

줄거리가 있는  
생명과학

맛보기!  
(수정 및 배포금지)



Chapter 1.

# 생명과과학의 이해

생명이란 무엇이고 어떻게 연구하는가?

1.1 생물의 특성

1.2 생물의 구성(Ⅰ)

1.3 생물의 구성(Ⅱ)

1.4 생명과학과 연구방법





# 1.1 생물의 특성

참고한 문제  
(대학수학능력시험)

학년도	번호	학년도	번호	학년도	번호	학년도	번호
2005	1	2009	-	2013	1	2017	-
2006	1	2010	1	2014	1,11	2018	8
2007	1	2011	1	2015	19		
2008	-	2012	1	2016	4		

# Chapter Guide

무엇을 연구할 것인가?

## 생명의 정의

생물학을 공부하기 위해서는 먼저 ‘생물’ 혹은 ‘살아있다’라는 용어를 정의해놓아야 할 것입니다. 직관적으로 접근하면 어린아이라도 살아있는 것과 그렇지 않은 것을 구분할 수 있습니다. 그러나 얼핏 간단해 보이는 이 작업은 생각보다 까다로운 면이 있습니다.

## 국어사전을 찾아보자

간단하게 표준국어 대사전에서 생물, 생명, 삶에 관한 정의를 검색해 봅시다.

**생물** : 생명을 가지고 스스로 생활현상을 유지해 나가는 물체

**생명** : 생물로서 살아있게 하는 힘

**삶** : 목숨 또는 생명

이 정의들을 계속해서 보고 있으면 왜인지 모르게 어지럽습니다. 생물의 정의에 생명이라는 단어가 들어가 있고, 생명의 정의에 생물이라는 단어가 들어있으면 이들을 어떻게 해석해야 할까요? 과학적으로 무엇인가를 정의하는 일에 국어사전은 큰 도움이 되지 않습니다.

## 이것은 살아있는 것인가?

국어사전의 도움 없이도 우리는 직관적으로 생물과 무생물을 구분할 수 있습니다. 적어도 그렇다고 믿고 있습니다. 그런데 가끔씩 정말 이상한 것들이 발견될 때가 있습니다. 대표적인 예가 바이러스입니다. 바이러스는 다른 생물에 기생하여 살아가는 기생생물과 닮아있습니다. 그런데 특이하게도 바이러스는 절대로 굶어죽지 않습니다. 아니면 애초에 살아있지 않다고 해야 할지도 모릅니다. 특정 상황이 주어졌을 때만 살아있는 것처럼 움직이는 생체 기계와 같은 바이러스는 살아있는 것일까요? 아니면 죽은 것일까요?

## 핑대신 닭

생명의 정의는 파고들수록 애매합니다. 그래서 생물학자들은 생명의 사전적 정의를 내리지 않습니다. 다만 생물의 특성들을 나열할 뿐입니다. 과학자들이 나열해 놓은 6가지 생명현상의 특징들은 다음과 같습니다.

1. 세포로 이루어져 있다
2. 물질대사
3. 자극에 대한 반응
4. 항상성유지
5. 발생과 성장
6. 유전과 생식
7. 진화와 적응

만약 어떠한 사물이 위에 나열해 놓은 특징들을 모두 가지고 있다면, 과학적으로 그 사물은 생물이라고 말할 수 있을 것입니다.

# 세포 : 생물은 세포로 이루어져 있다.

나는 하나라고 할 수 있을까요?

## 생물은 세포로 이루어져 있다.

생물에 기준이 되는 가장 작은 덩어리를 세포라고 합니다. 세포는 생명의 밑바탕이 되는 구조물입니다. 지구 안에 살고 있는 모든 생물은 세포로 이루어져 있습니다.

생물이 가지고 있는 세포의 개수는 다양할 수 있습니다. 아메바는 세포하나로 이루어져있고 인간은 약 37조개의 세포로 이루어져있습니다.

개체란 독자적으로 생존하는 하나의 생물체를 말합니다. 그리고 세포하나가 개체인 생물을 단세포 생물이라고 합니다. 반면에 수많은 세포가 모여 하나의 개체를 이루는 생물을 다세포 생물이라고 합니다.

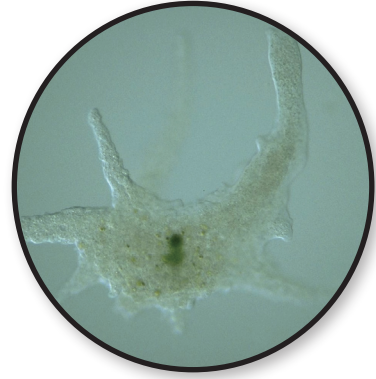


그림.1 아메바. 아메바는 단세포 생물이다.



이 식물은 다세포생물이다

이 동물은 다세포생물이다

그림.2 식물세포와 동물세포

## 세포의 구조

살아있는 양파를 얇게 잘라서 현미경으로 관찰하면 벌집모양의 구조가 보입니다. 이때 그 구조 안에 네모난 모양의 덩어리 하나하나를 각각 한 개의 세포라고 합니다. 세포는 영어로 cell(셀) 이라고 부릅니다. 왜냐하면 세포의 최초발견자가 현미경으로 생물체를 관찰하다가 벌집모양의 구조를 발견하고는 그것들 하나하나가 수도원의 방 (아파트와 비슷한 모양)과 비슷하다고 하여 cell(방 또는 감옥)이라고 이름 붙이게 되었기 때문입니다. 우리말로는 '세포'가 미세한 주머니라고 해석 됩니다.

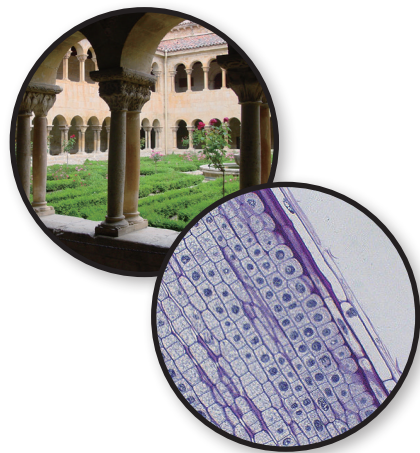


그림.3 수도원(왼쪽)과 양파세포(오른쪽)의 사진

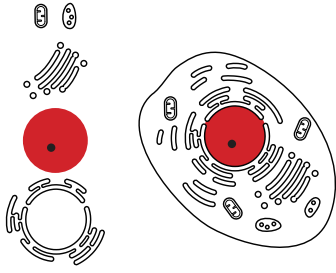


그림.4 세포의 구성요소(왼쪽)는 죽어있다. 반면에 완전한 세포(오른쪽)는 살아있다.

## 생명의 최소단위

세포는 살아있습니다. 살아있다고 말하는 이유는 세포를 더 작은 단위로 쪼개면 더 이상 살아있는 것이 아니기 때문입니다. 생물에서 세포 한 개를 떼내어 적절한 환경에서 키우면 일정수준까지 자라납니다. ‘살아있다’의 기준이 “세포로 이루어져있는가?”인 이유도 여기 있습니다.

## 티끌모아 개구리

세포는 모양이나 기능이 다양합니다. 식물세포의 모양은 주로 벽이 사방으로 둘러싸인 방 모양입니다. 하지만 동물세포의 모양은 좀 더 다양합니다. 동물세포는 기능에 따라서 크기와 모양이 제각각입니다. 예를 들어 피에서 산소를 운반하는 적혈구라는 세포는 생김새가 바람 빠진 공 모양입니다. 그리고 몸을 움직이는 근육세포는 럭비공을 잡아늘린 모양입니다. 또한 지방을 저장하는 지방세포는 동그란 공모양입니다.

서로 다른 종류의 세포들은 한 대 어우러져 하나의 개체를 이룹니다. 여기서 개체란 독자적으로 생존하는 하나의 생물체를 말합니다. 예를 들어 개구리 한 마리는 하나의 개체입니다. 반면에 세포하나로 이루어진 개체도 있습니다. 눈에 보이지는 않지만 효모나 짙진벌레 그리고 아메바 같은 것들은 세포하나로 살아갑니다. 이때 여러 개의 세포로 이루어진 생물을 다세포 생물이라고 하고 하나의 세포로 이루어진 생물을 단세포 생물이라고 합니다.

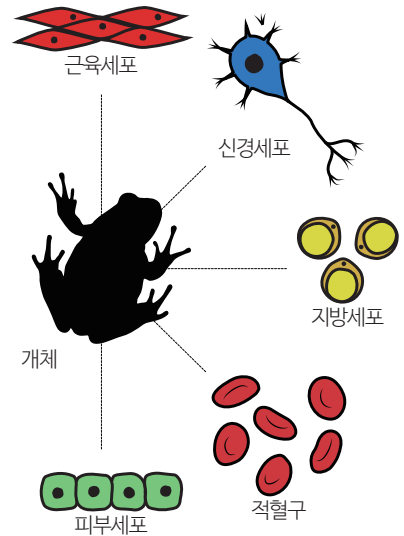


그림.5 다세포생물은 다양한 세포가 모여 하나의 개체를 이룬다.

## 다세포생물 = 세포공동체

다세포 생물의 크기가 크다고 해서 그것을 구성하는 세포역시 크지는 않습니다. 단지 얼마나 많은 세포를 가지고 있느냐에 따라서 다세포생물의 크기가 결정됩니다.

인간의 몸 안에 있는 세포의 총 개수는 약 37조개 정도라고 합니다. 단세포생물을 37조개 정도 모아 놓으면 사람만한 크기가 된다는 이야기입니다. 단세포생물 무더기와 인간을 비교해보면 약 37조개의 인간세포가 얼마나 일사분란하게 협업하고 있는지 감이 오실 것 입니다. 우리 몸은 하나가 아니라 수많은 세포가 만들어내는 완벽한 하모니이자 수많은 세포의 공동체입니다.

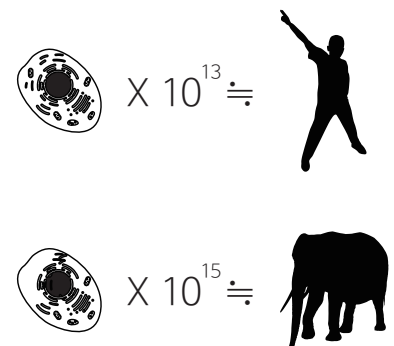


그림.6 사람과 코끼리의 세포 수 비교

# 물질대사 : 생물은 물질대사를 한다.

살은 어디로 빠지나요?

## 생물은 물질대사를 한다.

엔진이 연료를 태워서 움직이듯이, 생물은 분자들의 화학작용을 통해서 살아가는데 필요한 에너지를 얻습니다. 이때 생물체 내에서 일어나는 모든 화학작용을 물질대사라고 합니다.



그림.7 기관사가 엔진에 연료를 보충하듯(왼쪽), 동물은 먹이로 에너지를 보충하고(중간), 식물을 광합성으로 에너지를 보충한다(오른쪽).

## 물질대사의 어원

‘물질대사’의 사전적 정의는 ‘생명체 내에서 일어나는 모든 화학작용’입니다. 그런데 물질대사에서 ‘대사’의 한자어는 ‘대신할 대’ 그리고 ‘사례할 사’입니다. 즉, 물질을 대신해서 사례한다는 의미입니다. 언뜻 들어서는 무슨 의미인지 알 수가 없습니다. 한자대신 영어표현을 살펴봅시다. 물질대사의 영어 표현인 ‘metabolism’(메타볼리즘)의 어원은 ‘metabole’이고 ‘바꾸다.’ ‘변화하다.’ ‘교환하다.’ 라는 의미가 있습니다. 분명 물질대사의 사전적 정의는 ‘생명체 내에서 일어나는 모든 화학작용’인데 무엇을 바꾸고 무엇을 교환한다는 이야기일까요?



그림.8 물질대사는 원래의 부품이 하나도 남아있지 않을 때까지 계속하는 부품교체와 같다

## 비유로 이해하기

쉬지 않고 달리면서 주변의 고철들을 모으는 고철로 만들어진 자동차를 상상해 봅시다. 이 자동차는 수집한 고철들을 연료로 사용해서 달립니다. 동시에 오래된 부품들을 버리고, 수집한 고철들로 스스로를 수리하기도 합니다. 이따금씩 주변에 고철이 없으면 부속의 일부를 연료로 사용하기도 합니다.

생물은 위에서 언급한 자동차와 같이 행동합니다. 다른 생물의 세포를 먹이로 섭취하고, 섭취한 먹이를 에너지로 사용합니다. 동시에 오래된 세포들을 노폐물로 배출하고 빈자리는 섭취한 것들로 교체합니다. 이따금씩 먹을 것이 없으면 몸에 저장해 놓은 세포들을 희생시켜 에너지로 사용하기도 합니다. 이러한 생물의 전체적인 화학반응을 통틀어 물질대사라고 합니다.

물질대사는 '에너지'와 '물질'의 두 가지 측면에서 해석해야 하기 때문에 헷갈리기 쉽습니다. 동시에 식물과 동물을 구별해야 하기도 합니다. 우선 '물질'의 관점에서 물질대사를 해석해 보겠습니다.



그림.9 물질대사는 원래의 부품이 하나도 남아있지 않을 때까지 계속하는 부품교체와 같다



## 물질대사 ≙ 교환, 교체한다

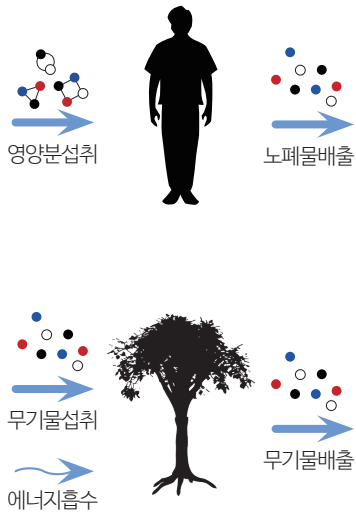


그림.10 물질은 생물에 들어가고 나간다

우리 몸을 구성하는 원자 중 약 98%는 1년 안에 새로운 원자로 교체된다는 오래된 연구결과가 있습니다. 1년 전의 몸과 1년 후의 몸을 비교하면 그것들의 98% 정도는 서로 다른 원자라는 주장입니다. 하지만 실제로는 몸의 부위에 따라 구성원자의 교체속도가 다릅니다. 피부는 평균적으로 1~2달 안에 전부 교체됩니다. 반면에 눈, 심장, 이빨 등은 평생 동안 반절 이상 교체되지 않습니다. 그리고 뇌의 일부는 평생 동안 거의 교체되지 않습니다. 그러나 중요한 점은 부위마다 속도만 다를 뿐 몸속 대부분의 원자는 계속해서 교체가 되고 있다는 사실입니다.

