 등과 함께 포유류로 분류된다. 포유류와 같이 생물을 분류한 무리를 **분류군**이라고 한다.

생물 분류의 가장 기본이 되는 분류군은 **종**이다. 종은 다른 종과 생식적으로 격리된 자연 집단이고, 같은 종의 개체 사이에서는 생식 능력이 있는 자손이 태어난다.

종은 학명으로 표시되는데, 학명은 사용하는 언어와 상관없이 국제적으로 통용되는 종의 이름이다. 학명은 린네에 의해 제시된 이명법에 기초해 만들어진다. 이명법은 속명과 종소명으로 구성되며, 종소명 뒤에 명명자의 이름을 쓴다. 속명과 종소명은 이탤릭체로 쓰거나 밑줄을 그어 표시하고, 속명의 첫 글자는 대문자로, 종소명의 첫 글자는 소문자로 표기한다.

학명 (이명법) : 속명 + 종소명 + 명명자
 사람: *Homo sapiens* Linne
 구상나무: *Abies koreana* E. H. Wilson

대형 할인 매장에서 상품을 분류하는 것처럼 생물 분류는 계층적 특징을 나타낸다. 사람은 포유류에 속하기도 하지만, 고릴라, 침팬지 등과 함께 더 작은 규모의 분류군인 영장류에 속하기도 하며, 파충류, 양서류, 어류 등과 함께 더 큰 규모의 분류군인 척추동물에 속하기도 한다.

가까운 공통 조상을 공유하는 생물들은 좁은 범위에서 분류군을 형성하며, 더 먼 공통 조상을 공유하는 생물들은 좀 더 넓은 범위에서 분류군을 형성한다. 그리고 좁은 범위에서 넓은 범위로 가면서 종, 속, 과, 목, 강, 문, 계, 역과 같은 분류 단계가 배정된다. 이와 같은 계층적인 생물 분류는 생물이 진화해 온 역사인 유연관계에 기초한다. 공통 조상에서 유래한 공통된 특징을 이용하여 작성하는 **계통수**를 통해 생물 사이의 유연관계를 쉽게 이해할 수 있다.

계통수는 생물이 진화해 온 역사를 나뭇가지 모양으로 나타낸 그림이다. 계통수에서 현재 존재하는 종들은 나뭇가지의 맨 끝부분에 있으며, 계통수에 나타난 모든 종의 공통 조상은 나무의 뿌리에 자리 잡고 있다. 공통 조상에서 나뭇가지를 따라 가면 가지가 갈라지는 분기점이 있는데, 분기점은 한 조상에서 두 계통이 나누어져 진화하였음을 뜻한다. 계통수에서 가까운 분기점을 공유할수록 종 사이의 유연관계가 가깝다.

계통수 작성에는 생물의 형태와 발생, 지리적인 분포, DNA의 염기 서열 등 진화 과정을 보여 주는 다양한 형질이 이용된다.

다양한 종을 비교하여 계통적으로 관련 있는 종끼리 묶어서 정리한 것을 **분류 체계**라고 한다. 분류 체계는 생물의 진화적 유연관계를 반영하고 있다.

최근에는 DNA의 염기 서열을 이용하여 지구에 존재하는 모든 생물의 진화적 유연 관계를 분석할 수 있게 되어 모든 생물을 포괄하는 분류 체계를 작성할 수 있게 되었다.

우즈는 특정 rRNA의 염기 서열을 이용하여 생물의 계통수

를 작성하였고, 이를 바탕으로 세균역, 고세균역, 진핵생물역의 3역 분류 체계를 제시하였다. 이 계통수에 따르면 5계 분류 체계에서 원핵생물계에 속했던 세균과 고세균이 별도의 무리로 구분될 뿐만 아니라 고세균역은 세균역보다 진핵생물역과 더 가까운 유연관계를 나타낸다.

세균역에 속하는 생물은 원핵세포로 구성되어 있으며, 펩티도글리칸이 결합한 세포벽을 가지고 있다. 고세균역에 속하는 생물은 대부분 극한 환경에 서식한다. 또, 세균과 유사하게 원핵세포로 구성되어 있지만, 유전 정보의 발현이 진핵생물과 유사하다. 진핵생물역에 속하는 생물은 진핵세포로 구성되어 있으며, 단세포와 다세포, 세포의 구조, 영양 방식 등에서 매우 다양한 특징이 나타난다. 이러한 특징에 따라 진핵생물역을 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계로 구분할 수 있다.

42. 표는 2개의 목과 4개의 과에 속하는 6종의 식물 A~F의 학명을 나타낸 것이다. A, C, F는 같은 목에 속한다.

