


20 년 월 일 요일
 시간 : 장소 : 
 학교 학년 반
 번 이름 :

DNA 추출 I - 식물세포

세포의 핵 속에서 유전정보를 담고있는 DNA에 대하여 알아보고, 식물세포 속 DNA를 추출하여 관찰해 봅시다.

실험키트구성

세제·염화나트륨이 들어있는 물약병, 플라스틱비커, 거즈, 고무줄, 플라스틱 스포이트, 에탄올, 나무스틱, 시험관대, 개인용시험관, 개인용샘플병, DNA샘플북

준비물

과일이나 식물(브로콜리, 바나나, 토마토, 딸기 등) 중탕할 비커(컵)와 뜨거운 물, 가능하면 온도계


생각해보기

만약 자신이 식물세포의 DNA를 마음대로 바꿀 수 있다면, 제일 하고싶은 연구는 무엇인가요?

실험방법 1. 추출용액 준비하기 조별 활동

- 세 제 용 액** : 세제가 들어있는 물약병에 물을 10ml가 되도록 넣고 흔들어 녹입니다.
- 염화나트륨 수용액** : 염화나트륨이 들어있는 물약병에 물을 10ml가 되도록 넣고 흔들어 녹입니다.

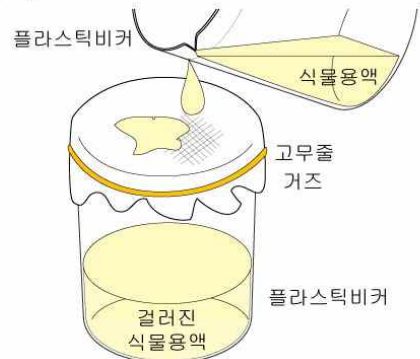
실험방법 2. 식물세포의 DNA 추출

-  **조별 활동** 1. 막자사발(또는 가정용 절구, 믹서기)에 과일 또는 식물을 넣고 곱게 갈아줍니다.
 - ▶ 준비할 과일 또는 식물의 양은 큰 딸기 2알 크기면 충분합니다. (20g 정도)
 - ▶ 바나나, 딸기와 같이 무른 과일은 손으로 주물러주어도 좋지만 곱게 갈아주는 것이 가장 실험결과가 잘 나옵니다.
- 2. 플라스틱비커에 갈아놓은 식물을 20ml 넣고 세제용액 10ml 와 염화나트륨수용액 10ml를 넣어 천천히 저어줍니다.
 - ▶ 세제 저으면 거품이 생겨서 실험이 어렵습니다. 천천히 섞이도록 저어주세요.
 - ▶ 생긴 거품은 스틱으로 걷어냅니다.
- 3. 위 플라스틱비커를 10분간 따뜻한 물(60~70℃ 정도)에 담가둡니다.
 - ▶ 80℃를 넘으면 DNA가 변성되므로 주의하세요.
- 4. 거즈와 고무줄을 사용하여 또다른 플라스틱 비커에 거름장치를 만듭니다.
 - ▶ 2장의 거즈를 펴서 반으로 접어 4겹 정도의 거름망이 되도록 합니다.
- 5. 세포막이 분해된 식물용액을 거름망에 걸러줍니다.
 - ▶ 거즈를 오목하게 하고, 식물용액을 천천히 조금씩 붓습니다.
 - ▶ 거른 용액이 모두 15ml~20ml 정도면 충분합니다.

식물세포의 외벽인 세포벽을 1차적으로 부수는 작업입니다.

세제용액은 인지질로 이루어진 세포막과 핵막을 분해하여 DNA가 빠져 나오게 합니다.
 염화나트륨 수용액은 DNA를 전기적 중성상태로 만들어 잘 멩치게 하며, 히스톤단백질을 분리하여 순수한 DNA가 되도록 돕습니다.

약 50℃에서 DNA분해효소가 변성되어 DNA를 보호합니다.
 ★ DNA의 변성온도는? 약 80℃



개별 활동 6. 스포이트로 걸러진 식물용액 3ml를 각자 시험관에 담습니다.

▶ 스포이트 조별 1개 사용

7. 이 시험관에 스포이트를 사용하여 에탄올 6ml를 천천히 흘려넣어 층을 만듭니다.

