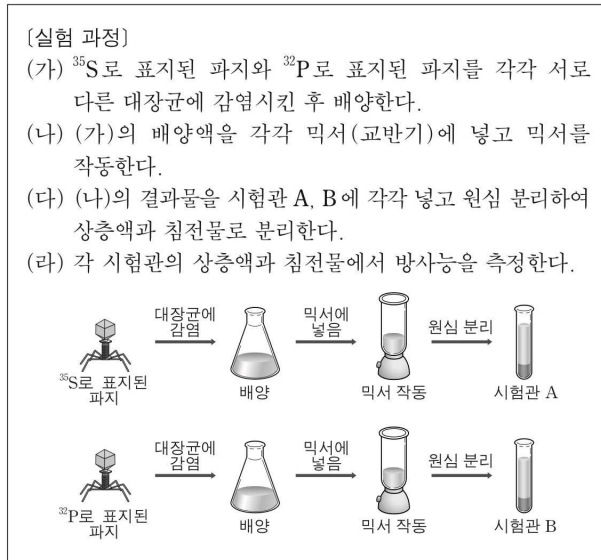


3. 허시와 체이스의 실험

허시와 체이스의 실험도 에이버리의 실험처럼 DNA가 유전 물질임을 규명한다.

허시와 체이스는 DNA가 자손으로 전달되는지 알아내기 위해 다음과 같은 실험을 설계하였다.

[평가원 자료 - 허시와 체이스의 실험]



박테리오파지(T₂ 파지)

박테리아에 기생하는 바이러스로, 단백질 껍질과 유전 물질을 가진다.

자기 방사법

방사성 동위 원소가 포함된 물질을 세포나 조직에 주입한 후, 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적한다.

세포 내 물질의 위치와 이동 경로를 파악할 수 있다.

믹서 작동

파지의 단백질 껍질과 대장균을 분리시킨다.

[실험 과정]

- ① ^{35}S 로 표지된 파지와 ^{32}P 로 표지된 파지를 서로 다른 대장균에 감염시킨 후 배양한다.
- ② ①의 배양액을 각각 믹서(교반기)에 넣고 믹서를 작동한다.
- ③ ②의 결과물을 각각 다른 시험관에 넣고 상층액과 침전물로 분리한다.
- ④ ^{35}S 로 표지된 박테리오파지는, 원심 분리관의 상층액에서 주로 방사능이 검출되었고 ^{32}P 로 표지된 박테리오파지는, 원심 분리관의 침전물에서 주로 방사능이 검출되었다.

∴ 파지의 증식을 위해 대장균 내로 들어가서 작용하는 유전 물질은 DNA이다.

[Common Sense - 허시와 체이스의 실험 배경]

- ① 허시와 체이스가 연구하던 시대의 생물학자들은 파지가 어떻게 생식을 하는지 정확히 이해하지 못했으나 다음과 같은 사실들을 알고 있었다.

- T₂ 파지(박테리오파지)가 DNA와 단백질을 각각 50%씩 가진다.

- 파지는 세포벽에 부착함으로써 세포를 감염시키고 자손 파지가 세포 내에서 만들어진다.

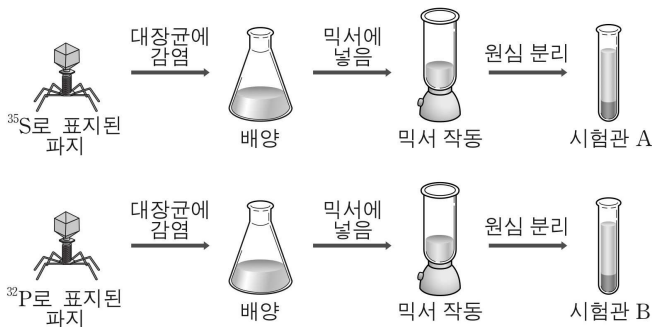
- ② 자손 파지는 감염시킨 파지와 동일한 형질을 나타내므로, 감염시킨 유전물질이 자손으로 전달되어야 한다.
- ③ 파지는 대장균에 유전 물질만 삽입하며, 껍질은 삽입하지 않는다.
- ④ 삽입된 유전 물질은 대장균의 시스템을 이용하여 복제되고, 단백질 껍질까지 합성되어 파지가 증식한다.
- ⑤ S는 DNA와 단백질 중 단백질에만 존재하는 원소이고, P는 DNA와 단백질 중 DNA에만 존재하는 원소이다.
- ⑥ S와 P는 각각 방사성 동위 원소 ^{35}S 와 ^{32}P 가 존재한다.
- ⑦ 교반기를 이용하여, 시험관을 원심 분리하면 가벼운 바이러스의 껍질(단백질)은 위(상층액)에 무거운 세균은 아래(침전물)로 분리된다.