종	학명	종	학명
A	<i>Morus alba</i>	D	<i>Morus bombycis</i>
B	<i>Rosa carolina</i>	E	<i>Zea mays</i> L.
C	<i>Elaeagnus umbellata</i>	F	<i>Rosa setigera</i>

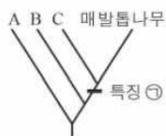
이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A와 C는 다른 과에 속한다.
 - ㄴ. E와 F는 다른 목에 속한다.
 - ㄷ. A~F의 학명은 모두 이명법을 사용하였다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

43. 표는 2개의 목과 3개의 과에 속하는 식물 4종의 분류 계급 일부를, 그림은 표의 자료를 토대로 작성한 계통수를 나타낸 것이다.

구분	매자나무	꽃단풍	매발톱	매발톱나무
목	?	?	미나리아재비목	미나리아재비목
과	매자나무과	?	?	?
속	매자나무속	?	?	매자나무속



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A와 B는 서로 다른 목에 속한다.
 - ㄴ. C는 매발톱이다.
 - ㄷ. C와 매발톱나무는 특징 ㉠에 의해 서로 구분된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

14. 식물과 동물의 분류

식물은 다세포 진핵생물로 엽록체가 있어서 광합성을 한다. 세포막 바깥에는 셀룰로스 성분의 세포벽이 있다. 식물은 관다발의 유무, 종자의 유무에 따라 비관다발 식물, 비종자 관다발 식물, 종자식물로 구분할 수 있다.

비관다발 식물은 최초의 육상 식물이며 관다발이 없다. 관다발을 통한 물과 양분의 수송이 이루어지지 못하므로, 크기가 작고 물을 쉽게 구할 수 있는 습한 지역에 주로 서식한다. 포자로 번식하며 우산이끼, 솔이끼, 빨이끼 등이 있다.

비종자 관다발 식물은 관다발을 가지고 있으며 포자로 번식한다. 잎, 줄기, 뿌리가 분화되어 있지만, 형성층이 없는 관다발 구조로 되어 있다. 석송, 고사리, 고비, 속새, 쇠뜨기 등이 있다.

종자 식물은 육상 생활에 가장 잘 적응한 식물의 무리로서, 식물 중 가장 많은 종을 포함하고 있다. 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하고, 관다발이 잘 발달하였다. 종자로 번식하며, 종자는 단단한 껍질에 둘러싸여 있어서 육상의 건조하고 추운 환경을 잘 견딜 수 있다. 씨방의 유무에 따라 겉씨식물과 속씨식물로 구분된다. 겉씨식물은 씨방이 없어서 밑씨가 겉으로 드러나 있고, 속씨식물은 밑씨가 씨방에 들어 있다.

겉씨식물은 소철식물문, 은행식물문, 마황식물문, 구과식물문으로 구성되어 있다. 가장 대표적인 겉씨식물의 문은 구과식물문이며, 소나무, 전나무 등이 구과식물문에 속한다.

속씨식물문은 오늘날 지구에서 가장 번성하는 식물 무리이며, 꽃잎과 꽃받침이 잘 발달하였다. 대표적인 속씨식물에는 외떡잎식물강과 쌍떡잎식물강이 있으며, 이들은 종자 속에 들어 있는 배의 떡잎 수에 의해 구분된다. 외떡잎식물에는 벼, 보리, 옥수수 등이 있고, 쌍떡잎식물에는 배추, 장미, 민들레, 고추, 호박, 콩 등이 있다.

식물은 생태계를 구성하는 생물적 요인으로 생산자에 속한다. 식물은 광합성을 통해 유기물을 합성하고 산소를 방출함으로써 생태계를 유지하고 뒷받침하는 데 중요한 역할을 한다.

동물은 엽록체와 세포벽이 없으며, 종속 영양을 하는 다세포 진핵생물이다. 대부분의 동물은 감각 기관과 운동 기관이 발달해 있어서 주위 환경의 변화에 빠르고 적극적으로 반응한다.

동물은 조직의 유무, 몸의 대칭성, 초기 발생 과정의 특징, DNA의 염기 서열 등을 기준으로 여러 개의 큰 무리로 분류할 수 있다.

동물의 몸은 대칭 형태에 따라 방사 대칭과 좌우 대칭으로 나눌 수 있다.

몸의 대칭 형태는 감각 기관의 분포와 관련이 있다. 방사 대칭을 나타내는 동물은 감각 기관이 온몸에 고르게 분포해 있어서 모든 방향에서 오는 자극에 반응한다. 좌우 대칭을 나타내는 동물은 몸의 앞쪽에 감각 기관이 집중되어 있다.

동물의 초기 발생 과정에서 수정란은 체세포 분열 과정인 난할을 거쳐 포배, 낭배가 된다. 포배는 속이 빈 둥근 공 모양이며, 낭배는 발생 초기의 조직인 배엽과 원장을 가진다. 원장은 소화관으로 발생하며, 원장이 외부와 통하는 입구인 원구는 입이나 항문이 된다. 발생 과정에서 원구가 입이 되는 동물은 선구동물이며, 원구가 항문이 되는 동물은 후구동물이다.