우리는 우리의 몸을 고정된 실체라고 생각하곤 합니다. 하지만 우리가 먹고 마시는 원자들은 우리의 몸을 조금씩 대체해 가고 있습니다. 물질이 계속해서 새로운 것으로 교체되기 때문에 어제와 오늘의 나는 똑같아 보이지만 우리는 매일 매순간 조금씩 다른 사물이고 계속해서 새것입니다.

## 물질대사의 원래 의미

중세 시대의 과학자들은 자신의 체중을 재다가 물질대사의 개념을 발견했습니다. 생물의 체중은 시시각각 변하고 체중이 변하는 것은 무엇인가 몸에 들어오거나 몸에서 빠져나가기 때문이라는 사실을 알게 된 것입니다.

이제 물질대사를 내부물질(체내)과 외부물질(체외)의 교환 혹은 교체라고 생각해봅시다. 그러면 물질대사는 자연스럽게 생물이 '외부물질을 받아들이는 작용'과 '내부물질을 내보내는 작용', 두 가지 형태로 구분할 수 있을 것입니다. 실제로 물질대사는 크게 동화작용과 이화작용으로 구분됩니다. 이때, 동화작용은 작은 분자를 큰 분자로 합성하는 작용이고 이화작용은 큰 분자를 작은 분자로 분해하는 작용으로 정의 합니다. 그런데 얼핏 보면 분자의 '합성'과 '분해'가 '받아들임'이나 '내보냄'과는 관련이 없어 보이기도 합니다.

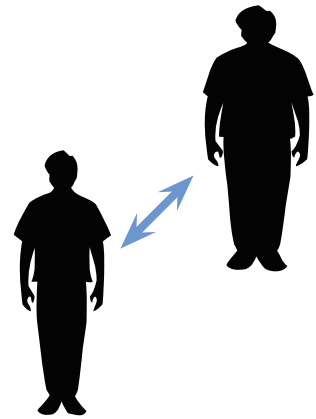


그림.11 신체의 변화

분자가 단순히 생물의 몸 안에 들어왔다고 해서 생물의 일부가 된 것은 아닙니다. 생물 안에 들어온 분자는 화학작용을 통해서 완전히 생물의 일부로 '동화'될 필요가 있습니다. 예를 들어 우리가 우유를 섭취했는데 우리의 몸속에서도 우유가 우유인 상태 그대로 유지된다면 심각한 문제가 발생합니다. 우리가 섭취한 우유는 우리의 근육, 뼈, 혈액 등으로 재구성 될 필요가 있습니다. 이처럼 섭취한 분자가 우리 몸의 일부로 완전히 '동화'된 후에야 비로소 생물의 일부분으로 받아들여졌다고 할 수 있는 것입니다.

반대로 분자를 몸 밖으로 내보내는 경우를 생각해 봅시다. 이번에는 논리의 흐름이 조금 어려워집니다. '내보냄'과 '분해' 그리고 '이화작용'을 연결시켜야 하는데 초보자가 이렇다 할 연결고리를 발견하는 일이 쉽지 않기 때문입니다. 사실 생물은 스스로를 눈에 보이지 않을 정도로 작게 분해하여 외부로 배출합니다. 우리는 여기서 이해를 돕기 위해 한 가지 질문을 해볼 필요가 있습니다. "뱃살은 과연 어디로 어떻게 빠질까요?"

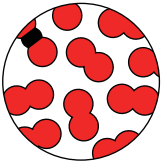
들숨

날숨

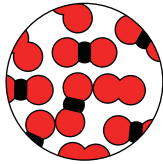
## 살은 코로 빠진다



석회수에 날숨을 불어넣으면 이산화탄소로 인하여 뿌옇게 흐려진다



들숨에는 산소 분자가 많다



날숨에는 이산화탄소 분자가 많다



산소분자는 산소원자 두 개로 이루어짐



이산화탄소분자는 산소원자 두 개와 탄소원자 한 개로 이루어짐

그림.12 들숨과 날숨의 비교

우리가 들이쉬고 내쉬는 숨에는 특별한 분자가 숨어 있습니다. 만약 석회수에 숨을 내쉬게 되면 잠깐동안 석회수가 뿌옇게 흐려집니다. 우리가 내쉬는 숨에 무엇인가 들어있는 것입니다.

동물의 날숨(내쉬는 숨)은 들숨(들이쉬는 숨)에 비해 산소가 적고 이산화탄소가 많습니다. 다른표현으로, 생물에 산소가 들어가면 이산화탄소로 변해서 나옵니다. 이때, 산소와 이산화탄소를 비교해보면 이산화탄소에는 산소에 없던 탄소원자 하나가 더 들어가 있다는 것을 알 수 있습니다. 우리는 이 탄소 원자 하나가 어디에서 나왔는지 알아볼 필요가 있습니다.

생물은 스스로의 몸을 태우는 아궁이와 같습니다. 말 그대로 생물은 스스로를 불태웁니다. 단지, 그것이 느껴지지 않는 이유는 진행 과정이 매우 느리기 때문입니다. 그리고 이 과정에서 생물은 산소를 필요로 하고, 산소분자는 생물의 몸에서 탄소원자 하나를 빼앗아 이산화탄소 기체로 빠져나갑니다. 즉, 날숨의 이산화탄소는 생물의 몸에서 빠져나온 것입니다. 지금 독자가 내쉬고 있는 숨에는 몇 분전까지 독자의 몸에 동화되어있던 탄소원자가 포함되어있습니다. 따라서 자연스럽게 이화작용은 분해 작용이고 내보내는 작용으로 이해할 수 있습니다

## 구체적 사례

물질대사에 관한 좀 더 구체적인 사례를 살펴봅시다. 플라스틱 병에 담긴 음료를 조금 마시고 뚜껑을 닫은 후, 따뜻한 곳에 오래 놓아두면 음료수 병이 폭발하게 됩니다. 이것은 음료에 우연히 들어간 미생물들(0.1mm 이하의 개체, 주로 단세포생물)이 물질대사를 통해 음료수를 끊임없이 이산화탄소로 바꾸어 놓기 때문입니다. 우선 음료는 동화작용을 통해 미생물이 되고 미생물은 이화작용을 통해서 이산화탄소기체가 됩니다. 결국 음료병은 이산화탄소로 가득차게 되고, 액체인 음료보다 기체인 이산화탄소의 부피가 훨씬 크므로 음료수병은 압력을 이기지 못하고 터지게 되는 것입니다.

그런데 여기서 짚고 넘어가야 할 질문이 하나 더 있습니다. 생물은 동화와 이화작용을 통해 무엇을 얻고자 하는 것일까요?

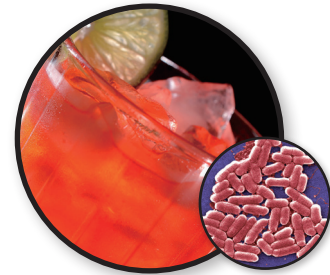


그림.13 미생물들은 눈에 보이지는 않지만 다양한 곳에서 물질대사를 수행한다



그림.14 새로운 것을 생산하는 데에는 에너지가 필요하다

## 왜 이려고 있는거지?

생물의 궁극적인 목표는 자신과 닮은 형태의 생물을 계속해서 생산해 내는 것입니다. 생물은 원자로 구성됩니다. 그런데 원자는 새롭게 생겨나지 않습니다. 따라서 생물은 외부의 원자 혹은 분자들을 흡수하고 동화해서 자신과 닮은 것으로 만들어야 합니다. 이때, 생물은 상당량의 에너지를 필요로 합니다.

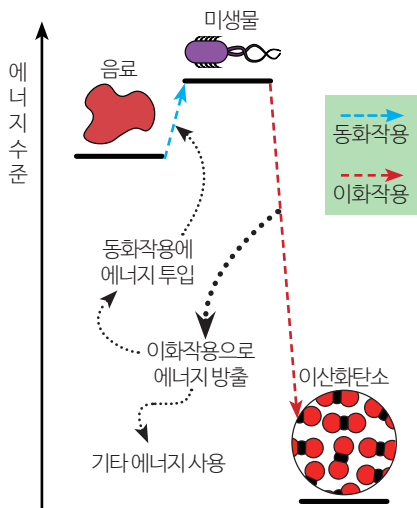


그림.15 미생물의 동화작용과 이화작용

미생물이 음료를 먹고, 또 다른 미생물을 하나 만드는 상황을 가정해 봅시다. 음료를 미생물로 동화시키기 위해서는 에너지가 필요합니다. 미생물은 필요한 에너지를 보충하기 위해서 흡수한 음료수의 일부와 자신의 일부를 희생시킬 필요가 있습니다. 이때, 미생물은 이화작용을 통해 이미 동화되어있는 분자들을 이산화탄소로 완전히 산화시킵니다. 이를 통해 미생물은 자신을 하나 더 만들고 남은 만큼 엄청난 에너지를 얻을 수 있습니다. (그림 15 에서 음료수로 미생물을 만들 때 비교적 적은양의 에너지가 사용되는 것에 주목합니다.)이렇게 미생물은 스스로를 복제하고 유지, 보수할 수 있습니다. (반면 식물은 빛에너지를 사용한다.)

이처럼 생물은 복제, 유지, 보수등의 동화작용에 필요한 에너지를 보충하기 위해 이화작용을 합니다. 은유적으로 표현하면 큰 돈을 벌기 위해 작은 돈을 투자하는 상황으로 해석할 수도 있을 것입니다. 투자와 수익이 연결되어있는 것처럼 동화작용과 이화작용은 서로 연관되어 있습니다.

## 분자 수준에서 물질대사 이해하기

생물이 가지고 있는 분자들은 거대 합니다. 예컨대 세포를 구성하는 각각의 분자들은 일반적인 분자들에 비해 훨씬 큼니다. 생체분자들은 일정수준 이상으로 거대해져야만 생물체 내에서 고유한 기능들을 수행 할 수 있습니다.

이제 이화작용과 동화작용을 분자수준에서 해석해 봅시다. 생체 분자가 세포 내에서 알맞은 기능을 수행하기 위해서는 크고 복잡하게 조립되어야 합니다. 이렇게 작고 간단한 분자를 크고 복잡한 분자로 합성하는 화학반응을 동화작용이라고 합니다. 반대로 생체 내 거대 분자는 작고 간단한 분자로 쪼개어 에너지원 혹은 다른 분자의 재료로 사용할 수 있습니다. 이렇게 크고 복잡한 분자를 작고 간단한 분자로 분해하는 화학반응을 이화작용이라고 합니다.

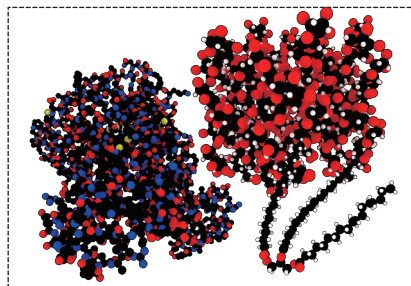
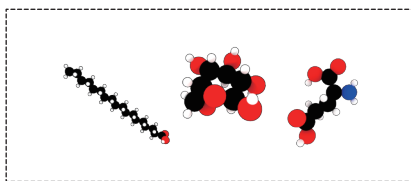


그림.16 세포 안과 밖에서 발견되는 분자들

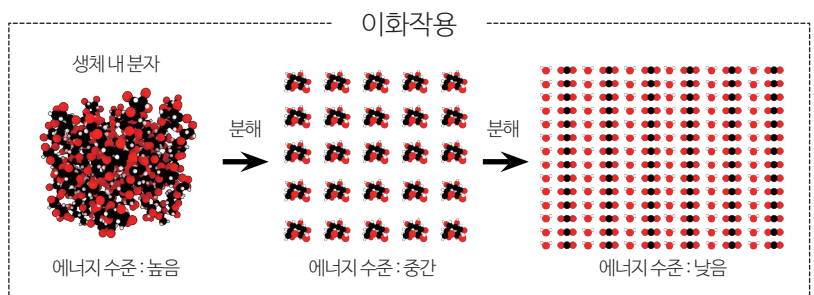
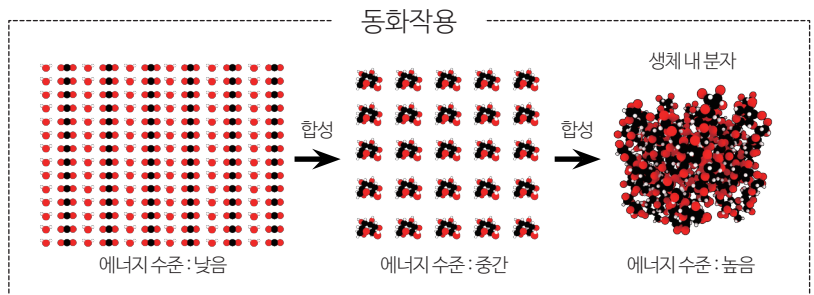


그림.17 동화작용과 이화작용의 예

## 동화작용과 이화작용의 대표적인 예

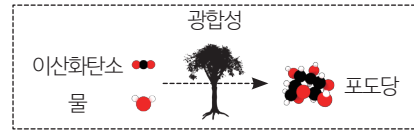
### 동화작용의 예

광합성 : 식물세포가 물과 이산화탄소를 태양에너지로 결합하여 포도당의 형태로 저장하는 화학작용

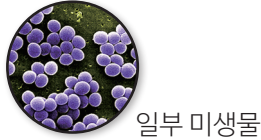


식물

일부 미생물



질소고정 : 땅속에서는 여러 종류의 미생물들이 공기 중에 질소와 수소를 결합하여 암모니아를 만드는 작용



일부 미생물



단백질 등의 합성 : 동물, 식물, 미생물들이 거대분자를 합성하는 화학작용 (다음 단원에서 자세히 다룸)



식물

동물

미생물

### 이화작용의 예

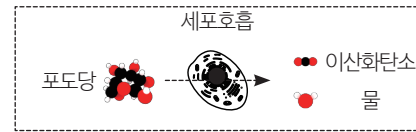
세포호흡 : 동물과 식물의 세포가 포도당을 산소와 반응시켜 물과 이산화탄소로 분해하는 화학반응



식물

동물

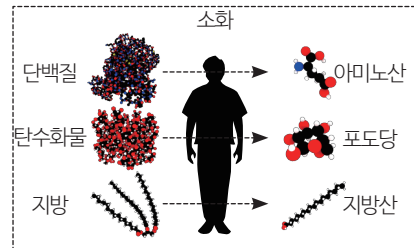
미생물



소화 : 동물이 섭취한 먹이를 흡수할 수 있는 형태로 분해하는 과정



동물



## 생명현상은 화학작용이다

물질대사를 설명할 때 설명을 편하게 하기위해서 자주하는 말이 있습니다. 생명은 에너지를 필요로 한다는 것입니다. 하지만 정확하게 이야기하면 생명현상은 세포를 구성하는 분자들 간에 에너지 교환 그 자체입니다. 즉, 생명이라는 것은 고정된 물질(원자와 분자)의 조합이 아니고 이들 간에 끊임없는 화학작용이라는 의미 입니다. 야구선수와 야구 장비를 가져다 놓았다고 야구가 되지는 않습니다. 선수들 간에 상호작용이 일어나야 합니다. 마찬가지로 생명현상은 적당한 물질들을 적절한 구조로 모아놓았다고 이루어지지 않습니다. 생명현상은 이들 간에 화학작용인 물질대사가 반드시 수반되어야 합니다.