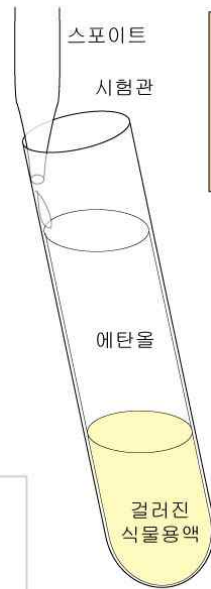
▶ 시험관을 약간 기울여 흔려 넣으면 층이 잘 형성됩니다.

▶ 이 때 에탄올은 차가울수록 좋습니다.
(냉장보관 또는 찬물에 병째로 담가두기 등)

▶ 스포이트 각자 1개 사용

8. 5~10분간 가만히 두고 에탄올 층에서 일어나는 현상을 관찰합니다.

관찰 내용



DNA는 물에서는 잘 녹지만 에탄올에서는 잘 녹지 않으므로 시험관에 에탄올을 넣으면 DNA의 용해도를 낮추고, DNA가 안정적으로 엉기게 해줍니다.

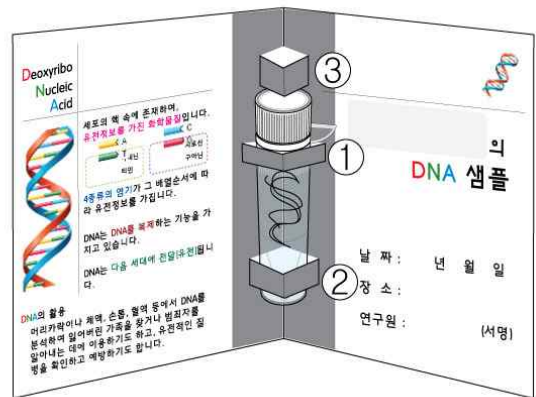


9. 시험관의 에탄올 층에 거미줄과 같이 DNA가 응고되어 나타나면 스포이트로 빨아당겨 건져서 샘플병에 옮기고 에탄올을 채워넣은 후 뚜껑을 닫습니다.

▶ 시험관에 든 에탄올을 샘플병에 채우면 됩니다.

10. DNA 샘플북에 그림과 같이 잘 끼우고 실험날짜, 이름 등을 기록합니다.

▶ ①, ②번을 세우고 샘플병을 넣은 후 ③번을 세우면 고정됩니다.



실험시 주의사항

1. 식물은 막자사발 또는 절구, 믹서기 등을 사용하여 잘 으깨어 사용합니다.
2. 시험관에 에탄올을 흘려 넣을 때 층이 잘 생기도록 천천히 넣습니다.

확인학습

1. 오늘 추출한 DNA는 생명체 내에서 어떤 역할을 합니까?

2. DNA가 세포 내 핵막 안에서는 어떤 형태로 존재합니까?

3. DNA의 추출 과정에서 사용된 염화나트륨 수용액, 세제용액, 에탄올 각각의 역할을 정리해 봅시다.

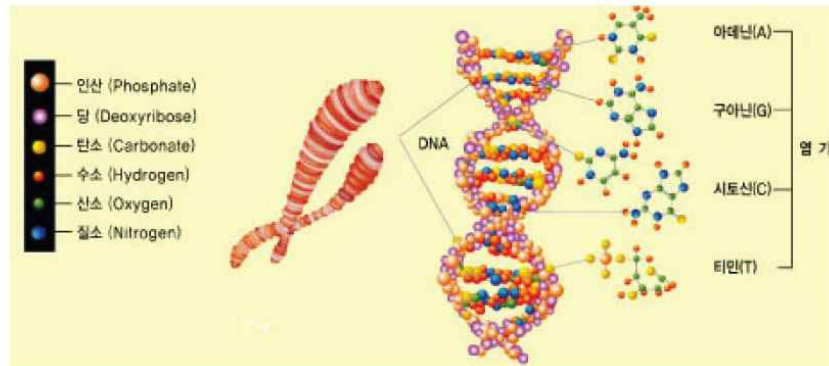
염화나트륨 수용액

세제용액

에탄올

원리학습

오늘 추후한 DNA(Deoxyribo Nucleic Acid)에 대하여 알아볼까요?



- ★ 세포의 핵 속에 있으며 자연에 존재하는 2종류의 핵산 중 하나로 유전정보를 담는 화학물질입니다.
- ★ 아데닌, 구아닌, 시토신, 티민 4종류의 염기가 배열순서에 따라 유전정보를 가지게 됩니다.
- ★ 그 모양은 사다리를 비틀어 꼬아 놓은 듯한 이중나선구조입니다.

DNA는 DNA를 복제하는 기능을 가지고 있습니다.