최근 동물의 계통수에 가장 큰 영향을 미친 형질은 DNA의 염기 서열이다. DNA의 염기 서열을 이용하여 작성된 계통수에 따라 선구동물은 촉수담륜동물과 탈피동물로 구분된다. 촉수담륜동물은 호흡과 먹이 포획에 이용되는 촉수관을 가지거나 담륜자 유생 시기를 갖는다. 탈피동물은 성장을 위해 탈피하는 특징을 나타낸다.

해면동물은 포배 단계의 동물로 조직이나 기관이 분화되어 있지 않다. 물의 흐름을 일으켜 물속에 떠 있는 먹이를 걸러 섭취한다.

자포동물은 방사 대칭의 몸을 가지며, 먹이를 잡는 데 자포를 이용한다. 말미잘, 산호, 해파리, 히드라 등이 있다.

편형동물은 입은 있지만 항문이 없으며, 납작한 몸을 갖는다. 플라나리아, 촌충, 간흡충 등이 있다.

연체동물은 몸은 부드러운 막으로 둘러싸여 있으며, 대부분은 단단한 껍데기로 몸을 보호한다. 주로 아가미 호흡을 하지만 육상에 진출한 달팽이 등은 폐 호흡을 한다. 달팽이, 오징어, 홍합 등이 있다.

환형동물은 원통형의 몸을 가지며, 몸은 마디인 체절로 구성되어 있다. 지렁이, 갯지렁이, 거머리 등이 있다.

선형동물은 몸은 원통형이며, 겉은 큐티클층으로 덮여 있다. 거의 모든 서식 환경에 존재하며, 자유 생활이나 기생 생활을 한다. 예쁜꼬마선충, 회충 등이 있다.

절지동물은 전체 동물 종의 85% 이상을 차지할 정도로 다양하다. 체절이 발달하였으며 각 체절은 기능에 맞게 변형되어 있다. 키틴질의 외골격을 가지고 있으므로 성장 시 탈피를 한다. 절지동물에는 잠자리와 파리 등의 곤충류, 새우와 게 등의 갑각류, 지네와 노래기 등의 다지류, 호랑거미와 산왕거미 등의 거미류가 있다.

극피동물은 후구동물에 속하며, 유생은 좌우 대칭이지만 성체는 방사 대칭의 몸 구조를 갖는다. 순환, 호흡, 운동의 복합적인 역할을 담당하는 수관계를 가지고 있다. 수관계와 연결된 관족을 움직여 운동한다. 불가사리, 해삼, 성게 등이 있다.

척삭동물은 일생 동안 척삭을 갖는 시기가 반드시 존재한다. 창고기가 속하는 두상류, 명게와 미더덕이 속하는 미상류, 먹장어가 속하는 먹장어류와 척추동물로 구분된다. 척추동물은 발생 초기에 척삭을 가지지만, 발생이 진행되면서 척삭은 퇴화하고 척추가 발달한다. 칠성장어, 상어, 개구리, 카멜레온, 도마뱀, 참새, 갈매기, 곰, 사람 등이 있다.

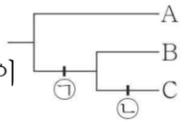
44. 벼, 석송, 소나무, 솔이끼에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 벼는 밀씨가 씨방에 싸여 있다.
 - ㄴ. 소나무와 솔이끼는 모두 관다발을 가지고 있다.
 - ㄷ. 석송과 소나무는 모두 종자 식물에 속한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

45. 그림은 동물 A~C의 계통수를 나타낸 것이다.

특징 ㉠과 ㉡은 각각 ‘척삭이 형성됨’과 ‘중배엽이 형성됨’ 중 하나이고, A~C는 거머리, 해파리, 우렁쟁이를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A와 C는 다른 과에 속한다.
 - ㄴ. E와 F는 다른 목에 속한다.
 - ㄷ. A~F의 학명은 모두 이명법을 사용하였다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15. 생명의 진화

지구에 존재하는 모든 생물은 공통 조상에서 기원하였으며 오랜 시간에 걸친 진화의 산물이다. 생명 과학이 발달하면서 진화는 많은 증거에 의해 뒷받침되고 있다.

과거에 살았던 생물 중 일부가 화석의 형태로 발견된다. 화석이 발견된 지층의 연대를 추정할 수 있으므로 화석은 생물의 형태와 다양성이 시간에 따라 어떻게 변화하였는지 알려준다. 고래의 화석을 통해 포유류의 일부가 고래로 진화하는 과정과 시점을 알 수 있게 되었다.