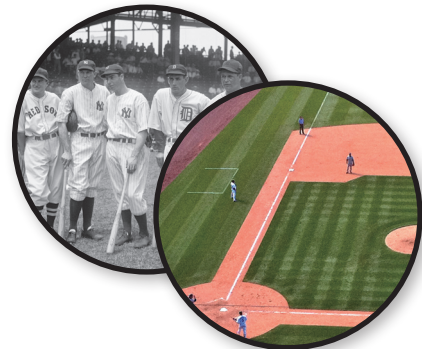


그림.18  
야구선수들이 사진을 찍고있다 (왼쪽)  
야구선수들이 야구를 하고있다 (오른쪽)

## 물질대사의 또 다른 이름

생물학에는 물질대사를 지칭하는 말이 많이 있습니다. 물질대사는 신진대사라고도 합니다. 신진대사는 물질대사를 하나의 개체관점에서 포괄적으로 바라보는 것입니다. 에너지대사는 물질대사라는 현상을 에너지의 관점으로 바라본 것입니다. 물질대사는 간단히 대사라고 부르기도 합니다. 기초대사량은 생물이 살아있기 위한 최소한의 대사량을 이야기 합니다. 대사장애는 신체내의 물질대사에 문제가 생겨 걸리는 병입니다.

물질대사는 절대로 쉬운 개념이 아닙니다. 단지 외우려고 하면 '동화작용은 에너지 흡수', '이화작용은 에너지 방출' 정도만 외워버리면 쉽게 끝나지만 궁극적으로 “물질대사는 왜 그리고 어떻게 일어나는가?”에 대하여 질문한다면 문제는 복잡해집니다. 혹시나 물질대사에 대하여 더 알고 싶은 것이 있다면 '생화학'을 공부해보시길 추천합니다.

물질대사 = 대사

“ ”

신진대사 = 에너지대사

그림.27 물질대사의 여러가지 표현방법



그림.19 구루병은 대사장애의 일종이다

## 반응 : 생물은 자극에 반응한다.

생존의 자동화



그림.20 식물이 빛의 방향으로 굽어자란다.

### 자극에 반응한다.

생물은 소리, 빛, 충격과 같은 외부자극에 반응합니다. 생물은 이러한 자극들에 적절하게 반응함으로써 생존할 수 있습니다. 일반적으로 동물의 반응은 빠르고 식물의 반응은 느립니다. 식물은 빛이나 중력방향등을 감지하여 굽어 자람으로써 자극에 반응합니다.

## 반응은 필수적이다

우리는 항상 외부의 자극에 반응합니다. 사실 이것은 너무나 당연한 일어서 굳이 진부하게 설명할 필요가 없어 보이기까지 합니다. 자극에 대한 반응은 생물의 생존에 필수적입니다. 예를 들어 통증을 느끼지 못하는 사람은 심각한 질병에 걸려도 반응을 하지 않기 때문에 죽을 확률이 더 높습니다.



그림.21 동물들의 생존반응



그림.22 식물의 뿌리는 땅을 찾는다

## 반응은 다양하다

자극에 대한 반응은 생물에 따라 다양할 수 있습니다. 사자들은 코끼리 똥을 보면 좋아서 똥 위에서 뒹굽니다. 반면에 코끼리는 사자 똥을 피해 다닙니다. 이러한 예는 같은 자극이라도 생물의 종류에 따라서 얼마나 다른 반응이 나올 수 있는지를 잘 보여줍니다.

식물들 역시 자극에 반응합니다. 다만 자극을 주어도 반응하는 것처럼 보이지 않는 이유는 반응이 매우 느리기 때문입니다. 그래서 우리는 식물들의 반응을 무시하고 지나가는 경향이 있습니다. 식물들은 빛의 자극방향에 따라 자극 방향으로 몸을 돌립니다. 또한 성장하는 동안 우연히 몸이 기울면 그에 따라서 중력방향을 찾아내어 뿌리는 중력방향으로, 줄기는 반대방향으로 비틀어 자라납니다.



그림.23 미모사를 건드리면 잎이 빠르게접힌다

아주 빠른 반응을 보이는 식물들도 있습니다. 예를 들어 ‘미모사’라는 식물은 곤충이나 동물로부터 스스로를 보호하기위해서 무엇인가에 잎이 닿으면 빠르게 잎을 접어 시들어 보이게끔 만듭니다. 파리지옥의 경우에는 곤충으로부터 영양분을 섭취합니다. 파리지옥은 먹이를 섭취하기위해서 파리가 잎에 앉으면 즉각적으로 잎을 오므려 파리를 잡는 능력이 있습니다.



그림.24 파리지옥은 잎을 빠르게 움직여 먹이를 잡는다

미생물역시 자극에 반응합니다. 높은농도의양분이 있는쪽으로 이동하거나 독성물질을 피하는 반응을 하기도 합니다. 섭취하는 양분의 종류가 달라지면 상황에 따라 다른 종류의 소화액을 분비하는 능력도 있습니다.

## 항상성 : 생물은 항상성을 갖는다.

물질대사의 최적화



그림.25 개들은 체온을 유지하기 위해 혀를 내밀어 수분을 증발시킨다

### 생물은 항상성을 유지한다.

생물은 몸의 내부 환경을 일정하게 유지하려는 경향이 있습니다. 생물이 체내환경을 일정하게 유지하려는 경향을 항상성이라고 합니다. 동물은 체온이 올라가면 땀을 흘려서 식히고 체온이 떨어지면 근육을 떨어서 따뜻하게 합니다. 인간의 경우에는 신체 내부의 혈당량, 체온, 삼투압 등을 일정하게 유지하려는 경향이 있습니다.

## 항상성은 물질대사를 위한 몸의 반응이다

항상성이란 생물이 체내의 환경을 일정하게 유지하려는 성질입니다. 물질대사는 본질적으로 화학반응이므로 여타 화학반응과 마찬가지로 필요한 조건들이 있습니다.(예를 들어 온도가 낮으면 불이 붙지 않는다.) 이때, 항상성은 ‘생물이 체내의 환경을 물질대사의 최적조건으로 유지시키려고 하는 성질’이라고 생각할 수 있습니다. 예를 들어 인체의 물질대사는 평균 36.5° C, pH 7 정도에서 최적조건을 갖습니다. 때문에 인체는 항상 체온을 평균 36.5° C, 체내의 pH를 7로 유지하려는 성질이 있습니다. 찬물에서 수영을 하거나 뜨거운 사우나를 들어가도 우리의 평균체온은 36.5° C 근처를 벗어나지 않습니다.



그림.26 열을 식히기 위해 몸에 땀이 난다

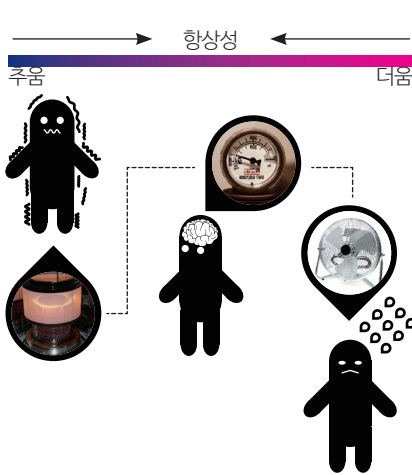


그림.27 항상성의 작동방식

## 항상성의 작동방식

항상성은 독특한 방식으로 작동합니다. 다음과 같은 상황을 생각해 봅시다. 방안에 에어컨과 보일러가 ‘하나의 온도센서’로 작동하는 것입니다. 만약 온도설정을 37° C로 해 놓았다면 온도가 37° C 위로 올라가면 에어컨이 작동하고 아래로 떨어지면 보일러가 작동하는 방식입니다. 이때, 에어컨과 보일러가 동시에 작동해버리면 곤란해질 수 있습니다. 그래서 온도센서는 한쪽이 켜지면 한쪽이 꺼지는 규칙으로 곤란한 상황을 극복합니다. 여기서 보일러를 근육의 떨림, 에어컨을 땀의 배출, 그리고 온도센서를 우리 뇌의 일부인 시상하부라고 한다면 항상성이 작동하는 방식과 동일해집니다. 우리는 굳이 신경 쓸 필요 없이 자동으로 조절되는 온도센서를 머릿속에 가지고 있습니다.

## 항상성의 예

- 혈압 조절
- 혈당량조절
- 삼투압조절 (혈액의 짜고 싱거움 조절)
- 체온조절
- 산소, 이산화탄소 포화도 조절
- 혈장(혈액)의 pH조절
- 콜레스테롤 조절



그림.28 부에노스 아이리스의 황열을 묘사한 그림

## 항상성의 설정값은 변한다

항상성의 설정 값은 완전히 고정된 것이 아닙니다. 때에 따라서 설정 값은 변할 수 있습니다. ‘인간의 체온은 36.5° C로 고정불변 한다.’라는 고정관념이 있습니다. 그러나 우리가 아프면 체온이 40° C까지 올라가기도 합니다. 이것은 병원균이 열을 내서 올라가는 것이 아니라 항상성의 설정 값이 올라간 것입니다. 이것은 열에 약한 병원균을 죽이기 위한 인체의 방어기작이라는 가설이 있습니다.

## 항상성이 없을 수도 있다

항상성이 모든 생물에게 동일하게 적용되지는 않습니다. 대표적인 예로 향온동물과 변온동물이 있습니다. 개나 고양이 같은 포유류는 향온동물인 반면 뱀이나 도마뱀 같은 파충류는 변온동물입니다. 변온동물은 온도에 대한 항상성이 작동하지 않습니다. 때문에 날씨가 추워지면 뱀의 체내도 차가워지고 반대로 더워지면 뱀의 체내도 뜨거워집니다. 이런 생물들은 어떻게 살아야 할까요? 이들에겐 자극에 대한 반응이라는 구세주가 있습니다. 즉, 뱀은 추우면 따뜻한 곳을 찾아가고 더우면 서늘한 곳을 찾아갑니다.



그림.29 변온동물들은 계속해서 음지와 양지를 오가야 한다 (우측은 손에 뱀이 감긴 열사진)



그림.30 열사병에 걸려 쓰러진 운동선수

## 항상성과 질병

항상성은 인간의 질병과 밀접한 관련을 맺고 있습니다. 항상성 조절에 실패하면 물질대사에 직접적인 타격이 가해지기 때문입니다. 혈당량 조절에 실패하면 당뇨병이라는 병에 걸리게 되고, 혈압조절에 실패하면 고혈압이나 저혈압증상이 나타납니다. 온도조절이 안되면 열사병이나 저체온 증에 걸리고, 산소조절이 안되면 즉사합니다. 항상성은 '생리학'을 통해 자세히 공부할 수 있습니다.

# 생장과 발생 : 생물은 발생하고 성장한다.

소우주에서 대우주로

## 생물은 발생과 성장을 한다.

생물이 성장하여 몸이 커지는 현상을 성장이라고 합니다. 반면, 생물이 하나의 세포로부터 완전한 성체가 되기까지의 과정을 발생이라고 합니다. 생물은 세포의 수를 늘려 성장합니다. 발생의 경우, 세포의 수가 늘어날 뿐만 아니라 세포의 종류도 다양해집니다.



그림.31 개구리의 발생과정

## 성장 (성장)

성장이란 생물체가 세포의 수를 늘려 부피와 무게를 늘리는 현상입니다. 즉, 성장이란 생물의 세포수가 증가하는 것입니다.

세포는 부피를 늘릴 때 세포분열을 합니다. 세포분열이란 한 개의 세포가 2개로 갈라져 세포의 개수가 늘어나는 과정입니다. 즉, 세포는 무작정 부피를 늘리는 것이 아니라 어느 정도 커지면 스스로를 2개로 쪼개어버립니다. 따라서 생물이 성장하면서 부피가 늘어날 때, 우리는 생물의 세포가 커지는 것이 아니라 세포의 수가 증가하고 있다고 추론할 수 있습니다. 그런데 생물은 왜 부피를 늘릴 때 세포 하나의 부피를 늘리는 대신 개수를 늘릴까요?