유전 정보는 염기 배열순서가 만들어 내는 단백질에 때문인데, 이 단백질을 만드는 DNA를 복제하여 하나의 생명체 내의 DNA에서는 모두 같은 유전정보를 가지며, 또한 같은 유전형질을 나타내게 합니다. 그래서 내 몸 어느 곳의 세포를 검사하여도 같은 DNA를 가지게 되는 것입니다.

DNA는 다음 세대에 전달됩니다.

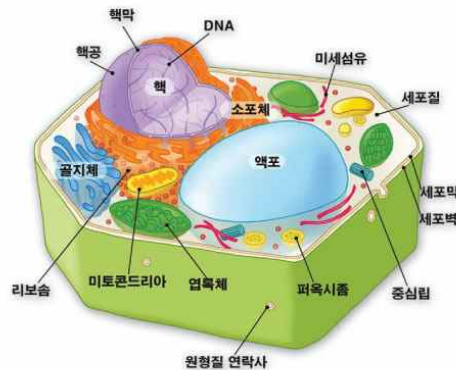
생명체 내의 생식세포(정자, 난자)라는 특수한 세포는 DNA를 반쪽만 가지게 되며, 이 생식세포가 만나 제대로 된 생명체가 만들어 지는데 이때 부모세대의 DNA가 전달 됩니다. 부모와 닮은 유전형질을 갖는 것도 DNA의 중요한 역할이지요.

식물 세포의 구조를 살펴보면,

식물 세포의 외부는 세포벽과 세포막으로 둘러싸여 있으며, 그 내부의 핵 속에 염색체인 DNA가 존재하는데 이 또한 핵막으로 둘러싸여 있습니다.

DNA를 추출하기 위해서는

- 1) 세포벽의 물리적인 파괴
 - 2) 인지질로 된 세포막과 핵막의 분해
 - 3) 염색사로 존재하는 DNA를 눈으로 볼 수 있도록 응고
- 시키는 3가지 단계가 필요합니다.



오늘 실험에서.

세포벽은 막자사발이나 믹서 등으로 파괴 시키고, 기름성분이 포함된 세포막과 핵막은 계면활성제인 세제용액으로 분해시켰으며, 그 사이 순수한 DNA와 DNA응고의 촉진을 위해 염화나트륨 수용액을 넣어 주었습니다.

마지막으로 물에는 잘 녹아있지만 에탄올에는 녹아있지 않는 DNA의 성질을 이용하여 에탄올을 흘려 넣어주면 에탄올 층으로 DNA가 응고되어 보이게 되는 것입니다.

DNA가 들어있는 용액은 60~70°C 의 물에 담가두게 되면 DNA를 분해하는 효소의 작용은 정지시키게 되어 DNA를 보호하게 됩니다. 참고로 DNA의 변성온도는 약 80°C로 비교적 열에 안정한 편입니다.

중요한 유전정보를 가진 DNA를 직접 추출하고 관찰한 느낌이 어떤가요?

느낀점

■ 교사용 실험 자료실 ■

실험 제목	DNA추출 I -식물세포		실험 원리	식물세포의 DNA추출	
실험 시간	40분	실험 분야	생물	실험 방법	4인 1조, 조별실험
세트구성물	세제, 염화나트륨이 들어있는 물약병, 플라스틱 비커, 거즈, 고무줄, 플라스틱 스포이트, 에탄올, 시험관대, 개인용 시험관, 개인용 샘플병, 나무스틱, DNA 샘플북				
교사준비물	과일이나 식물(브로콜리, 바나나, 토마토, 딸기 등), 중탕할 비커(컵)와 뜨거운 물, 가능하면 온도계	학생준비물			
실험 결과	학생 1인당 DNA 샘플북을 1개씩 가지고 갑니다.				
실험팁	<p>TIP 1. 믹서기로 과일이나 야채를 갈 때에는 물을 조금 넣고 같이 갈아도 됩니다.</p> <p>TIP 2. 식물과 세제용액, 염화나트륨 용액을 섞은 후 10분간 따뜻한 물에 담가두는 과정은 생략 가능합니다. 실험시간 조정이 필요하신 경우 참고하세요.</p> <p>TIP 3. 한 조당 필요한 식물의 양은 한 조당 딸기 두 알, 혹은 브로콜리 두 조각 분량입니다. 브로콜리나 바나나가 DNA 추출이 매우 잘 되는 편입니다.</p>				

생각해보기

만약 자신이 식물세포의 DNA를 마음대로 바꿀 수 있다면, 제일 하고 싶은 연구는 무엇인가요?
자유롭게 자신의 생각을 발표하도록 유도해주세요.