생물은 공통 조상으로부터 유래한 형태적 유사성을 공유한다. 형태적 특징 중 공통 조상에서 물려받은 특징은 생물의 진화와 유연관계를 밝히는 데 도움이 되며 이러한 특징을 **상동 형질**이라고 한다. 예를 들어 척추를 가진 공통 조상의 특징을 물려받은 척추동물은 척추라는 상동 형질을 가지고 있다.

상사 형질은 공통 조상에서 물려받지 않았지만 서로 형태적으로 유사해진 특징이다. 예를 들어 새와 박쥐의 공통 조상은 날개를 가지지 않았으므로 이들의 날개는 각자 독립적으로 진화한 상사 형질이다.

생물은 고유한 자신의 분포 영역을 나타내는데, 이러한 분포는 생물의 진화 과정과 관련이 있다. 따라서 유연관계가 가까운 생물들은 지리적으로 인접해 있다. 예를 들어 캥거루와 같은 유대류는 지리적으로 인접한 호주와 남미 대륙에 대부분 분포한다.

유연관계가 가까운 생물들은 가까운 공통 조상을 공유하므로 발생 초기 단계에서 나타나는 배아의 형태가 매우 유사하다. 예를 들어 척추동물의 발생 초기 배아의 형태는 매우 유사하다.

DNA의 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열과 같은 분자 생물학적 특징은 생물 사이에서 유연관계를 보여준다. 공통 조상에서 물려받은 동일한 DNA 서열은 종들이 진화하면서 서로 달라지므로 종들의 유연관계가 가까울수록 DNA 서열은 더욱 유사해진다.

같은 지역에 서식하는 같은 종의 개체들의 모임을 집단이라고 하며, 집단 내에는 변이를 가진 개체가 존재한다. 아프리카 남부 지역의 인류 집단에는 정상적인 모양의 적혈구와 비정상적인 낫 모양 적혈구를 가진 사람들이 존재한다. 이러한 적혈구의 형태적 차이, 즉 표현형의 변이는 유전자의 변이 때문에 나타난다. 낫 모양 적혈구를 가진 사람은 비정상 헤모글로빈 대립유전자를 가지고 있다.

매년 세계적으로 약 320만 명의 낫 모양 적혈구 빈혈증 환자가 발생하며, 이 중 약 80%가 아프리카 남부 지역에서 발병한다. 그런데 이 지역은 세계에서 말라리아 발병률이 가장 높은 지역으로 매년 수백만 명이 말라리아로 사망한다. 다른 지역보다 말라리아 발병률이 높은 지역에서 낫 모양 적혈구 빈혈증 환자가 많은 것은 자연 선택이 작용한 결과이다. 자연 선택은 집단이 변화하는 환경에 적응하도록 해 준다.

같은 집단에 속하는 개체들은 서로 잠재적인 교배 상대이므로, 한 집단은 유전자풀을 공유한다. **유전자풀**은 한 집단 내 모든 개체가 가지고 있는 모든 대립유전자의 총합이다. 한 집단의 유전자풀은 다른 집단의 유전자풀과 구분되며, 환경의 변화에 적응하여 집단이 진화할 수 있는 밑바탕이 된다. 따라서

집단에서의 진화는 유전자풀의 변화를 뜻한다.

특정 조건을 만족하는 집단에서는 시간이 흘러도 대립유전자 빈도와 유전자형 빈도가 변하지 않게 되는데, 이를 **하디·바인베르크 법칙**이라고 한다. 하디·바인베르크 법칙을 따르는 집단은 **유전적 평형**을 나타내며, 이러한 집단을 **멘델 집단**이라고 한다.

멘델 집단이 되기 위해서는 집단이 충분히 커야 하며 집단의 개체 사이에서 무작위로 교배가 일어나야 하고, 돌연변이나 집단 사이의 유전자 흐름, 자연 선택이 없어야 한다.

하디·바인베르크 법칙을 따르는 생물 집단은 매우 드물며, 실제 생물 집단은 여러 가지 요인에 의해 유전자풀이 변한다. 유전적 평형 상태에서 예측한 대립유전자 빈도와 실제 집단의 대립유전자 빈도를 비교함으로써 어떤 진화의 요인이 작용하는지 분석할 수 있다.

진화는 유전자풀의 변화를 뜻한다. 유전적 평형을 이루는 데 필요한 조건이 충족되지 않으면 대립유전자 빈도가 변하게 되므로 집단은 진화하게 된다. 유전자풀의 변화 요인으로는 돌연변이, 유전적 부동, 자연 선택, 유전자 흐름이 있다.

DNA의 염기 서열에 변화가 생겨, 새로운 대립유전자가 나타나는 현상을 **돌연변이**라고 한다. 돌연변이는 집단 내에 존재하는 모든 유전적 변이의 원천이다. 돌연변이에 의해 생겨나는 대립유전자는 집단 내에서 매우 낮은 빈도로 존재하므로, 돌연변이가 그 자체로는 집단의 진화에 미치는 영향이 크지 않다.