그림.32 나무는 여름과 겨울에 성장속도가 달라서 나이테가 생긴다



## 세포분열과 물질대사

세포는 살아있기 위해서 세포외부와 끊임없이 물질교환을 해야 합니다. 세포의 물질교환은 세포의 표면에서 일어나기 때문에 단위부피 당 세포의 표면적이 매우 중요합니다. 달리 표현하면 똑같은 부피라도 같은 공간 안에 큰 세포가 한 개 있을 때보다 작은 세포가 두 개 있을 때, 전체표면적이 넓어져서 대사가 원활해진다는 의미입니다.

예를 들어 커피안에 각설탕을 통째로 넣을 때보다, 각설탕을 가루 내어 넣을 때 훨씬 빨리 녹습니다. 설탕가루가 각설탕에 비해서 훨씬 넓은 표면적을 가지게 되고 설탕은 표면에서 녹기 시작하므로 표면적이 넓은 설탕가루가 더 빨리 녹게 되는 것입니다. 커피안의 설탕과 비슷하게, 다세포 생물의 세포들은 체액안에 떠있습니다. 세포들 사이에는 미세한 틈이 있어서 틈사이로 체액이 흘러 다니는 것입니다. 이때 각각의 세포들은 체액과 물질을 교환합니다. 결국, 설탕가루와 마찬가지로 똑같은 부피라면 세포의 크기가 작을수록 넓은 표면적의 이점을 누릴 수 있습니다.

세포는 할 수 있는 범위에서 최대한 작아져야 하고 생물체는 성장하면서 스스로의 부피를 늘려야 합니다. 이 모순점을 해결하는 것이 세포분열입니다. 생물은 세포분열을 통하여 세포의 수를 늘림으로써 성장(성장)을 합니다.

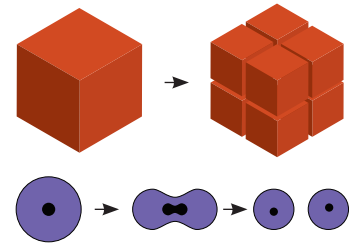


그림.33 세포는 표면적을 늘리기 위해 세포분열을 한다

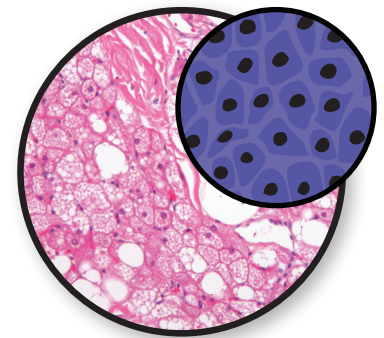


그림.34 세포 사이에는 미세한 간격이 있어서 체액과 물질교환을 한다

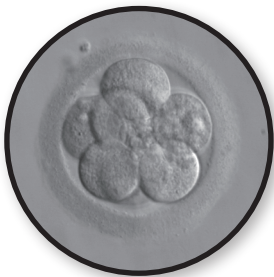


그림.35 인간 수정란의 8세포기 (수정후 시간이 조금 흘렀다)

## 발생의 시작점

개체는 하나의 세포로부터 시작합니다. 일반적으로 다세포생물의 경우 정자와 난자가 만나 수정란이라는 하나의 완전한 세포가 만들어지는데 이것이 독립적인 개체의 시작입니다. 독자와 저자는 하나의 세포였던 적이 있습니다. 우리가 첫 번째 생일을 맞이하기 한참전의 이야기입니다. 그 당시 우리는 지름이 0.1mm 정도인 동그란 구 모양의 수정란이었습니다. A4 용지의 두께가 0.1mm 정도인 것을 감안하면 우리가 눈에 보이는 먼지보다 작았다는 사실을 알 수 있을 것입니다.

## 생장과 분화 그리고 발생

하나의 세포는 발생이라는 과정을 통하여 성체로 자라납니다. 제가 '생장' 혹은 '성장'이라는 단어를 사용하지 않고 '발생'이라는 단어를 사용하는 데는 이유가 있습니다. 생장은 단순히 개체의 세포수가 늘어나는 것을 의미하지만 발생은 세포의 수가 늘어남과 동시에 세포의 모양과 종류와 기능이 다양해지기 때문입니다. 만약 우리가 현미경으로 세포를 관찰할 때 어떤 세포가 크기, 모양, 기능을 유지한 채로 세포의 개수만 늘어난다면 이것은 '생장'이라고 합니다. 반면에 세포가 모양과 기능이 다른 종류의 세포로 변화한다면 이것을 '분화'라고 합니다. (이때 분화가 가능한 세포를 '줄기세포'라고 합니다.)

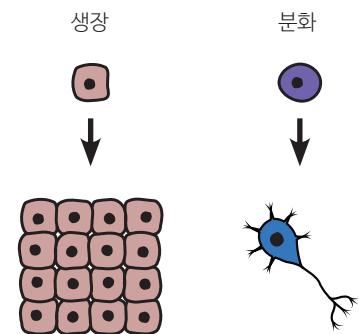


그림.36 생장과 분화

완전한 성체가 되는 것을 목적으로 '분화'와 '성장'이 동시에 일어나서 하나의 세포로부터 완전한 성체(번식이 가능한 개체)가 되는 과정을 '발생'이라고 합니다.

발생이 마무리되고 성체가 되면 분열하는 세포의 비율이 급격히 줄어들게 됩니다. 일반적으로 분화과정에 있는 세포는 세포분열을 하고, 분화를 완전히 끝마친 세포는 더 이상 세포분열을 하지 않습니다. 발생하는 동안 분화를 마친 세포의 비율이 늘어나므로 분열하는 세포의 비율은 그만큼 줄어들게 됩니다. (일부 세포는 끝까지 줄기세포로 남아 세포분열을 계속합니다.)

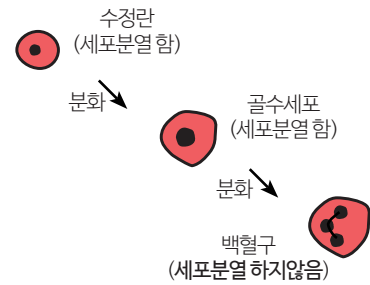


그림.37 분화의 예시

### 발생은 태어난 이후에도 계속된다

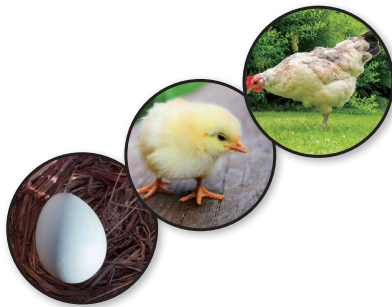


그림.38 병아리는 발생 과정에 있다

태어난 직후에 발생이 끝나는 것은 아닙니다. 인간의 아기는 태어날 때부터 완전한 뇌와 생식기관을 가지고 태어나는 것이 아닙니다. 태어난 이후에도 발생은 당분간 지속됩니다. 발생의 극단적인 예는 개구리의 발생입니다. 개구리는 알부터 올챙이를 거쳐 개구리가 될 때까지 계속해서 발생이 진행됩니다. 그리고 완전한 개구리가 되면 성장과 분화가 분리됩니다. 병아리역시 완전한 성체가 되지 않았기 때문에 발생의 과정에 있다고 생각해야 합니다.

### 발생과 성장의 경계

발생과 성장은 명확하게 구분되지 않습니다. 발생하려면 성장이 동반되어야 하기 때문입니다. 다시 한 번 더 강조하자면 발생은 성장과 분화가 협력하여 완전한 성체를 만드는 과정입니다.

$$\text{발생} = \text{성장} + \text{분화}$$

그림.39 발생의 간략한 표현법

## 생식과 유전 : 생물은 생식하고 유전한다.

불멸의 존재

### 생물은 생식과 유전을 한다.



그림.40 유전의 예  
자손은 부모를 닮았다

생물은 자신과 닮은 자식을 낳습니다. 이렇게 생물이 자신과 닮은 새로운 개체를 생산하는 활동을 생식이라고 합니다. 생식을 하는데 암컷과 수컷 두 개체가 필요하면, 이러한 생식방법을 유성생식이라고 합니다. 반면, 암수 구분 없이 혼자서 독립적으로 생식하면 이것을 무성생식이라고 합니다.

자손은 부모와 닮았습니다. 생식과정에서 부모의 특징은 자손에게로 전달됩니다. 이렇게 부모가 자손에게 생물학적 특징을 물려주는 것을 유전이라고 합니다. 만약에 어떤 질병이 부모에게서 자식으로 대물림된다면 이러한 질병을 유전병이라고 합니다.

## 생식 (번식)

생식은 생물이 자신과 닮은 새로운 개체를 생산하는 활동입니다. 영어로는 reproduction (‘재생산’의 의미가 있음)이고 한국어로는 ‘생식’ 또는 ‘번식’이라고 합니다. ‘생식’이라는 단어가 개체의 첫 번째 세포가 생성되는 과정을 말한다면, ‘번식’이라는 단어는 짝짓기, 출산, 육아 등의 전반적인 과정을 말합니다. 두 단어의 의미는 조금 다를 수 있지만 **굳이 구분하지는 않습니다**. 영어로는 둘 다 reproduction입니다. 생식이라는 단어가 조금 생소하게 느껴질 수도 있지만 개념은 쉽습니다. 인간의 경우 정자와 난자가 만나 새로운 개체가 생성되면 이것을 생식이라고 합니다.



그림.41 생식활동의 예

## 유성생식과 무성생식

생식은 무성생식과 유성생식으로 나누어 볼 수 있습니다. 암컷과 수컷이 난자와 정자를 만들어 합체시키면 자손이 생성됩니다. 이렇게 성(sex)을 이용하는 생식을 **유성생식**이라고 합니다. 반면에 단세포생물은 무성생식을 합니다. 하나의 단세포생물이 세포분열을 통하여 2개로 쪼개지면 새로운 개체가 하나 더 생겨나므로 이것을 생식으로 인정합니다. 이것을 성이 없는 생식이라고 하여 **무성생식**이라고 합니다. 히드라나 잔디와 같은 다세포 생물들은 몸의 일부에서 자신과 동일하게 생긴 자손들을 생산시키는데, 이러한 경우도 무성생식이라고 합니다. ‘무성생식’은 ‘생장’과 구분하기 힘들다는 특성이 있습니다.

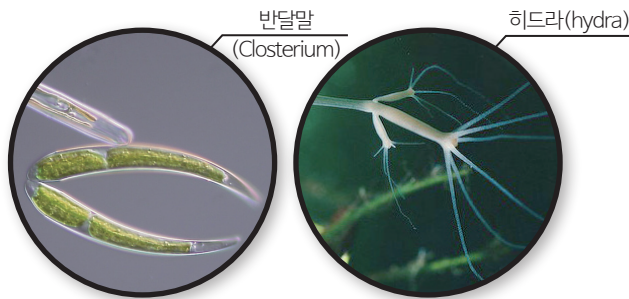


그림.42 무성생식의 예  
무성생식하는 생물들은 몸의 일부를  
성장시킴으로써 새로운 개체를 생산한다



그림.43 유성생식의 예  
유성생식을 위해서는 정자와 난자가 만나야한다



그림.44 자손은 부모를 닮는다

## 유전

자손은 부모와 닮았습니다. 인간의 부모는 손가락이 5개이고 자손역시 손가락이 5개입니다. 식물은 뿌리가 있고 자손역시 동일한 뿌리가 있습니다. 자손의 특징들은 부모와 닮아있습니다. 이렇게 자손이 부모를 닮는 현상을 **유전**이라고 합니다.

## 유전자는 생물의 특징을 결정한다

생물의 특징은 물질대사에 의해 결정됩니다. ‘머리가 검다.’, ‘코가 크다.’, ‘다리가 길다.’같은 특징들도 물질대사에 의해 결정됩니다. 예를 들어 물질대사 중에 멜라닌(검은 색소)의 합성이 포함되어 있다면 머리가 검은색이 되고 그렇지 않다면 백발이 됩니다.

유전자는 특정 정보가 담겨져 있는 분자이며 세포 중앙에 존재합니다. 유전자는 물질대사의 설명서이자 경전입니다. 마치 사람들이 성경이나 코란을 읽고 말씀대로 살아가려고 노력하는 것처럼 세포는 유전자에 담겨진 정보에 따라 물질대사를 합니다. 만약 유전자안에 멜라닌 색소(검은 색소)에 관한 정보가 있다면 세포는 멜라닌 색소를 합성하는 물질대사를 일으키고 유전자안에 멜라닌색소의 정보가 없다면 멜라닌은 만들어지지 않습니다.

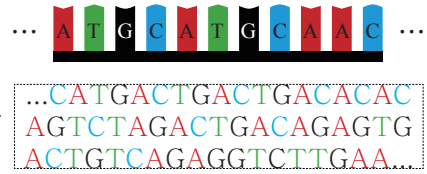


그림.45 유전자(DNA의 연결 순서)는 생물의 특성을 결정짓는다



그림.46 얼룩말의 얼룩무늬 유전자는 자손에게 전달된다

## 부모에게서 자손으로 유전자가 전달된다

유전자는 부모에서 자식으로 전달됩니다. 부모에서 자식으로 전달된 유전자는 부모의 유전자와 동일합니다. 그러므로 자식은 부모와 동일한 물질대사를 하게 되고 결국 부모와 자식은 동일한 특징을 가지게 됩니다. 만약에 양부모의 유전자가 고장이 나서 특수한 대사 장애를 일으킨다면 자식역시 동일한 대사 장애를 겪을 확률이 높습니다.

## 유전자는 팀을 이룬다

유전자들은 세포 안에서 팀을 이루고 있습니다. 마치 문장 하나하나가 모여 하나의 책을 만들어내는 것과 유사합니다.

멜라닌 색소를 만드는 유전자는 멜라닌 색소만을 만들고 칼슘을 흡수하는 유전자는 칼슘만 흡수합니다. 때문에 머리색을 담당하는 유전자가 따로 있고 다리길이를 담당하는 유전자가 따로 있습니다. 이렇게 한 가지 일만 하는 수많은 종류의 유전자들이 모여서 거대하고 복잡한 물질대사를 가능하게 합니다.



그림.47 여러 종류의 유전자가 팀을 이루어 한 개체의 특성을 결정한다

## 생식과 유전



그림.48 생식은 유전자가 몸을 갈아타는 행위이다.