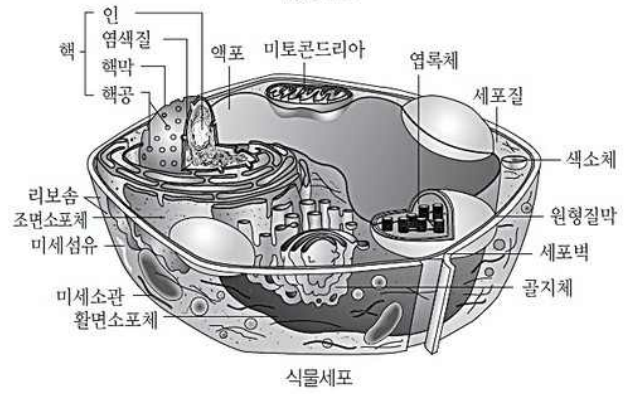
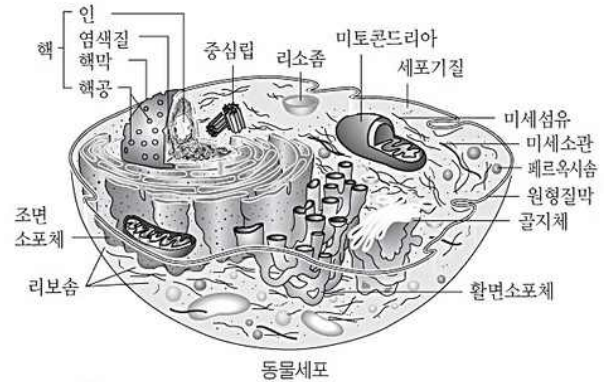
확인학습

- 오늘 추출한 DNA는 생명체 내에서 어떤 역할을 합니까?
세포의 핵 속에 있는 유전정보를 가진 화학물질로 복제 및 다음세대에 전달하는 역할을 합니다.
- DNA가 세포 내 핵막 안에서는 어떤 형태로 존재합니까?
염색사(실이 엉켜있는 형태)로 존재합니다.
- DNA의 추출 과정에서 사용된 염화나트륨 수용액, 세제용액, 에탄올 각각의 역할을 정리해 봅시다.
염화나트륨 수용액 : DNA를 전기적 중성 상태로 만들어 잘 뭉치게 하며, 히스톤 단백질을 분리하여 순수한 DNA가 되도록 도와줍니다.
세제용액 : 인지질로 이루어진 세포막과 핵막을 분해하여 DNA가 빠져나오게 합니다.
에탄올 : DNA의 용해도를 낮추고, DNA가 안정적으로 엉기게 해줍니다.

세포 [cell , 細胞]

세포질막에 둘러싸여 있고, 원칙적으로는 내부에 1개의 핵을 갖는 생체의 구조적이고 기능적인 단위. 'cell'은 원형질을 상실한 코르크에서 관찰한 것인데, 이후 생물체의 기능상 중요한 것은 Hooke가 제시한 세포가 아니라 그 내용물 즉, 원형질인 것을 확인한 후 세포의 개념이 바뀌었다. 나아가 전자현미경에 의해 세포구조를 알게 되어 핵과 더불어 세포내막계나 세포소기관 등의 많은 미세구조를 확인하였다. 또한 그와 같은 미세구조 간의 물질이동, 세포간 커뮤니케이션 등이 해명되어 생체의 기능단위계로서 상세한 지식이 집적하고 있다. 세포는 2군, 즉 원핵세포와 진핵세포로 구분한다. 진핵세포의 분열 시에는 분열장치가 만들어진다. 식물세포는 일반적으로 세포벽에 둘러싸이고 세포질에는 엽록체가 존재하며 흔히 커다란 액포를 함유한다. 대부분의 동물세포는 세포질막으로만 둘러싸여 있다. 또한 다핵체나 변형체와 같이 보통의 세포구조와는 뚜렷하게 다른 다세포적 생물이 있고, Volvox 등의 몸은 다수의 개체가 모인 군체다. 다세포생물체는 보통 많은 종류의 세포가 분화하여 각각의 기능에 따라 분화된 구조를

세포에 가지고 있다. 이러한 동종의 세포가 모여 조직을 구성한다. 이 경우의 세포를 조직세포라고 하며, 단세포생물이나 유주자, 배우자(포자, 정자, 난자), 혈구 등과 같이 1개가 독립한 것을 유리세포라고 한다. 세포의 크기는 생물이나 조직의 종류에 따라 다르다. 인체세포의 체적은 $200\sim 15,000\mu\text{m}^3$ 라고 한다. 큰 것으로는 물오징어의 거대신경조직이 있으며 또한 원핵세포도 포함시켜 현재 알려져 있는 최소의 세포는 구형의 마이코플라스마(소위 PPLO)로 지름이 약 $0.1\sim 0.25\mu\text{m}$ 이다. PPLO에서 관찰되는 미세구조는 단위막 구조를 나타내는 세포질막, DNA, 리보솜이며 세포 내 구조가 매우 빈약하다.