집단을 구성하는 개체는 자손에게 자신이 가지고 있는 대립유전자 중 하나를 무작위로 전달하게 된다. 대립유전자가 자손에게 무작위로 전달되기 때문에 세대와 세대 사이에서 대립유전자 빈도는 예측할 수 없는 방향으로 변화한다. 이와 같은 현상을 **유전적 부동**이라고 한다. 유전적 부동은 집단의 크기가 작을수록 강하게 작용한다. 집단의 크기가 뚜렷이 작아지는 병목 효과나 창시자 효과가 일어나는 상황에서 집단은 유전적 부동의 영향을 받아 대립유전자 빈도가 급격히 변할 수 있다.

집단 내 개체 사이에 변이가 존재하며 특정 형질을 가진 개체가 다른 개체보다 생존과 번식에 유리하여 더 많은 유전자를 다음 세대에 남기면 집단의 유전자풀이 변한다. 이러한 현상을 **자연 선택**이라고 한다. 자연 선택이 일어나면 시간이 지남에 따라 환경의 변화에 가장 적합한 대립유전자를 가진 개체들로 집단이 구성된다.

분리된 두 집단 사이에서 개체의 이주나 배우자의 이동이 일어나면 두 집단의 유전자풀이 섞이는데, 이러한 현상을 **유전자 흐름**이라고 한다. 두 집단 사이를 개체가 직접 이주하기도 하지만, 식물에서는 꽃가루를 통해 유전자 흐름이 일어나기도 한다. 유전자 흐름은 집단에 없던 새로운 대립유전자를 도입시킬 수 있다. 살충제 내성 유전자가 전 세계의 모기 집단으로 확산된 것이 그 예에 해당한다.

또, 장벽에 의해 격리된 집단이 연결되면 유전자 흐름이 일어나 하나의 큰 집단이 된다. 이렇게 커진 집단은 유전적 부동의 영향을 적게 받게 된다. 사람이 만든 도로에 의해 단절된 집단을 연결해 주는 생태 통로는 유전자 흐름을 위한 것이다.

유전자풀을 변화시키는 여러 요인은 집단의 진화에 영향을 미친다. 일반적으로 하나의 요인만 작용하지 않으며, 여러 요인이 동시에 작용한다.

새로운 종이 생겨나는 과정을 **중분화**라고 하며, 중분화를 통해 지구에는 수많은 종이 생겨났다.

중분화가 일어나는 가장 일반적인 과정은 지리적 격리에 의한 중분화이다. 이때 한 집단은 물리적인 장벽에 의해 격리되어 두 집단으로 분리된 후, 서서히 중분화가 일어난다. 원래 한 집단이었지만 물리적 장벽에 의해 분리된 두 집단에 돌연변이, 유전적 부동, 자연 선택 등이 작용하면 두 집단 각각의 유전자풀은 점차 서로 다르게 변한다. 오랜 시간이 지나서 두 집단이 다시 만나게 되더라도 두 집단의 개체 사이에서 교배가 일어나지 않거나, 교배가 일어나더라도 번식 가능한 자손이 태어나지 않는다. 즉, 두 집단은 유전자풀을 공유할 수 없게 되어 생식적으로 격리되고, 그 결과 두 집단은 서로 다른 종으로 분화된다.

미국 서부에 분포하는 엔사티나도롱뇽에서는 지리적으로 인접한 집단 사이에 생식적 격리가 없어 교배를 통한 유전자 흐름이 일어난다. 그러나 가장 남쪽에 있는 두 집단은 생식적인 격리가 일어나 서로 다른 종으로 분화하였다. 이러한 현상이 나타나는 이웃 집단들의 모임을 **고리종**이라고 한다. 고리종은 중분화가 연속적이며, 점진적인 과정이라는 것을 보여 준다.

46. 다음은 생물 진화의 증거로 이용되는 예이다.

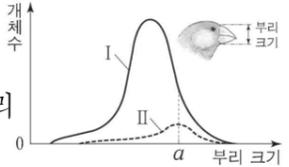
- (가) 박쥐의 날개와 잠자리의 날개는 발생의 기원은 다르지만 환경에 적응하여 기능이 비슷해진 기관이다.
- (나) 오스트레일리아에는 동남아시아에 서식하지 않는 유대류가 서식한다.
- (다) 고래의 조상으로 추정되는 동물의 화석에 뒷다리 뼈가 있다.

(가)~(다)가 해당되는 진화의 증거로 옳은 것은?