생물은 생식을 통해서 자손에게 유전자를 전달합니다. 그런데 여기서 사람들이 쉽게 놓치는 부분이 있습니다. 개체의 입장에서 생식이란 유전자를 전달하거나 전달받는 행위이지만, 유전자의 입장에서 생식이란 몸을 바꾸어 갈아타는 행위입니다. 유전자는 이러한 방식으로 끊임없이 몸을 바꾸어가며 자신의 형태를 유지합니다. 유전자가 몸을 바꾸어 갈아탄다는 의미에서, 우리는 왜 생식(reproduction)이 단순히 ‘생산’으로 해석되는 것이 아니라 ‘재생산’으로 해석되는지 이해 할 수 있을 것입니다.

## 불멸의 존재

흔히 생물학자들은 유전자를 불멸의 존재라고 부릅니다. 예를 들어 머리색을 결정하는 유전자들의 기원을 찾아 계속해서 조상을 타고 위로 올라가다보면, 실제로 그 유전자가 형태를 유지해온 기간이 어마어마하다는 것을 알게 되기 때문입니다. 사람은 죽어도 유전자는 그 자손에게 그대로 남습니다. 한 사람의 수명은 백년을 넘기기 힘들지만 어떤 유전자는 몇 십 억년을 살아남습니다. 이 유전자들이 어떻게 그리 오랜 기간을 버틸 수 있었는지는 다음주제인 ‘진화와 적응’에서 설명해보도록 하겠습니다.

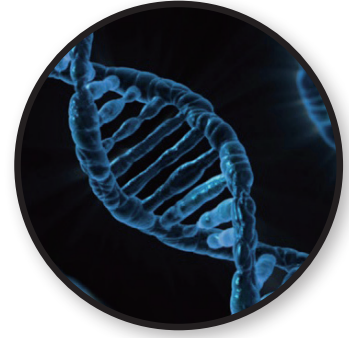


그림.49 가상 DNA의 그림

# 진화와 적응 : 생물은 진화하고 적응한다.

유전자의 역사

## 생물은 진화하고 적응한다.



그림.50 선인장  
선인장은 가시모양의잎을 가지고있다  
건조하고 더운지역에 적응한 것이다

부모로부터 물려받은 특징들은 생물이 살아남는데 도움이 됩니다. 선인장은 가시모양의 잎을 물려받아 사막에서 생존할 수 있습니다. 이렇게 부모로부터 물려받은 특징이 생존에 유리하게 작용하는 것을 적응이라고 합니다.

생물은 세대를 거듭해가면서 종족이 처한 환경에 적응해 갑니다. 이때, 환경에 대한 점차적인 적응 과정을 진화라고 합니다. 어떠한 이유에서든 생물이 살아가는 환경은 계속해서 변합니다. 예를 들어 어떤 생물이 포식자를 피하거나 먹이를 찾으러 물속으로 잠수해야 하는 경우가 있을 수 있습니다. 이런 생활방식으로 수백만 혹은 수천만 세대가 지나가면 자손들은 물속에서 잠수하는 것에 능한 생물로 변해갑니다. 세대를 거듭해서 진화하여 잠수해야 하는 환경에 적응하는 것입니다. 이때 적응은 진화의 결과물이고 진화는 적응의 과정입니다.

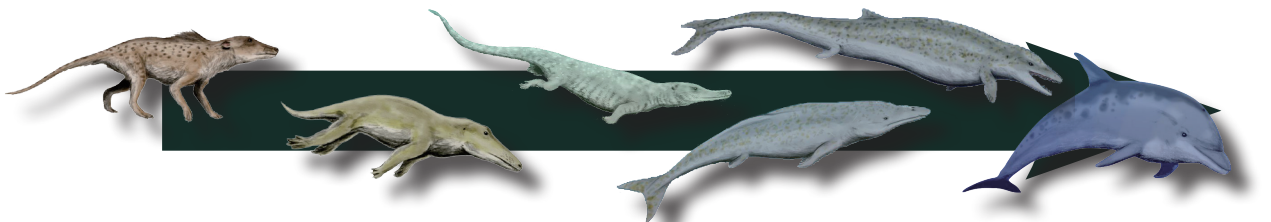


그림.51 고래류의 진화  
고래의 조상들은 수많은 세대를 거쳐 해안가에서 바다로 이동해 가면서  
계속해서 새로운 환경에 적응해갔다 (화살표는 시간의 흐름을 나타냄)

## 진화의 어원

진화란 생물집단이 여러 세대를 경과하는 동안 생물집단의 특성이 변화하는 것을 의미합니다. 진화의 영어표현인 'evolution'(에볼루션)의 어원을 살펴보면 'evolvere'로 “감추어진 잠재력을 펼치다.”라는 의미가 있습니다. 그런데 생물집단의 특성이 변화하는데 무슨 잠재력이 감추어져있고 그것을 어떻게 펼친다는 이야기일까요?



그림.52 선인장의 잎은 극도의 가뭄에 적응하기 위해 바늘과 같이 변하였지만 의도치 않게 방어 기능을 수행하게 되었다.

## 자손의 다양성

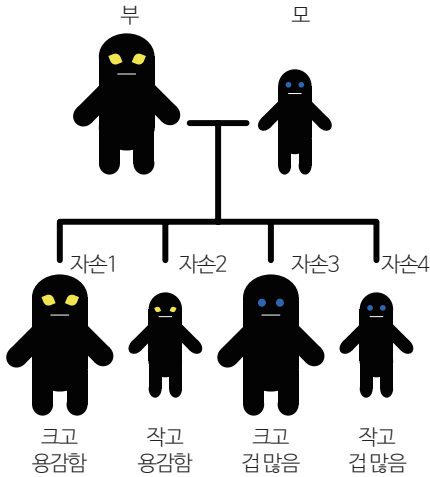


그림.53 다양한 자손들은 각자 장단점이 있다

생물이 자손을 낳을 때 유전자들의 조합에 따라 그 자손들은 형태와 특징은 조금씩 다를 수 있습니다. 커다란 개체가 생산이 될 수도 있고 작은 개체가 생산될 수도 있습니다. 용감한 개체가 생산될 수도 있고 겁 많은 개체가 생산될 수도 있습니다. 어떤 형태와 특징을 가지는 자손이 태어나든 상관없이 각각의 자손들은 조금씩 다르고 다양합니다.

다양한 자손들의 모양과 특징은 각자 장단점이 있습니다. 커다란 개체는 먹이가 풍부한 곳에서는 유리하지만 먹이가 부족한 곳에서는 불리합니다. 작은 개체는 그 반대의 상황이 됩니다. 용감한 개체는 방어에 능할 수 있는 반면 겁 많은 개체는 회피에 능할 수 있습니다. 이때, 각각의 자손들은 서로 다른 환경에서 자신의 생물학적 특징을 최대 발휘할 수 있는 잠재력이 있다고 할 수 있습니다.

## 환경변화와 자연선택

생물을 둘러싼 환경은 계속해서 변합니다. 환경은 시간, 장소, 상황에 따라 변할 수 있습니다. 생물은 계속해서 다양한 환경 변화에 적응해갈 필요가 있습니다.

1. 시간 : 지구에 빙하기가 찾아오듯 지구환경은 시간에 따라 변화합니다.
2. 장소 : 생물이 거주지를 옮겨도 생물이 처한 환경이 바뀝니다.
3. 상황 : 자원이 풍부하였던 천국 같은 장소가 생물들에 의해 고갈되어서 한정된 자원을 두고 치열한 생존경쟁의 각축전이 벌어지는 장소가 될 수도 있습니다.

변화된 환경에서 유리한 특징을 가지는 개체들은 불리한 특징을 가지는 개체들보다 자손을 번식할 확률이 높습니다. 만약 지구의 날씨가 점점 추워지면 날씬한 개체들 보다 뚱뚱한 개체들이 생존하여 번식할 확률이 높아질 것입니다. 반대로 날씨가 점점 더워지면 뚱뚱한 개체들보다 날씬한 개체가 생존하여 번식할 확률이 높아질 것입니다. 이렇게 환경변화에 따라 개체들 간에 생존확률과 번식확률이 달라지는 현상을 ‘자연선택’이라고 합니다.

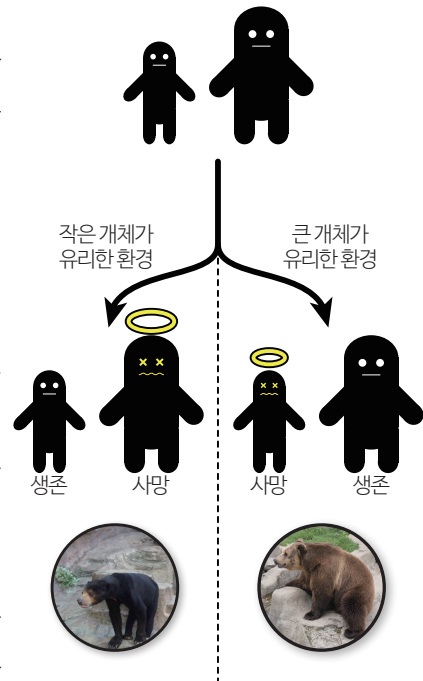


그림.54 다양한 자손들은 장단점은 서로 다른 환경에서 확연히 두드러진다

## 선택권은 자연에게 있다

생물은 먼 미래를 예측할 수 없습니다. 때문에 종족을 유지하기 위해서는 계속해서 다양한 특징들을 가지는 자손들을 남기는 수밖에 없습니다. 즉, 생물이 예측하지 못하고 상상하지도 못했던 특징들이 자연 선택될 수 있다는 의미입니다. 예를 들어 나무늘보는 이동 속도가 매우 느리기 때문에 자연 선택되었습니다. 재빠른 천적들이 넘쳐나는 곳에서는 매우 느린 속도가 오히려 위장의 효과를 낼 수 있기 때문입니다. (나무늘보의 털은 이끼가 자라서 군복처럼 얼룩덜룩합니다.)



그림.55 나무늘보는 느리기 때문에 자연선택되었다



그림.56 생명의 나무  
모든 생명은 공통 조상을 갖는다  
(즉, 친척 관계이다)

## 종분화 (생명의 나무)

똑같은 종의 두 생물집단이 서로 다른 환경에 고립되어 매우 오랜 세대가 지나면 두 생물집단의 특징은 완전히 달라져서 나중에는 다른 종이 됩니다. 이렇게 환경적 고립으로 인해 생물의 종이 여러 갈래로 갈라지는 현상을 ‘종분화’라고 합니다. 이런 현상은 지구의 역사에서 무수히 반복되어왔습니다.

화석기록이나 유전자 검사를 통한 연구들은 인간과 침팬지가 공통조상을 갖는다는 결론에 도달하게 되었습니다. 즉, 인간과 침팬지는 친척관계라는 의미입니다. (침팬지나 원숭이는 인간의 조상이 아니라 친척입니다!) 동일한 맥락에서 원숭이와 개 그리고 쥐는 모두 친척 관계입니다. 사실 진화라는 개념은 모든 생물이 친인척관계라는 것을 암시합니다. 극단적인 예로 인간과 바나나의 유전자는 50%가 동일합니다.

## 적응

생물들을 자세히 살펴보고 있으면 그들이 살고 있는 환경에서 생존할 수 있도록 완벽하게 설계되어 있는 것처럼 보입니다. 종종 생물체의 디자인은 인간의 지식으로는 절대로 도달 할 수 없는 수준에 도달한 것으로 보이기도 합니다. 물고기의 유선형 몸은 물속을 해엄 치는데 흠이 없고 기린의 목은 높은 나무의 잎을 먹기에 딱 맞춘 길이입니다. 북극여우는 몸이 공 모양에 가까워서 열 출입이 적고 추위에 잘 견딜 수 있습니다. 사막여우는 몸이 나뭇가지와 같이 얇아서 열 출입이 크고 더위에 잘 견딜 수 있습니다. 생물은 각자의 환경에 잘 적응해 있습니다.



그림.57 북극여우는 코와 귀가 뭉툭하다  
반면 사막 여우는 코와 귀가 길쭉하다  
이들은 서로 다른 환경에 적응하였다



그림.58 야구선수는 한쪽팔이 더 길지만 이  
특성은 유전되지 않는다

## 적응과 진화

적응은 진화의 결과입니다. 진화에 관한 잘못된 개념 중 가장 다수를 차지하는 것이 이 부분입니다. 생물이 환경에 적응하려고 노력하다보면 진화를 할 수 있다고 오해하기 때문입니다. 하지만 사실은 그와 반대입니다.

생물은 스스로 노력하여 진화한 것이 아니라 생물 자손의 다양성이 자연선택된 것입니다. 여기서 선택의 주체는 생물이 아니라 자연(생물을 둘러싼 환경)입니다. 만약 뚱뚱한 개체와 날씬한 개체가 공존한다면 자연은 기운을 변화시킴으로써 이들 중 하나를 선택합니다. 때문에 진화가 적응보다 먼저일 수밖에 없습니다.



그림.59 거미원숭이: 거미원숭이처럼 팔이 길어지면 팔이 짧은 개체들이 죽거나 번식하지 못해서 긴팔 유전자만이 유전되어 야한다

여름

겨울



그림.60 눈뿔신토끼는 계절에 따라 털색이 변한다. (순응, 하나의 개체 비교) 반면 북극여우는 사막으로 이동한다고 해서 사막여우처럼 변하지 않는다. (적응, 두 개의 개체 비교)

## 적응과 순응의 차이

진화와 적응에 대한 이러한 잘못된 개념이 생기는 근본적인 이유는 우리가 ‘적응’이라는 단어를 원래 의미와 다르게 사용하기 때문입니다. 생물학에서의 적응은 일상 언어의 적응과 의미가 다릅니다. 생물학에서 말하는 적응은 “조상에 비해 현재 살아있는 생물을 더 유리하게 해주는 신체적 특징”이라고 말할 수 있습니다. 반면에 일상 언어에서의 적응은 “환경변화에 대한 개체의 느린 반응 혹은 익숙해짐” 정도로 해석하는 것이 옳습니다. 이때 일상 언어에서 사용하는 적응을 생물학적 전문용어로 ‘순응’이라고 합니다. 순응의 예로 털갈이가 있는데 동물들은 온도에 따라서 털의 모양과 색깔을 다르게 합니다. 적응이 세대가 지나면서 생길 수 있는 변화라면, 순응은 한 개체의 일생 안에서 생길 수 있는 변화입니다. 적응이 서식환경이 다른 두 개체를 비교할 때 사용하는 개념이라면 순응은 하나의 개체가 서로 다른 환경에서 변화함을 비교하는 개념입니다.