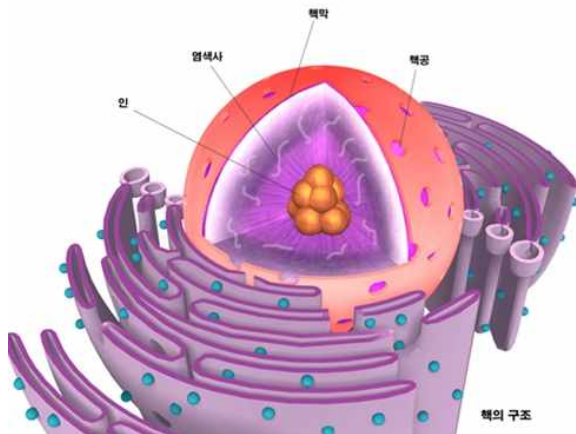


핵

유전물질인 DNA가 들어 있고 세포의 모든 활동을 조절하는 세포내 기관. 세균이나 남조류를 제외한 대부분의 세포에 있으며 대개 세포의 중앙에 있다.

생물체의 조건 핵

핵 내부는 2겹의 막으로 둘러싸여 주변의 **세포질**과 분리된다. 핵막은 **소포체**와 연결되어 있고, 구멍이 뚫려 있어 물질을 교환할 수 있다. 핵의 크기는 생물의 종류에 따라 다르다. 예를 들어, **포도상구균**의 핵은 지름 $0.3\mu\text{m}$ (**마이크로미터**), **물곰팡이**는 지름 $1\mu\text{m}$, 소철의 난세포핵은 지름 $60\mu\text{m}$ 이다. 보통 하나의 세포는 하나의 핵을 가지지만, 핵은 분열하고 세포질은 분열하지 않아 다핵세포를 만드는 경우도 있다. 다핵세포는 골격근섬유(**근육세포**)에서 많이 발견된다. 사람의 **적혈구**와 같은 세포는 성숙하는 동안 핵을 잃어버려 **무핵세포**가 되기도 한다.



핵내 물질

염색사는 **유전정보**를 전달하는 유전자를 포함한다. 인은 작은 조직체로 리보핵산과 단백질을 합성하는 데 중요한 역할을 한다. 핵질은 핵의 내부를 채우고 있는 겔과 비슷한 부분이다.

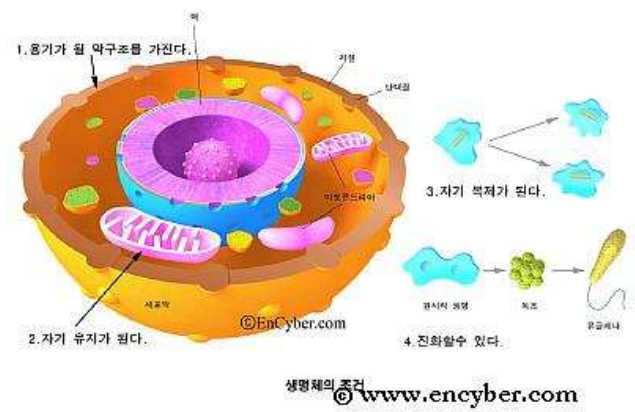
핵상과 핵형

핵상은 핵속에 존재하는 염색체의 상대적인 수를 말한다. 상동염색체쌍을 모두 가지고 있는 **체세포**의 핵상은 $2n$ 이고, 상동염색체쌍 중 하나만 가지고 있는 **생식세포**의 핵상은 n 이다. 핵형은 염색체의 크기, 형태, 수 등을 말한다. **핵형분석**을 통해 태아가 기형아인지 알아볼 수 있다.