- | | | |
|--------------|------------|------------|
| (가) | (나) | (다) |
| ① 생물 지리학적 증거 | 화석학적 증거 | 비교 해부학적 증거 |
| ② 생물 지리학적 증거 | 비교 해부학적 증거 | 화석학적 증거 |
| ③ 화석학적 증거 | 생물 지리학적 증거 | 비교 해부학적 증거 |
| ④ 비교 해부학적 증거 | 생물 지리학적 증거 | 화석학적 증거 |
| ⑤ 비교 해부학적 증거 | 화석학적 증거 | 생물 지리학적 증거 |

47. 그림은 시기 I 과 II에서 동일한 종으로

구성된 조류 집단 P의 부리 크기에 따른 개체수를 나타낸 것이다. I에서 II로 시간이 지나는 동안 자연선택을 통해 부리 크기에 따른 개체수가 변하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. I에서 개체 사이에 부리 크기의 변이가 있었다.
 - ㄴ. I과 II에서 P의 유전자풀은 서로 다르다.
 - ㄷ. 부리 크기가 a인 개체수는 II에서가 I에서보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

48. 그림은 종 A로부터 종 B와 종 C가 분화되는 과정을 나타낸 것이다. A~C는 서로 다른 생물학적 종이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 지리적 격리는 1회 일어났고, 이입과 이출은 없다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. B와 C의 출현 과정에서 돌연변이가 발생하였다.
 - ㄴ. 과정 I에서 창시자 효과가 일어났다.
 - ㄷ. B는 C와 생식적으로 격리되어 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

16. 생명 공학 기술과 인간 생활

특정 생물에서 추출한 유용한 유전자를 다른 생물의 DNA에 끼워 넣어 재조합 DNA를 만든 후, 이를 세균 등에 넣어 유용한 유전자를 증식하거나 유전자의 산물을 얻는 기술을 **유전자 재조합 기술**이라고 한다.

유전자 재조합 기술에는 재조합할 유용한 유전자, DNA 운반체, 제한 효소, DNA 연결 효소가 필요하다. DNA 운반체는 유용한 유전자를 숙주 세포 안으로 운반하는 역할을 하는 DNA이며, 주로 플라스미드가 이용된다.

제한 효소는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 역할을, DNA 연결 효소는 자른 DNA를 붙이는 역할을 한다. 제한 효소로 잘린 DNA의 양쪽 말단은 상보적인 염기 서열을 가진 다른 DNA 말단과 결합할 수 있다. 같은 제한 효소로 잘라 만들어진 유전자 말단과 DNA 운반체 말단의 염기 간에는 수소 결합이 형성된다. 수소 결합을 통해 일시적으로 결합한 두 DNA의 말단을 DNA 연결 효소로 연결하면 재조합 DNA가 된다.

현재까지 많은 세균에서 수백 종류의 제한 효소가 발견되었다. 제한 효소마다 제한 효소 자리가 다르므로 제한 효소의 종류를 선택하여 이용하면 DNA를 원하는 대로 자를 수 있다.

1970년대 후반에 최초로 유전자 재조합 기술을 활용하여 대장균에서 사람의 인슐린을 생산하였다. 이후 유전자 재조합 기술은 많은 분야에서 활발하게 활용되고 있다.

유전자 재조합 기술로 형질 전환 대장균을 만드는 과정에서는 재조합 플라스미드(재조합 DNA)가 도입된 대장균, 원래의 플라스미드가 도입된 대장균, 플라스미드가 도입되지 않은 대장균이 있을 수 있다. 따라서 재조합 플라스미드가 도입된 대장균을 선별하는 과정이 필요하다.

한 세포에서 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술을 **핵치환**이라고 하며, 핵치환으로 핵을 제공한 개체와 유전적으로 같은 개체를 복제할 수 있다. 핵치환을 활용하면 교배 과정을 거치지 않고 체세포의 핵을 이용하여 생물을 탄생시킬 수 있다.

핵치환은 우수한 동물이나 멸종 위기 생물을 복제함으로써 종을 보존하고 번식시키는 데 활용된다. 또, 유용한 유전자가 도입된 형질 전환 세포를 핵치환에 이용하여 형질 전환 복제 동물을 만들고, 이 동물로부터 의약품 등 유용한 물질을 생산하고 있다. 특히 우리나라에서는 마약을 탐지하거나 인명을 구조하는 특수견, 우수한 한우 등을 복제하여 실생활에서 이용하고 있거나 실용화하기 위한 안전성 연구를 진행하고 있다.

핵치환으로 복제 동물이 탄생하려면 체세포의 핵이 이식된 난자를 배아 수준까지 배양해야 한다. 조직이나 세포를 영양분이 첨가된 영양 배지에서 배양하는 기술을 **조직 배양**이라고 한다. 특히 식물의 세포나 조직 일부분을 분리하여 배양하면 세포 분열이 일어나고, 하나의 개체로 성장한다. 따라서 하나의 개체로부터 똑같은 형질을 가진 개체를 대량으로 번식시킬 수 있다.