그림.61 눈뿔신토끼의 털색 변화는 빛의 양에 따라 동공이 커지거나 작아지는 현상과 동일선상에서 생각해야 한다

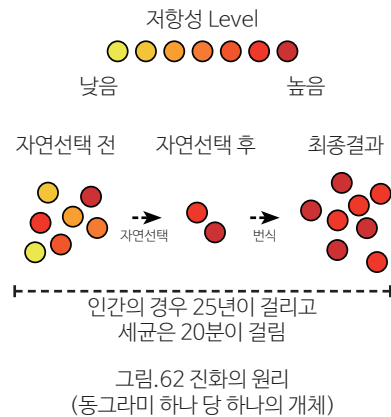
## 진화의 대표적인 예

수명이 짧아서 세대가 자주 바뀌는 생물일수록 진화의 속도가 빠를 수 있습니다. 예를 들어 인간은 대략 25년에 한 번씩 유성생식을 통해 새로운 개체가 발생하므로, 소규모의 진화가 25년마다 한 번씩 일어난다고 가정해봅시다. 그렇다면 박테리아(미생물의 일종, 세균이라고 부르기도 함)은 대략 20분에 한 번씩 무성생식을 하므로 소규모의 진화가 20분에 한번 꼴로 일어나는 셈입니다. 따라서 수명이 짧은 생물일수록 환경변화에 빠르게 적응할 수 있습니다. (유성생식의 장점에 대해서는 2.2단원에서 살펴보겠습니다.)

인간은 박테리아와 함께 살아갑니다. 그런데 박테리아 중에는 감염성 질병을 일으키는 종들이 있어서 박테리아가 인체에 들어가면 세포를 공격하기도 합니다.

인간은 박테리아에 감염되면 항생제를 주사하여 박테리아를 쉽게 전멸시킬 수 있습니다. 그런데 인간은 편리함을 추구하여 항생제를 남용하기 시작했습니다. 박테리아의 입장에서는 환경에 변화가 생긴 것입니다. 따라서 박테리아는 급격히 진화를 거듭하였고 모든 항생제에 저항성이 있는 슈퍼박테리아가 탄생하였습니다. (슈퍼박테리아에 감염되면 약물을 사용할 수 없습니다.) 만약에 항생제가 없다면, 저항성이 없는 박테리아가 생존에 더 유리하므로 의학계에서는 항생제 사용을 최소화하기를 권장합니다.

또 다른 예로 살충제 저항성 곤충들이 있습니다. 슈퍼박테리아의 사례와 유사하게 인간의 살충제 남용으로 인해서 곤충들에게 살충제 저항성이 생긴 것입니다. 이러한 곤충들은 일반적인 살충제로는 죽지 않습니다.





# 특별 주제 - 바이러스와 세균

## 바이러스란 무엇인가?

바이러스는 숙주(기생의 대상이 되는 생물) 세포에 자신의 유전물질을 침투시켜 자신과 닮은 물질들을 생산하는 생화학적 기계입니다. 바이러스는 스스로 분열하여 증식하지 못하고 숙주의 물질대사를 이용합니다. 바이러스는 성장하고 유전하며 진화하지만 세포 형태가 아니고 스스로 물질대사를 하지 못한다는 점에서 생물로 분류되지 않습니다. 바이러스는 사람이 감기 등의 질병에 걸리는 원인물질이며 종종 세균과 혼동되곤 합니다. 세균과 바이러스는 서로 다릅니다. 세균은 생물이고 바이러스는 생물이 아닙니다. 바이러스 중에는 세균(박테리아)을 감염시키는 것들도 있는데 이러한 바이러스를 박테리오파지라고 합니다.



그림.63 박테리오파지가 세균에 침투하고 있다.

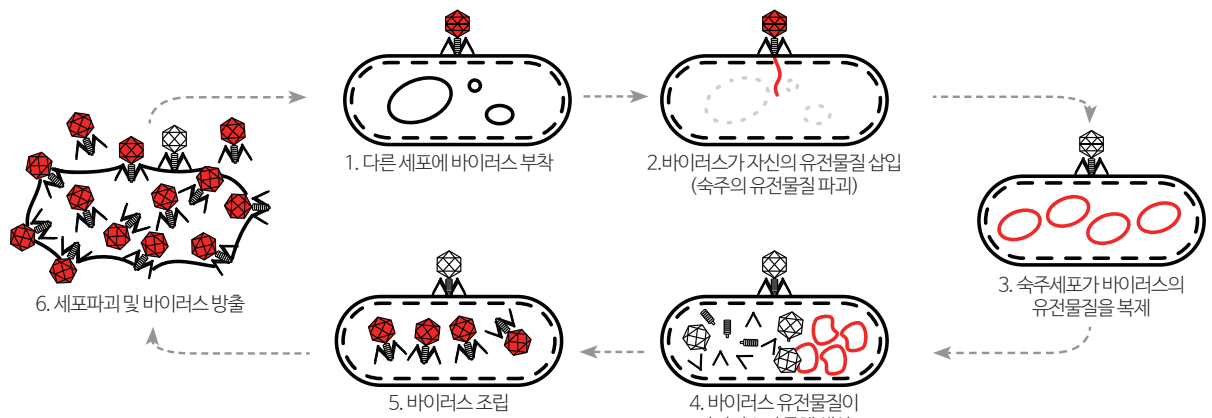


그림.64 바이러스의 생활사

## 대표적인 바이러스 종류

<p>박테리오파지</p> <p>박테리아(세균)을 감염시킴</p>	<p>아데노 바이러스</p> <p>척추동물을 감염시킴</p>	<p>인플루엔자 (독감바이러스)</p> <p>척추동물을 감염시킴</p>	<p>담배 모자이크 바이러스</p> <p>담배(식물)를 감염시킴</p>
-------------------------------------	-----------------------------------	---	---

그림.65 바이러스는 숙주의 종류 만큼 다양하다.

## 바이러스와 세균의 특징

바이러스는 생물과 무생물의 중간형태입니다. 바이러스는 생물과 무생물의 특성을 모두 보입니다. (인간과 원숭이의 중간형태인 침팬지가 있는 것과 유사하게 생각하셔도 좋습니다.) 반면에 세균(박테리아)은 완벽하게 생물입니다. 박테리아는 생물의 모든 특성을 보입니다.



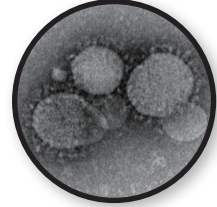
세균

단세포 생물

구조

바이러스

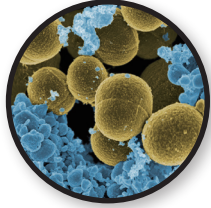
세포구조 아님  
(겉질+ 유전물질)



스스로 물질대사

물질대사

스스로 물질대사 하지 못함(  
숙주의 물질대사 이용)



2분법으로 성장

생장

숙주세포 안에서  
공장에서 찍어내듯 성장



유전 함  
(유전물질 있음)

유전

유전 함  
(유전물질 있음)

그림.66 세균의 예  
결핵균(위),  
황색포도상구균(아래)

진화 함

진화

진화 함

그림.67 바이러스의 예  
메르스 바이러스(위),  
에볼라 바이러스(아래)

## 바이러스와 세균의 크기 (세균) >> 바이러스

세균(세포)과 바이러스는 크기 차이가 엄청납니다. 바이러스는 세균에 비해 10~100배 정도 작습니다. 그래서 바이러스 중에는 세균을 감염시키는 종류도 있습니다. 인간에 빗대어 표현한다면 세균과 바이러스의 크기 차이는 인간과 파리의 크기 차이 정도가 됩니다.



그림.68 바이러스와 박테리아의 크기 비교

## 저자의 가설 - 바이러스는 생물인가?

엄밀하게 진화적 측면에서 보면, 우리는 생물 종들을 완벽히 구분할 수 없습니다. 항상 두 개의 종간에 중간형태가 있기 때문입니다. 예를 들어 동물과 식물의 중간형태, 어류와 파충류의 중간형태, 파충류와 조류의 중간형태, 파충류와 포유류의 중간형태 등이 화석이나 살아있는 생물로 발견됩니다. 마찬가지로 바이러스는 무생물과 생물의 중간형태일 가능성이 있습니다.

진화는 살아있는 생물에게만 적용되는 것이 아닙니다. 진화는 자기복제를 하는 모든 존재에 적용됩니다. 따라서 무생물로부터 생물이 진화하는 과정에서 중간형태가 바이러스로 남아있다면 생물과 무생물을 구분하는 것은 무의미할 수 있습니다.



그림.69 왼쪽부터 유글레나(식물/동물), 페어(어류/파충류), 시조새(파충류/조류), 디메트로돈(파충류/조류/포유류), 오리너구리(조류/포유류)

# 참고문헌

## 단행본

- 리처드 도킨스, 『에덴의 강』, 이윤철, 사이언스북스(2005)  
 에빈 슈뢰딩거, 『생명이란 무엇인가』, 서인석 외, 한울과학문고(1992)  
 Douglas J. Fuuyma, 『진화학』, 김상태 외, 라이프 사이언스(2008)  
 Lubert Stryer et al, 『Biochemistry』, W.H. Freeman and Company(1975)

## 논문

1. Bergmann O et al, "Evidence for cardiomyocyte renewal in humans", *Science*, 2009, 324(5923), pp.98-102
2. Bhardwaj RD et al, "Neocortical neurogenesis in humans is restricted to development.", *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 2006, 103(33), pp.12564-83.
- Eknoyan G, "Santorio Sanctorius (1561-1636)-founding father of metabolic balance studies", *American journal of nephrology*, 1999, 19(2), pp.226-33
4. Lynnerup N et al, "Radiocarbon dating of the human eye lens crystallines reveal proteins without carbon turnover throughout life", *PLoS One*, 2008, 3(1), e.1529
5. Spalding KL et al, "Retrospective birth dating of cells in humans.", *Cell*, 2005, 122(1), pp.133-43

## 사진판권

그림.1		dr.Tsukii Yuuji	그림.42		Lifetrance
그림.2		Jagiellonian University Medical College	그림.42		ja:User:NEON / User:NEON_ja
그림.3		UAF Center for Distance Education	그림.45		Alex Neman
그림.3		Lourdes Cardenal	그림.51		Nobu Tamura
그림.7		Mussklprozz	그림.57		Eric Kilby
그림.8		Jorge Royan	그림.57		Sumeet Moghe
그림.14		Land Rover MENA	그림.59		http://www.birdphotos.com
그림.19		Wellcome Library, London	그림.60		D. Gordon E. Robertson
그림.20		Joe Le Merou	그림.60		Walter Siegmund
그림.22		JJ Harrison (jjharrison89@facebook.com)	그림.63		Dr Graham Beards
그림.23		Sten Porse	그림.65		Adenosine
그림.24		Beatrice Murch	그림.65		Thomas Spletstoesser
그림.27		Erikhoorn	그림.66		NIAID
그림.28		Wellcome Library, London <small>http://wellcomeimages.org/indexplus/image/L0051291.html</small>	그림.67		CDC Global
그림.29		Arno / Coen	그림.69		Klaus
그림.30		Eckhard Pecher (Arcimboldo)	그림.69		G□tehal.jpg: Mathae / bff
그림.34		Nephron	그림.69		H. Zell

몇몇 독자는 물을 것입니다. ‘그래서 어디서부터 어디까지 암기해야 하는 건데?’라고 말합니다. 독자 중에는 본능적으로 암기하려고 하고 스스로 정리해 놓지 않으면 불안한 분들이 계실 것이라고 예상합니다. 그래서 ‘요약정리’ 부분을 따로 만들어 놓았습니다. 다음에 나올 ‘요약정리’ 파트에서 저자는 ‘본문’에서 중요한 부분만을 추려 놓았습니다. 즉, 암기하실 것이라면 ‘요약정리’ 부분만 암기하시면 됩니다. **빨간색글씨로 암기가 필요한 용어나 문장을 표시해 두었고 파란색글씨로 개념 간 맥락 파악에 필요한 부분들을 표시해두었습니다.**

---

## 용어정리

---

세포 : 생물의 구조적, 기능적 최소단위

개체 : 독자적으로 생존가능한 생물단위

동화작용 : 작고 단순한 분자를 크고 복잡한분자로 합성, 저장하는 반응  
(에너지 흡수, 흡열반응)

이화작용 : 크고 복잡한분자를 작고 단순한 분자로 분해하는 반응  
(에너지를 방출, 발열반응)

광합성 : 생존에 필요한 에너지를 얻기위해 물과 이산화탄소를 빛에너지로 결합하여 포도당을 만드는 식물의 대표적 동화작용

세포호흡 : 생존에 필요한 에너지를 얻기위해 포도당을 산화하여 물과 이산화탄소로 만드는 대표적 이화작용

질소고정 : 땅속에서는 세균이 공기중에 있는 질소를 생물이 사용하기 편한 형태인 질산염이나 암모니아등으로 합성하는 동화작용

적응 : 세대를 거듭해가며 환경에 적합한 조건을 갖추  
(서식환경이 서로 다른 두 개체를 비교할 때 사용하는 개념)

순응 : 한 개체의 일생동안 환경에 적절하게 반응함 (하나의 개체가 두 개의 서로 다른 서식환경에서 변화함을 비교할 때 사용하는 개념)

바이러스 : 독감, 에이즈(AIDS), B형간염, 홍역, 소아마비 등을 일으키는 생체기계

세균(박테리아) : 결핵, 식중독, 말라리아, 파상풍등을 일으키는 미생물

---

## 요약정리

---

〈생물이란?〉

- 생명의 특성 7가지를 모두 만족하는 물체

## 〈생명의 특성〉

1. 세포로 이루어져있다.
2. 물질대사를 한다.
3. 자극에 반응한다.
4. 항상성을 유지한다.
5. 발생과 생장을 한다.
6. 유전과 생식을 한다.
7. 진화와 적응을 한다.