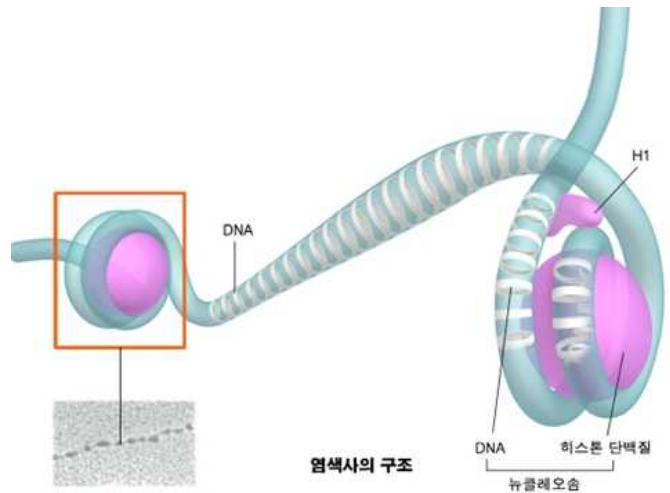
[출처] 핵 | 두산백과

염색사

보통 유전물질은 간기상태의 핵에는 유전물질인 DNA와 히스톤단백질이 꼬여 실처럼 풀어져 있는데, 이것을 염색사

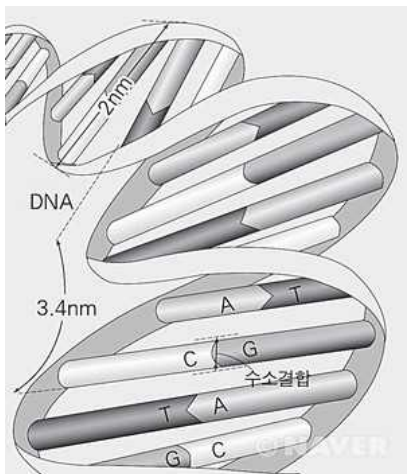


라고 한다. 세포분열에 들어가게 되면 이 염색사가 꼬여서 응축된 덩어리를 형성하게 되는데 이것을 염색체라고 한다. 대개 원래 길이의 1만분의 1까지 짧아진다. [출처] 염색사 | 두산백과



(1) DNA의 구조

DNA는 인산(H_3PO_4), 디옥시리보스($C_5H_{10}O_4$), 염기로 구성되는 뉴클레오티드의 결합체이다. 1953년 왓슨과 클리크가 X선 회절 사진을 이용하여 이중 나선 구조를 밝혔다. DNA의 굵기는 2nm, 1회전 사이의 길이는 3.4nm인데, 이 사이에는 10쌍의 뉴클레오티드가 들어있다. 또한 DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오티드 사슬에서 골격은 당과 인산으로 연결되어 있고, 두 사슬 사이의 염기와 염기는 약한 수소 결합으로 연결되어 있는데, A는 T와, G는 C와 각각 상보적으로 결합되어 있다. 염기와 염기의 결합은 비교적 약한 수소 결합이기에 이중 나선은 단일 나선으로 풀릴 수 있으며 그러기 위해서는 헬리카제나 그 밖의 여러 조건이 필요하다. 그러다 외부의 힘이 사라지면 다시 염기가 서로 결합하여 이중 나선으로 되돌아간다.

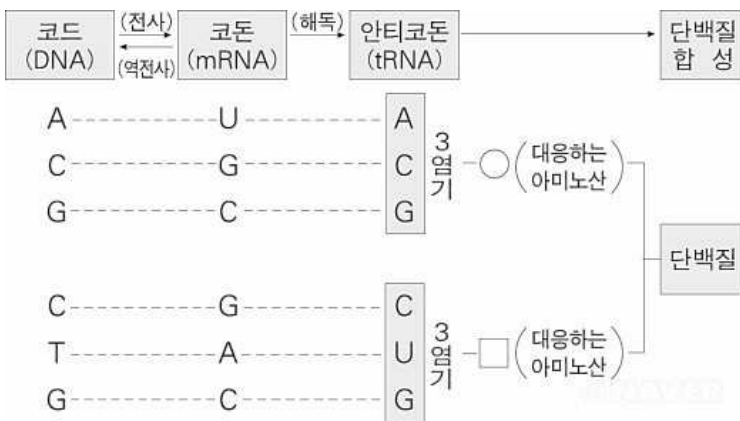


(2) DNA의 청사진에 숨겨진 암호문

DNA 분자는 A, G, C, T의 4가지 염기로 암호문을 만드는데, 4가지 중 반드시 3개가 자유롭게 만나 암호문을 만든다. 따라서 AGC, AGT, ATC, ACG 등 64가지의 암호문을 만들 수 있다. 이와 같이 3개의 염기로 된 DNA의 트리플렛 코드(triplet code, 3염기설)는 독특한 아미노산을 지정하게 되므로, DNA 가닥의 염기 배열 순서에 따라 만들어지는 단백질의 종류가 달라진다. 그러므로 DNA 가닥의 염기 배열 순서가 바로 유전 정보가 된다.