[문제 9]

다음은 파지(박테리오파지)를 이용하여 허시와 체이스가 수행한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) ^{35}S 로 표지된 파지와 ^{32}P 로 표지된 파지를 각각 서로 다른 대장균에 감염시킨 후 배양한다.
 (나) (가)의 배양액을 각각 믹서기(교반기)에 넣고 믹서를 작동한다.
 (다) (나)의 결과물을 시험관 A, B에 각각 넣고 원심 분리하여 상층액과 침전물로 분리한다.
 (라) 각 시험관의 상층액과 침전물에서 방사능을 측정한다.



이 실험에 대한 설명으로 <보기>에서 옳은 것을 모두 고르시오.
 (단, 시험관 A와 B의 한 층에서 방사능이 검출된다)

< 보 기 >

- ㄱ. (나)는 대장균에 붙어있던 파지를 분리하기 위한 과정이다.
 ㄴ. A의 상층액과 B의 침전물에서 방사능이 검출된다.
 ㄷ. (다)는 파지의 단백질 껍질을 침전시키기 위한 과정이다.
 ㄹ. A의 침전물을 새로운 배지에서 배양하면 새로 생성된 배지에서 방사능이 검출된다.
 ㄹ. (가)에서 파지의 유전 물질은 대장균으로 들어간다.
 ㅂ. A의 상층액과 B의 침전물에 모두 질소(N)가 존재한다.
 ㅅ. 위 실험에는 자기 방사법이 이용되었다.
 ㅇ. 위 실험을 통해 숙주에게 유전되는 물질은 DNA임을 알 수 있다.

[문제 9 해설] [답] ㄱ, ㄴ, ㄹ, ㅅ, ㅇ

[자료 해제]

^{35}S 로 표지한 파지를 대장균에 감염시키면 상층액에 방사능이

^{32}P 로 표지한 파지를 대장균에 감염시키면 침전물에서 방사능이 검출된다

< 보 기 >

ㄱ. (나)는 대장균에 붙어있던 파지를 분리하기 위한 과정이다. (O)

교반기(믹서)는 기계적 힘으로 파지 껍질과 대장균을 분리시킨다.

ㄴ. A의 상층액과 B의 침전물에서 방사능이 검출된다. (O)

파지 껍질은 단백질로 구성되어 있어 ^{35}S 로 표지되어 있고

파지 껍질은 원심 분리 결과 상층액으로 분리된다.

따라서 시험관 A의 상층액에서 방사능이 검출된다.

파지의 유전 물질은 대장균 안으로 들어가고 원심 분리하면 침전물에 대장균이 존재하므로

시험관 B의 침전물에서 방사능이 검출된다.

ㄷ. (다)는 파지의 단백질 껍질을 침전시키기 위한 과정이다. (X)

(다)는 파지의 단백질 껍질과 대장균을 분리시키는 과정이다.

이 과정에서 파지의 단백질 껍질은 상층액으로 대장균은 침전물로 분리된다.

ㄹ. A의 침전물을 새로운 배지에서 배양하면 새로 생성된 배지에서 방사능이 검출된다. (X)

만약 유전 물질인 DNA에 방사능이 표지되었다면

새로운 배지에서 배양했을 때, 일부 배양된 파지에서 방사능이 검출될 수 있다.

모두가 아닌 "일부" 배양된 파지에서 방사능이 검출되는 이유는 DNA 복제가 반보존적으로 일어나고 배양되는 과정에서는 방사능 동위 원소 ^{32}P 가 아닌 ^{31}P 로 표지된 DNA 가닥이 생성될 수 있기 때문이다.

A의 침전물에는 방사능이 표지되지 않았으므로

새로 배양된 배지에서 방사능이 검출되지 않는다.

ㄹ. (가)에서 파지의 유전 물질은 대장균으로 들어간다. (O)

B의 침전물에서 방사능이 검출된다.

이는 파지의 유전물질이 대장균에 들어갔음을 전제한다.

ㅅ. A의 상층액과 B의 침전물에 모두 질소(N)가 존재한다. (O)

단백질과 DNA에는 모두 질소(N)가 존재한다.

ㅇ. 위 실험에는 자기 방사법이 이용되었다. (O)

단원 통합형 문항이다.

'자기 방사법'은 방사성 동위 원소가 포함된 물질을 세포나 조직에 넣어준 후 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사능을 이용하는 세포의 연구 방법이고, 해당 실험에 사용되었다.