복제 동물을 만드는 과정에서 핵을 제거한 난자와 체세포를 융합하는 기술이 활용되었다. 이처럼 서로 다른 특징을 가진 두 종류의 세포를 융합하여 하나의 세포로 만드는 기술을 **세포 융합**이라고 한다. 세포 융합을 활용하면 우리가 원하는 특

성을 가진 융합 세포를 만들 수 있고, 두 식물 종의 특성을 모두 가진 잡종 식물을 만들 수 있다.

핵치환은 동물 복제에 필수적인 기술이며, 세포 융합은 새로운 작물을 개발하는 데 활용되기도 한다. 최근에는 암의 발생 원인, 치료 등을 위한 연구에 동물 세포를 배양하는 기술이 많이 활용되고 있다.

우리 몸에 병원체와 같은 특정 항원이 침입하면, 면역 세포는 이 항원을 인식하는 특정 항체를 만들어 낸다. 이 항체는 특정 항원과 결합함으로써 항원의 작용을 무력화해 우리 몸을 건강하게 유지하도록 한다.

우리 몸 밖에서 항체를 얻는 일반적인 방법으로는 쥐나 토끼와 같은 동물에 항원을 주입하고 일정 기간이 지난 후 혈청을 채취하는 것이다. 혈청 속에는 여러 종류의 항체가 들어 있지만 얻을 수 있는 양이 제한되고, 많은 양을 지속해서 얻기 어렵다. 이러한 문제점을 극복하는 방법은 세포 융합 기술로 하나의 항원만을 특이적으로 인식하는 **단일 클론 항체**를 생산하는 것이다. 단일 클론 항체는 병원체에 의한 질환의 진단과 치료, 암 치료 등 다양한 분야에 활용될 수 있다.

DNA 운반체를 이용해 치료에 필요한 유전자를 환자의 몸 안에 넣어 결합 유전자를 대체하거나, 그 부위에 치료용 단백질을 생산하게 하는 것을 **유전자 치료**라고 한다. 유전자 치료는 치료에 필요한 유전자를 투여하는 방법에 따라 체내 유전자 치료와 체외 유전자 치료로 구분한다. 유전자 치료에 관한 연구가 활발히 진행되어 실제 치료에 적용된다면 암, 후천성 면역 결핍증(AIDS), 유전병 등 많은 난치병을 치료하는 새로운 대안이 될 수 있다.

여러 종류의 세포로 발달할 수 있는 분화 능력을 가진 세포를 **줄기세포**라고 한다. 줄기세포에는 성체 줄기세포, 배아 줄기세포, 역분화 줄기세포가 있다. 성체 줄기세포는 골수, 탭줄 등에 있으며, 배아 줄기세포는 배아 조직 중 내세포 덩어리에서 얻을 수 있다. 역분화 줄기세포는 성인의 피부 세포와 같은 체세포를 역분화시켜 얻을 수 있다.

성체 줄기세포는 배아 줄기세포보다 생명 윤리적인 논란이 적어 백혈병, 척수 손상 등과 같은 질환의 치료에 이용되고 있다. 역분화 줄기세포는 생명 윤리적인 문제가 없고, 환자의 체세포를 이용할 수 있다. 그러나 배아 줄기세포와 역분화 줄기세포는 모두 종양을 일으킬 가능성이 있어 실용화를 위한 연구와 임상 시험이 진행되고 있다. 최근에는 뇌 질환, 심장 질환 등과 같이 완치되기 어려운 질환의 치료에 생명 공학 기술을 활용하고 있어 난치병 치료의 가능성이 커지고 있다.

생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 동물, 식물, 미생물을 **유전자 변형 생물(LMO)**이라고 하며, 교배를 통해 얻는 생물과는 구분된다. LMO의 대표적인 예로는 제초제 내성 콩, 해충 저항성 목화 등과 같은 유전자 변형 작물이 있으며, 이외에도 환경 정화를 목적으로 하는 나무, 사람의 질환을 연구하기 위한 모델 동물, 빠르게 성장하는 연어, 고기능 효소 생산을 위한 미생물 등 다양하다.

LMO는 식량, 환경, 에너지, 축산, 의약, 바이오 산업 등에서 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 LMO가 식품과 사료의 원료로 이용되기 시작하면서부터 우리 생활과 생태계에 영향을 미치는 다양한 측면에서 우려가 제기되고 있다. 따라서 LMO를 개발하고 활용하면서 잠재적 위험성에 대비한 철저한 관리가 필

요하다.