(3) 유전 정보의 단백질 합성

DNA의 유전 정보가 mRNA(messenger RNA : 전령 RNA)에 옮겨지는 것을 전사라 하는데, 이때 염기 중 T 대신 U(우라실)가 들어가며, DNA의 트리플렛 코드에 의하여 전사된 mRNA의 3염기를 코돈이라 한다. mRNA가 세포질로 나와 리보솜에 운반된 후 정보에 맞는 아미노산이 tRNA(transfer RNA : 운반 RNA)에 의해 운반되고 결합되어 단백질이 합성되어 가는 과정을 해독이라 한다. 리보솜에서 단백질이 합성되면, 이 단백질은 효소로 작용하여 세포 내의 특수한 화학 반응을 진행시키게 되며, 여러 가지 화학 반응 결과 유전 형질이 나타나게 된다. 사람마다 주형이 될 DNA의 염기 서열이 다르기 때문에 코드가 다르게 되고, 그에 따라 아미노산의 종류나 배열 순서가 다른 단백질이 만들어져 형질이 다르게 나타나는 것이다.



유전자 [gene , 遺傳子]

부모에서 자식으로 물려지는 특징, 즉 형질을 만들어 내는 인자로서 유전 정보의 단위이다. 그 실체는 생물 세포의 염색체를 구성하는 DNA가 배열된 방식이다. 유전자는 부모가 자식에게 특성을 물려 주는 현상인 유전을 일으키는 단위이다. 이는 소프트웨어적인 개념으로, 예를 들어 컴퓨터의 하드디스크에 들어 있는 프로그램과 같은 것이다.

여기에 비해 컴퓨터의 하드디스크처럼 유전자를 구성하는 물질 자체는 DNA가 된다. 유전자는 DNA를 복제함으로써 다음 세대로 이어진다. DNA는 이중나선 형태를 띠고 있기 때문에 이 이중나선이 풀린 후 각각의 사슬이 연쇄적으로 다시 이중나선으로 합성됨으로써 DNA가 복제된다.

본질적으로 정보일 뿐인 유전자가 그 기능을 발휘하기 위해서는 발현이 되어야 한다. 발현은 DNA가 RNA에 복사되는 전사(transcription)와 RNA가 단백질로 바뀌는 번역(translation) 과정을 말한다. 이렇게 해서 만들어진 단백질이 생체 내에서의 온갖 작용을 일으킴으로써 유전자의 효과가 나타나게 된다. 이러한 과정은 DNA의 구조를 밝혀낸 생물학자인 크릭(F. Crick)이 중심원리라고 이름을 붙였다. 대부분의 경우에 유전자를 이루는 물질은 DNA지만 일부 바이러스의 경우에는 RNA의 형태로 유전자가 보존되어 있기도 하다.

유전자와 게놈

유전자가 하나하나의 형질을 만드는 단위임에 비해서, 어떤 생물이 가지는 유전자 전체를 합한 것을 게놈(genome)이라고 한다. 이 단어는 유전자를 의미하는 단어 gene에다가 '모든 것'이라는 의미를 가진 -ome 어미가 조합된 단어이다. 게놈은 1920년에 윙클러(H. Winkler)가 처음 정의한 단어로써 원래는 정자와 난자 같은 배우자가 가지는 상동염색체의 한쪽을 가리키는 단어로 만들어졌다. 게놈이 현재와 같은 '한 생물의 전체 유전자 집합'으로 다시 정의된 것은 1930년에 기하라 히토시(木原均)에 의해서이다. 이러한 정확한 정의는 잘 알려져 있지 않기 때문에 일반적으로 이야기할 때는 유전자와 게놈을 동일하게 놓는 경우도 많다.