ㅇ. 위 실험을 통해 숙주에게 유전되는 물질은 DNA임을 알 수 있다. (O)

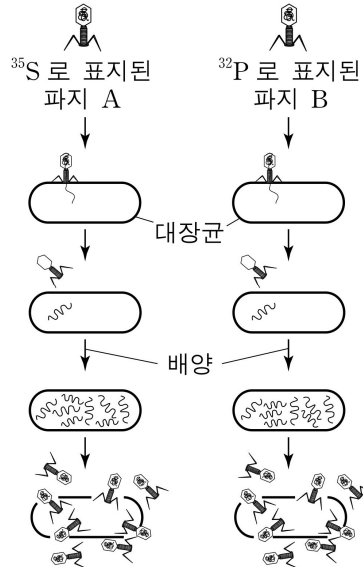
이는 허시와 체이스 실험의 의의이다

[문제 10]

다음은 유전 물질이 무엇인지 알아보기 위한 허시와 체이스의 실험이다.

[실험 과정]

- (가) ^{35}S 로 표지된 파지 A와 ^{32}P 로 표지된 파지 B를 각각 서로 다른 대장균에 감염시킨 후 배양한다.
- (나) 파지와 대장균을 분리시킨 후 분리된 대장균을 각각 배양한다.
- (다) (나)의 대장균 내의 파지 DNA가 충분히 복제된 후, 대장균으로부터 얻은 파지의 방사능을 측정한다.



[실험 결과]

(가)에서 파지 ㉠로 감염시켰을 때 (다)에서 얻은 ㉡에서 방사능이 검출되었다.

㉠과 ㉡으로 옳은 것은?

(단, 파지의 DNA는 대장균의 DNA와 같은 방식으로 복제된다)

- | | | | |
|---|---|------------|--|
| | ㉠ | ㉡ | |
| ① | A | 일부 파지의 DNA | |
| ② | A | 일부 파지의 단백질 | |
| ③ | B | 모든 파지의 DNA | |
| ④ | B | 모든 파지의 단백질 | |
| ⑤ | B | 일부 파지의 DNA | |

[문제 10 해설] 답. ⑤

[자료 해제]

대장균으로부터 방사능이 검출하려면 유전 물질에 방사능이 표지되어야 한다.
따라서 DNA에 존재하는 원소 P에 방사능이 표지된 파지 B로 감염시켜야 한다.

파지의 유전 물질인 DNA는 대장균 내에서 복제된다.
이때, 박테리오파지는 증식하기 위해 유전 물질인 DNA를 복제하는데
대장균의 DNA 복제 방식과 동일한 방식으로 복제한다고 조건이 주어져 있다.

대장균은 이분법으로 증식한다.
즉, DNA 복제가 곧 개체수 증가로 이어진다.

이분법

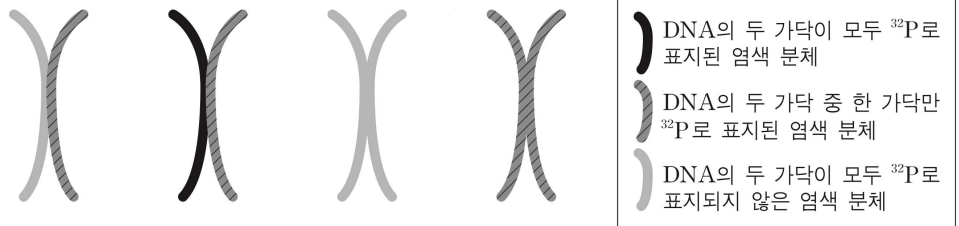
이분법 자체보다는 ‘모두가 아니라 일부 DNA’에서 방사능이 표지된 이유에 대해 알아가자.

야생의 대장균 내에 있는 물질들은 방사능이 표지되지 않은 원소들로 구성되기 때문에 DNA 복제 과정에서 방사능이 표지되지 않는 DNA도 생성된다.

충분히 복제된 후 동물 세포 내 관찰되는 염색체의 구성을 예로 들면 아래와 같다.

동물 세포의 염색체

원핵생물(대장균)의 DNA 복제 양상은 다소 다르다. 생명과학2 범위를 벗어나기에 동물 세포의 염색체를 예로 제시하였다.



대장균의 DNA 또한 충분히 복제되면 두 가닥이 모두 방사능이 표지된 DNA, 한 가닥만 방사능이 표지된 DNA, 두 가닥이 모두 방사능이 표지되지 않은 DNA로 나뉘기 때문에 일부 파지의 DNA에서 방사능이 검출된다.