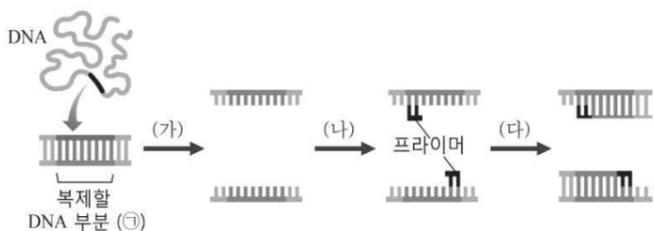
생명 공학은 생물의 생명 현상을 해석하고 응용하기 위한 핵심 분야가 되면서 생명 과학의 발달에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 생명 공학의 발달 과정에서 예기치 않은 문제가 나타날 수 있어 이를 염려하는 목소리도 크다.

1982년에 처음으로 생산된 슈퍼 마우스를 시작으로 형질 전환 동물에 관한 연구가 진행되면서 형질 전환 동물의 생산이 증가하고 있다. 특히 장기 이식용 형질 전환 복제 동물을 개발하여 바이오 장기를 얻기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 체세포 핵치환 기술의 발달로 동물 복제가 보편화하면서 인간 복제로 이어질 가능성이 제기되고 있다. 우리나라에서는 생명 윤리 및 안전에 관한 법률인 「생명 윤리법」을 확정하여 인간 복제를 법으로 금지하고 있다.

생명 공학은 보건 의료, 환경과 함께 21세기의 유망 산업으로 주목받고 있으며, 생명 공학 기술로 만들어진 제품은 고부가 가치를 창출하므로 국가 산업 경쟁력의 핵심이 되고 있다. 우리나라에서도 「생명 공학 육성법」을 제정하여 생명 공학 분야에 집중적으로 투자하고 있다. 그러나 생명 공학의 발달 과정에서 생명 윤리 문제의 심각성이 나타나고 있어 생명 공학 기술이 인류 전체의 존립을 위협할 수 있음을 경고하고 있다. 따라서 생명 공학 관련 분야에 종사하는 사람들의 연구 윤리가 중요하며, 생명 공학 기술의 안전과 생명 윤리에 관한 사회 구성원들의 합의가 필요하다.

생명 공학 기술의 개발과 활용 시 나타나는 생명 윤리를 비롯한 여러 문제를 인식하고 올바르게 대처하도록 노력한다면 생명 공학은 의약품의 생산, 질환의 진단·예방·치료, 식량 문제 해결, 인간의 수명 연장 등 인류의 미래를 위해 많은 성과를 낼 것이다.

49. 그림은 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 이용하여 DNA를 증폭시키는 과정을 나타낸 것이다.



과정 (가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 반응 온도는 (나)에서 가장 높다.
 - ㄴ. (다)에서 DNA 중합 효소가 사용된다.
 - ㄷ. (가)~(다)를 10회 반복하면 ㉠의 DNA양은 20배로 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

50. 다음은 생명 공학 기술을 이용하여 환자에게 이식할 인공 기관지를 만드는 과정이다.

- (가) 기증자로부터 제공받은 기관지에서 기관지의 형태만 남기고 모든 세포를 제거한다.
- (나) 환자의 골수에서 줄기 세포를 분리하여 기관지를 구성하는 세포로 분화시킨다.
- (다) (가)에서 준비된 기관지 형태에 (나)의 분화된 세포를 이식하여 새로운 기관지를 만든다.
- (라) (다)에서 만든 기관지를 환자에게 이식한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 이 과정에서 세포 융합 기술이 사용된다.
 - ㄴ. (가)는 새로운 기관지의 골격을 준비하는 과정이다.
 - ㄷ. (나)에서 환자의 줄기 세포를 이용하므로 이식 거부 반응이 최소화된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

51. 영희는 해충 저항성 유전자 X를 옥수수에 도입하여 형질 전환 옥수수를 만들었다. 다음은 영희가 수행한 실험 과정을 순서없이 나열한 것이다.

- (가) 재조합된 플라스미드를 세균에 도입하였다.
- (나) ㉠ X가 도입된 옥수수 세포를 조직 배양하였다.
- (다) 형질 전환된 세균을 ㉡ 옥수수 세포에 감염시켰다.
- (라) 어떤 식물로부터 X를 분리하고 이를 플라스미드와 재조합하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 영희는 (라) → (다) → (가) → (나)의 순서로 실험을 수행하였다.
 - ㄴ. (라)에서 DNA 연결 효소가 사용되었다.
 - ㄷ. ㉠과 ㉡의 유전자 조성은 서로 다르다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	①	2	⑤	3	⑤	4	④	5	⑤
6	⑤	7	④	8	⑤	9	③	10	⑤
11	③	12	①	13	⑤	14	①	15	①
16	⑤	17	⑤	18	①	19	④	20	⑤
21	①	22	③	23	⑤	24	③	25	③
26	①	27	②	28	④	29	④	30	③
31	①	32	②	33	②	34	③	35	⑤
36	②	37	⑤	38	⑤	39	④	40	①
41	②	42	⑤	43	①	44	①	45	⑤
46	④	47	④	48	④	49	②	50	⑤
51	④								

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.