유전자의 기능

모든 컴퓨터 프로그램이 0과 1이라는 두 가지 숫자의 배열로 구성되어 있듯, 유전자 역시 DNA의 배열에 의해 구성된다. DNA는 인산, 디옥시리보스, 질소를 함유하는 염기 세 가지가 결합한 형태가 하나의 단위가 되는데, 여기에서 염기 부분이 크게 4가지로 구성되어 있다. 아데닌(A), 구아닌(G), 타이민(T), 사이토신(C)이 여기에 해당한다. 이 4가지 염기가 긴 DNA 사슬에 배열되어 있는 순서, 즉 서열이 특정한 단백질을 만들게 된다. 특히 4가지의 염기는 A와 T가 서로 결합할 수 있으며, G와 C가 서로 결합할 수 있다는 특성을 가진다. 이러한 이유 때문에 DNA가 이중나선 구조를 가지고 배치되었을 때 두 줄의 나선형 사슬은 동일한 정보를 저장할 수 있게 된다. 이는 DNA에 담겨 있는 정보를 유지하며 정확하게 두 개로 분열되는 데 중요한 역할을 한다. 또한 DNA가 발현될 때는 mRNA로 정보를 전달하는 과정인 전사를 먼저 거치게 되는데, 여기서 DNA를 직접 단백질 합성에 이용하지 않는 것은 DNA를 보호하기 위한 것이라고 여겨진다.

이렇게 만들어진 mRNA 상에 있는 염기 3개는 그에 맞는 아미노산과 결합하여 단백질을 합성한다. 이렇게 3개씩 이루어진 염기서열 정보를 트리플렛(triplet)이라고 하며 이 대응 관계를 유전암호라는 의미에서 코돈(codon)이라고 한다. 이런 과정을 통해 만들어진 단백질은 생체 내에서 수많은 역할을 수행하며 생명을 지속시킨다. 또한 유전자에는 이런 식으로 단백질 정보를 저장하고 있는 것뿐만이 아니라 어떻게 발현되는가 하는 것을 제어하기 위한 조절유전자도 존재한다. 이는 세균에서 발견된 오페론(operon)이 대표적인 예이며 분자생물학 연구가 진행됨에 따라 각종 생물에서 수많은 유전자가 이러한 조절 과정에 관여하고 있음이 밝혀졌다.

유전자의 역사

유전자에 대한 개념을 처음 제시한 과학자는 오스트리아의 수도사였던 멘델(G. J. Mendel)이다. 멘델은 완두콩을 이용한 여러 가지 실험을 통해 멘델의 법칙을 발견함으로써 유전 원리를 처음 과학적으로 밝혀내고 유전자의 존재를 추정했다. 멘델은 이러한 결과를 1865년에 발표했으나 그 당시에는 큰 반응을 불러 일으키지 못했다. 1884년에 멘델이 사망한 후 16년이 지난 1900년에 코렌스(C. Correns), 체르마크(E. V. Tschermak), 드 브리스(H. de Vries)라는 세 명의 과학자가 같은 시기에 멘델의 연구를 다시 발견하여 멘델의 업적은 세상에 알려졌다. 멘델의 법칙이 알려진 후 과학자들은 실제로 멘델이 예상했던 유전 물질이 무엇인지를 찾아내는 데 집중했다. 그리고 1903년 서튼(W. S. Sutton)은 곤충에서 염색체가 정자, 난자에서 둘로 쪼개졌다 수정될 때 하나로 합쳐지는 현상을 관찰하고, 멘델이 추정한 유전 인자가 염색체에 있다는 가설을 내세웠다.

1909년에는 이 유전인자에 요한센(W. Johannsen)이 유전자라는 이름을 처음으로 사용하였다. 그리고 개념상으로만 존재하던 유전자는 모건(T. H. Morgan)의 초파리 실험에 의해 확실히 염색체에 있다는 것이 확인된다. 1928년에는 그리피스(F. Griffith)가 폐렴쌍구균을 이용하여 형질전환(形質轉換: transformation) 실험을 하여 유전자의 존재를 확인하고, 이 실험 방식을 이어받아 1943년에 에이버리(O. T. Avery)가 DNA를 따로 분리한 형질전환 실험을 한다. 이 실험을 통해 에이버리는 DNA가 유전자를 구성하는 물질이라는 것을 주장하지만 아직 이 당시에는 단백질이 더 일반적으로 받아들여지고 있었다. 그러다가 1952년에 허시(A. Hershey)와 그 제자 체이스(M. Chase)가 박테리오파지(bacteriophage)를 이용한 실험을 하여 유전자의 본체가 DNA라는 사실을 거의 확정적으로 만들게 된다. 이후 1953년에 왓슨(J. D. Watson)과 크릭(F. Crick)이 DNA의 이중나선 구조를 밝히면서 현재와 같은 유전자의 개념이 거의 확립되었다.

[출처] 유전자 | 두산백과