## 〈구체적 사례〉

### 1. 세포로 이루어져있다.

- 현미경으로 벌집모양 구조를 확인함
- 세포의 복잡한 구조를 확인함

### 2. 물질대사를 한다.

(동화작용의 예)

- 식물의 광합성
- 미생물의 질소고정
- 단백질 등의 합성

(이화작용의 예)

- 세포호흡
- 동물의 소화
- 단백질 등의 분해

### 3. 자극에 반응한다.

- 미모사와 파리지옥의 반응
- 식물이 굽어자라남
- 지렁이와 같은 생물이 빛을 피해 도망감
- 어떤 생물이 위험으로부터 달아나거나 먹이를 향해 접근함

### 4. 항상성을 유지한다.

- 생물의 체온, 압력, 특정 물질의 농도 등이 일정하게 유지됨
- 체온유지를 위해 땀이 나거나 근육이 떨림
- 산소농도를 유지하기 위해 호흡이 빨라짐
- 운동을 하면 심장의 박동수가 변함
- 짙신벌레 수축포의 수축횟수가 변함
- 물을 많이 마시면 소변이 마려움

## 5. 발생과 생장을 한다.

- 수정란이 세포분열과 분화를 통해 성체가 됨
- 짙신벌레와같은 미생물이 세포분열함
- 올챙이와 병아리가 개구리와 닭으로 발생함

## 6. 유전과 생식을 한다.

- 대머리 혹은 색맹이 자손에게 나타남
- 부모의 특징이 자손에게도 똑같이 나타남

## 7. 진화와 적응을 한다.

- 생물은 모양과 특징이 다양함
- 북극여우는 동글동글하고 사막여우는 길쭉길쭉함
- 선인장의 가시는 잎이 변형된 것임
- 화학물질에 저항성을 가진 개체들이 나타남

## <바이러스와 세균>

### 1. 차이점

- 바이러스는 생물이 아니다.
- 바이러스는 세포구조가 아니다.
- 바이러스는 세포분열을 하지 않는다.
- 바이러스는 독립적으로 물질대사를 하지않는다.
- 바이러스는 항상성이 없다.

### 2. 공통점

- 진화를 한다.
- 유전을 한다.

---

## 오개념 노트

---

식물은 세포호흡을 하지 않는다. (X)

-식물도 동물과 마찬가지로 세포호흡을 합니다. 빛이 없는 경우 식물도 이산화탄소를 배출합니다.

바이러스는 생물이다. (X)

-바이러스는 생물로 간주되지 않습니다. 반면, 세균은 생물입니다.

바이러스는 스스로 분열할 수 있다. (X)

-바이러스는 스스로 분열하지 못합니다.

---

## QnA

---

Q. 정자와 난자는 (서로 결합하기 전까지는) 세포분열(생장)을 하지 않는다. 그렇다면 이들은 생물이 아닌가?

A. 생물입니다. 생물의 특징만으로 생물과 무생물을 구분하는데는 한계가 있습니다.

Q. 적응과 순응을 구별하는 조건은?

A. 동일한 생물을 다양한 환경에서 발생시켜보았을 때 서로 다른 결과가 나온다면 순응, 항상 똑같은 결과가 나온다면 적응입니다.



## 2.3 유전의 기본원리

참고한 문제  
(대학수학능력시험)

학년도	번호	학년도	번호	학년도	번호	학년도	번호
2005	-	2009	19	2013	14	2017	2
2006	-	2010	19	2014	10	2018	10,12
2007	18	2011	19	2015	-		
2008	-	2012	-	2016	-		

좀 더 깊은 이해를 원하는 독자는 '부록 B1. 유전과 확률' 참조할 것



# 개요 Overview

유전학의 기초

## 유전학이란?

유전학은 유전현상을 설명하는 학문입니다. 유전학은 고전적으로 생물품종계량에 사용되어 왔고, 현재에는 인간 질병의 예측과 치료 등에 사용됩니다. 특히 유전학은 진화학과 깊은 관련이 있습니다.

## 결과보다는 과정

우리는 이번단원에서 '멘델'이라는 인물을 공부할 것입니다. 일반적인 교재들은 멘델의 업적을 소개할 때, 과정을 생략하고 결과만 보여주는 경향이 있습니다. 그 때문에 대부분의 사람들은 멘델이 누구이고 무엇을 하였는지는 알지만, 그가 어떤 연구를 진행하였고 어떻게 결론에 도달하게 되었는지는 잘 알지 못합니다.

저자는 이번 단원에서 결과보다는 과정을 중심으로 서술하려고 합니다. 이를 통해 독자는 과학자의 머릿속에서 무슨 일이 벌어지고 있는지 짐작할 수 있을 것입니다.

## 저자 나름의 복원

멘델은 자신의 논문에 구체적인 실험절차를 적어 놓지 않았습니다. 그래서 저자는 어쩔 수 없이 가지고 있는 지식을 총동원해서 그의 행적을 추론할 수밖에 없었습니다. 즉, 이번 단원에서 소개하는 멘델의 연구순서는 일종의 픽션(fiction)입니다. 그러나 연구결과는 있는 그대로의 사실(fact)만을 적어 넣었습니다.

## 독자에게 바라는 점

굳이 픽션을 도입한 이유가 있습니다. 저자는 독자가 가지고 있는 과학에 대한 고정관념을 버리기를 바랍니다. 과학은 정해진 절차에 따라 진행하면 척척 답이 나오는 수학문제와는 근본적으로 다릅니다. 새로운 이론을 만들어내는 자의 과학은 논리적 절차보다는 예술적 감각에 가깝습니다. 저자는 독자가 조그마한 단서로부터 더 많은 단서를 찾기 위해 발버둥 치는 그리고 결국 약착같이 문제를 해결하는 한 명의 사람을 보셨으면 합니다. (저자가 만든 픽션은 실제 사실과 크게 다르지 않을 것입니다.)

# 19세기의 유전학

옛날 과학

## 생물 종에 대한 수요와 욕망

인간은 가축과 작물을 기르기 시작한 이래로 끊임없이 새로운 생물 종을 개발해왔습니다. 새로운 생물 종에 대한 인간의 오랜 욕망은 어쩌면 괴물 같이 보이는 생물 종들을 탄생 시켰습니다. 예컨대 닭은 하루에 한 개씩 알을 낳습니다. 인간에 빗대어 표현하면 하루에 한 번씩 생리를 하는 꼴입니다. 불독은 머리가 너무 커서 제왕절개 수술을 해야만 태어날 수 있습니다. 불독은 사람이 없으면 번식이 불가능 합니다.

19세기 사람들에게 새로운 생물종의 탄생이란 신제품의 출시와 같았습니다. 예컨대 빠르게 달리는 말은 스포츠카의 가치를 가졌었습니다. 즉, 이들에게 신제품의 개발은 막대한 이익을 얻을 수 있는 기회였습니다. 그러나 이 시대의 유전학은 과학이라기보다는 기술에 가까웠습니다. 어쩌다보니 새로운 생물품종을 만들기는 했지만 어떠한 원리로 신종이 탄생하는지는 몰랐습니다.



그림. 1 브로콜리와 양배추는 야생 머스타드를 계량해서 만들었다

## 유전현상에 관한 가설들

다음은 19세기에 학자들 사이에서 유행하던 유전관련 가설들입니다.

1. 정자설과 난자설 : 현미경으로 정자를 처음 관찰한 과학자들은 정자 안에 꿈틀거리는 사람이 들어있다고 생각하였습니다. 이러한 생각은 결국 정자 속에 ‘호문쿨러스(작은 인간)’라고 불리는 완전한 개체가 들어있다는 가설로 발전합니다. 그러나 일각에서는 정자보다 훨씬 큰 난자에 호문쿨러스가 들어있다는 난자설을 주장하기도 하였습니다.

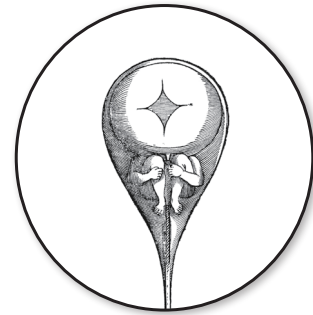


그림. 2 정자 속에 앉아있는 호문쿨러스



그림. 3 혼합가설은 물감을 섞는 것과 같다

2. 혼합가설 : 혼합가설이란 부모의 특징이 물감 섞이듯이 혼합되어서 자손이 부모의 중간형을 취한다는 가설입니다. 가설에 따르면 빨간색 아버지와 파란색 어머니의 자손은 보라색이 됩니다. 이때, 자손이 부모 중 어느 쪽을 더 닮을지는 무작위로 결정됩니다.

인간의 키가 유전되는 방식을 살펴보면 혼합가설의 정확한 의미를 알 수 있습니다. 혼합가설에 따르면 자식의 키는 부모의 평균값 정도를 가지게 되고 자식에 따라 편차가 있을 수 있습니다.

# 멘델 따라잡기

독자의 이해를 돕기 위해 저자가 임의로 멘델의 논문을 각색하였습니다.

## 멘델 (1822~1884)

멘델은 유전학의 기본 법칙이 되는 현상들을 발견한 최초의 학자입니다. 그의 본래 직업은 성직자입니다. 멘델은 성직자 이외에도 중학교 보조교사, 박물학자, 육종가등 여러 가지 타이틀을 가지고 있습니다.

멘델은 오스트리아에서 가난한 농부의 아들로 태어났습니다. 아버지가 다리를 다쳐 농사일을 못하게 되자 돈을 벌며 공부할 수 있는 성직자의 길을 선택하였습니다. 그는 수도원장의 도움으로 대학에 입학하게 되며, 대학에서 도플러(물리학자, 도플러효과로 알려짐)의 수업을 들으면서 과학적 방법론을 익힌 것으로 유명합니다. 멘델은 대학을 마치고 수도원에서 보조교사로 일하면서 본격적인 연구 활동을 하였습니다. 멘델은 주로 식물잡종에 대해서 연구하였고, 8년간의 연구 끝에 발표한 하나의 논문이 현대유전학의 시초가 되었습니다.



그림. 4 그레고르 멘델  
대표적인 흡수저 출신 과학자,  
유전학의 창시자라 불린다.



그림. 5 멘델이 살던 수도원

## 멘델의 질문들

1. 부모의 특징과 자손의 특징 간에는 어떠한 연관성이 있을까?
2. 정자/난자설과 혼합설은 과연 옳은 것일까?
3. 유전현상에도 엄밀한 수학적 규칙이 적용되지 않을까?
4. 인공 교배를 통해서 완전히 새로운 생물 종을 만들어낼 수 있을까?

## 멘델이 되어 생각해보기1 : 실험재료 고르기



그림. 6 멘델의 연구는  
원예시장에서 시작한다.

이제부터 멘델이 되어 그의 연구를 따라가 봅시다. 멘델은 관상용화초에 관심이 있었습니다. 그래서 그는 비닐하우스, 공터, 평범한 학용품등을 가지고 식물을 연구하기로 마음먹었습니다. 멘델은 식물의 특징들을 관찰함으로써 유전현상의 실마리를 잡으려 한 것입니다.

멘델의 연구는 꽃시장에서 시작됩니다. 그는 꽃가게에서 연구에 적합한 식물 종을 탐색하였습니다. 만약에 우리가 멘델이라면, 우리가 하고자 하는 실험에 가장 적합한 식물은 무엇일까요? 그 식물은 어떠한 특징들을 가지고 있어야 할까요?

멘델은 완두콩을 선택했습니다. 여기서 우리는 그가 왜 완두를 선택하였는지 고민해볼 필요가 있습니다. 완두는 다른 식물과 다르게 개체들 간에 특성이 분명하게 구분됩니다. 예컨대 완두꽃은 선명한 보라색과 선명한 흰색으로 분명하게 구분됩니다. 옅은 보라색(연보라) 같은 중간형은 야생에 없습니다. 그런데 완두에 중간형이 없는 것이 무슨 의미가 있는 것일까요?



그림. 7 완두의 두 가지 꽃 색깔

모든 과학적 측정에는 오차가 있습니다. 한사람의 허리둘레를 100번 측정하면 100번 전부다 다르게 측정됩니다. 그래서 연구자는 자신의 측정장비를 완전히 신뢰할 수 없습니다.

우리는 멘델이 아무런 측정장비를 가지고 있지 않다는 점을 기억해야 합니다. 멘델은 단순 관찰을 통해 연구하였습니다. 즉, 멘델의 측정장비는 눈(eye)입니다. 만약 완두꽃의 중간형들이 많다면 멘델은 꽃의 색들을 분간하느라 한참의 노력을 기울여야 했을 것입니다. 멘델은 개체들 간에 차이가 분명한 완두를 선택함으로써 불필요한 측정오차를 없애버렸습니다. 멘델은 관찰연구를 통해 완두개체들 간에 완벽히 구분되는 7가지 특성을 찾아내었습니다. 이 7가지 특징들은 그림8과 같습니다.

	콩 색깔	콩 모양	콩각지 색깔	콩각지 모양	꽃 색깔	꽃 위치	키
우성	 노랑색	 둥글다	 녹색	 매끈하다	 보라색	 잎 겨드랑이	 키가 크다
열성	 녹색	 주름지다	 노랑색	 주름지다	 흰색	 줄기 끝	 키가 작다

그림. 8 멘델이 선정한 완두의 7가지 특성 (우성과 열성의 개념은 차후에 설명하도록 하겠습니다.)

완두는 한 번에 다수의 자손을 생산합니다. 이 또한 완두의 장점중 하나입니다. 한 쌍의 부모로부터 한 개의 자손이 생산되는 것을 하나의 실험이라고 간주 했을 때, 완두는 한꺼번에 수많은 실험을 가능하게 합니다. 돈은 없고 땅만 있는 멘델에게 완두는 최적의 선택이었습니다.

## 멘델이 되어 생각해보기 2: 선행연구조사 및 실험방법설계

본격적인 연구에 돌입하기 전에 연구자는 구체적인 실험방법에 관해 공부해야 합니다. 엄밀한 실험방법의 고찰은 실제 연구보다 중요한 때가 있습니다. 실험방법이 얼마나 정교한지에 따라 연구결과에 힘이 실리기도 하고 그렇지 않기도 합니다.

멘델의 연구는 부모와 자손간의 관계를 규명하는 일입니다. 따라서 우리는 완두의 생식방법에 대해서 잘 알고 있어야 합니다.



그림. 9 연구자는 대부분의 시간을 선행연구를 공부하는데 사용한다.

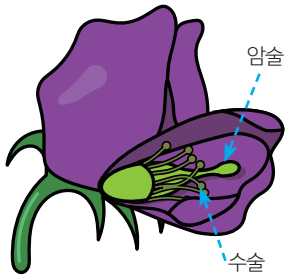


그림. 10 완두꽃의 수술과 암술



그림. 11 자가수분 방법

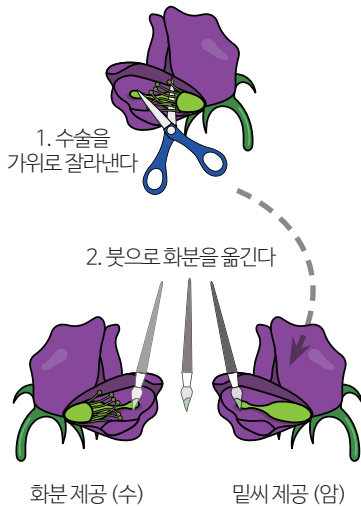


그림. 12 타가수분 방법

꽃은 식물의 생식기관입니다. 인간에 빗대어 표현하자면 꽃은 식물의 성기라고 할 수 있습니다. 완두의 수술(수컷생식기)은 화분(정자)을 생산합니다. 화분(정자)이 암술(암컷생식기)의 머리에 붙으면 씨방(자궁)으로 이동하게 되고 씨방(자궁)속에 밑씨(난자)와 결합하여 새로운 개체를 생산합니다. ('암컷, 수컷생식기' 등의 표현은 식물에게 어울리지 않지만 독자의 이해를 돕기 위해 사용하였습니다.)

완두는 암수한몸입니다. 즉, 완두꽃의 수술(수컷생식기)과 암술(암컷생식기)은 하나의 꽃 안에 공존합니다. 꽃 하나가 수술(수컷생식기)과 암술(암컷생식기)을 모두 가지고 있으므로, 완두는 스스로 교배하여 자손을 생산할 수 있습니다. 이렇게 식물이 다른 개체의 도움 없이 자기 스스로 생식하는 현상을 '자가교배' 혹은 '자가수분'이라고 합니다. 만약 완두꽃이 피었을 때 헝겊 등으로 꽃을 감싸 놓으면 자연스럽게 자가수분이 일어납니다. (그림. 11)

완두꽃은 개체들 간에 서로 화분(정자)을 주고받기도 합니다. 이때, 주로 벌을 이용합니다. 벌은 한쪽 완두꽃에서 화분(정자)을 몸에 바르고 다른 쪽 완두꽃 암술(암컷생식기)에 옮김으로써 완두 간에 타가수분(서로 다른 개체간의 생식)을 가능하게 합니다.

멘델은 원하는 개체들을 타가수분시키기 위해서 붓을 이용했습니다. 멘델은 한쪽 완두꽃에서 화분을 문혀 다른 쪽 완두꽃 암술머리에 발랐습니다. 즉, 벌이 하는 일을 멘델이 대신해준 것입니다. 다만 타가수분을 할 때에는 자가수분을 막기 위해서, 화분(정자)을 받아들이는 개체의 완두꽃이 완전히 성장하기 전에 수술(수컷생식기)을 가위로 제거했습니다. (그림. 12)

### 멘델이 되어 생각해보기 3: 양성대조군 만들기

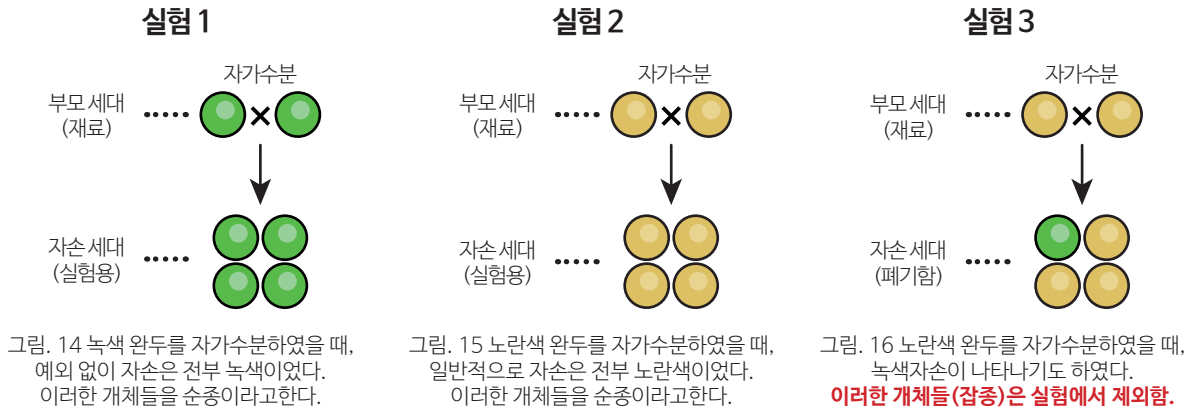
만약 독자가 멘델이 고른 완두의 7가지 특성을 보고 "왜 다를까?", "왜 중간형은 없을까?", "두개가 같은 생물종이긴 한 걸까?"라고 질문했다면 독자는 타고난 과학자일 가능성이 큽니다. 멘델은 서로 다른 두 개체를 교배시키기로 마음먹습니다. 만약 교배가 가능하다면 같은 종이 확실할 것입니다.

본격적인 실험에 앞서 우리는 적절한 양성대조군을 만들어야 합니다. 우리는 먼저 선택한 실험재료들이 일관된 실험결과를 산출하는지 검증해볼 필요가 있습니다.



그림. 13 완두의 서로 다른 두 가지 콩 색깔. 이 두 종류의 콩은 같은 생물 종일까?

멘델의 실험에서도 변하지 않는 기준(양성대조군)이 필요했습니다. 그래서 멘델은 노란완두콩과 녹색완두콩을 각각 따로 자가수분 시켜보았습니다. 그러자 대부분의 노란완두콩에서는 노란완두콩만이 생산되었고, 모든 녹색완두콩에서는 녹색완두콩만이 생산되었습니다. 그러나 때때로 노란완두콩을 자가수분을 하였을 때, 자신과 다른 특성을 보이는 자손을 생산하는 개체(부모세대)도 있었습니다. 멘델은 이렇게 일관성이 없는 개체들은 실험에서 제외하였습니다. 멘델은 똑같은 실험을 수차례 반복하여 항상 동일한 결과를 산출하는 순수혈통을 얻는데 성공하였습니다.



멘델은 여기서 두 가지 용어를 정의합니다. 자가 수분하였을 때 자신과 동일한 특성을 가지는 자손만이 생산된다면 이러한 부모개체를 순종이라고 정의합니다. 반대로 자가 수분하였을 때 자신과 다른 특성을 가지는 개체가 생산된다면 이러한 부모개체를 잡종이라고 정의합니다. (순종과 잡종의 현대적 정의는 뒤쪽에 따로 정리해 놓았습니다.)

### 멘델이 되어 생각해보기 4: 1세대 실험

이제 본격적인 실험이 시작됩니다. 멘델은 앞서 언급한 두 개의 순종(노란완두콩, 녹색완두콩)을 교배시켜 보았습니다. (실험군 1과 실험군 2) 그러자 놀랍게도 자손세대에서 녹색완두콩은 전부 사라지고 모두 노란완두콩만이 나왔습니다. 노란완두의 화분을 녹색완두에게 수분키시거나 녹색완두의 화분을 노란완두에 수분키시거나 상관없이 결과는 모두 같았습니다.

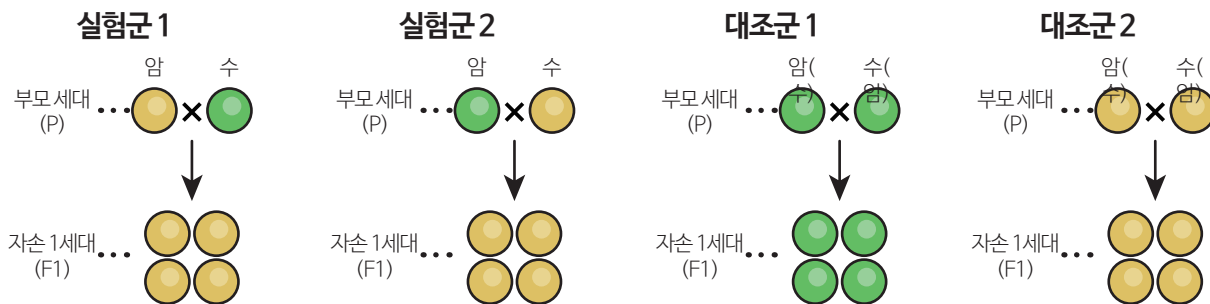


그림 17 멘델의 첫번째 실험. (타가수분) 실험에 사용된 부모세대는 전부 순종이다. 노란색 순종 개체와 녹색 순종 개체를 교배하면 노란색 개체만이 생산됨을 알 수 있다. 대조군은 암수를 구분할 수 없으므로 위와 같이 표현하였다. 실험은 여러번 반복되었고 결과는 항상 똑같았다.

여기서 정자설과 난자설은 완전히 깨지게 됩니다. 만약 정자설과 난자설 중 하나가 사실이라면 실험군1과 실험군2에서 서로 다른 결과가 나와야 합니다.

여기서 멘델은 다시 한번 두 가지 용어를 정의 합니다. 서로 다른 순종(노란색과 녹색)을 교배하여 생산된 자손의 특성이 부모 중 한쪽만을 닮는다면, 자손에게 나타나는 특징(노란색)을 **우성**이라고 정의하였습니다. 반대로 자손에서 사라지는 특징(녹색)을 **열성**이라고 정의하였습니다.

### 멘델이 되어 생각해보기 5: 2세대 실험

멘델은 두 개의 순종을 교배하여 얻은 개체(1세대)에 무슨 일이 벌어졌는지 알아보려고 했습니다. 그래서 그는 이전 실험군 1과 2에서 얻은 자손 1세대들을 자가수분 시켜보았습니다. 그러자 더욱 놀라운 일이 벌어졌습니다. 1세대의 자손(2세대) 중 6022개는 노란색 완두콩이었고 2001개는 녹색이었습니다. 2세대에서 사라졌던 녹색이 다시 돌아온 것입니다.

여기서 혼합가설 역시 완전히 깨지게 됩니다. 만약 혼합설에 따라 1세대에서 부모의 특성이 완전히 혼합되었다면 2세대에서 혼합된 특성이 다시 분리되는 일은 발생할 수 없습니다.

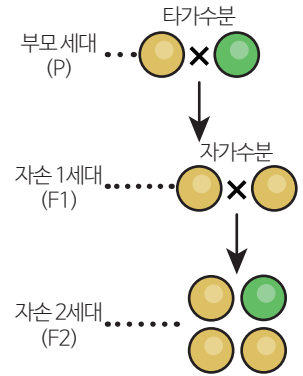


그림. 18 멘델의 두 번째 실험. (자가수분) 멘델은 자손 1세대를 자가 교배하였다. 이번 실험으로 실험군의 자손 1세대는 전부 잡종임을 알게 되었다. (잡종은 항상 노란색)

표. 1 멘델이 관찰한 자손 2세대의 우열 비율

형질	우성/열성 개수	우성:열성 비율
콩 색깔	노란색 / 녹색 6022개 / 2001개	노란색 : 녹색 3.01 : 1
콩 모양	둥근 / 주름진 5474개 / 1850개	둥근 : 주름진 2.96 : 1
콩꼭지 색	녹색 / 노란색 248개 / 152개	녹색 : 노란색 2.82 : 1
콩꼭지 모양	매끈 / 주름진 882개 / 152개	매끈 : 주름진 2.95 : 1
꽃 색깔	보라 / 흰색 705개 / 224개	보라 : 흰색 3.15 : 1
꽃 위치	겨드랑이 / 줄기끝 651개 / 207개	겨드랑이 : 줄기끝 3.14 : 1
키	큰 / 작은 787개 / 227개	큰 : 작은 2.84 : 1

### 멘델이 되어 생각해보기 6: 실험의 일반화

멘델은 완두콩의 색깔뿐만 아니라 나머지 6가지 특성에 대해서도 동일한 실험을 진행하였습니다. 그리고 6가지 실험 모두 똑같은 결과를 얻을 수 있었습니다. 7가지 특성에 관한 실험 모두 1세대에서 한쪽 부모의 특징(우성)을 닮은 개체만이 생산되었으며, 2세대에서 사라졌던 부모의 특징(열성)이 되돌아왔습니다. 멘델은 표. 1과 같이 자손 2세대의 개수와 비율을 적어 두었습니다.

### 멘델이 되어 생각해보기 7: 문제의 인식

독자가 만약 멘델이라면 이정도의 실험결과에 만족하시겠습니까? 혹시 무심코 지나친 점은 없는지요. 멘델은 실험결과에서 뭔가 특이한 점을 포착합니다. 멘델이 보기에 2세대 개체들의 우/열 비율은 마치 3 : 1이 되려고 노력하는 것처럼 보였습니다. 이때부터 멘델은 완두의 유전에 특별한 수학적 규칙이 숨어있을 수도 있겠다는 생각을 하게 됩니다.

## 멘델이 되어 생각해보기 8: 3세대 실험

멘델은 1세대 실험을 통해서 똑같은 특징을 가지는 개체 일지라도 순종일 수도 있고 잡종일 수도 있다는 사실을 알고 있었습니다. 예컨대 부모세대(P)의 노랑완두는 순종이지만 자손 1세대(F1)의 노랑완두는 잡종입니다.

멘델은 2세대 개체들 역시 순종인지 잡종인지를 확인할 필요가 있었습니다. 그래서 멘델은 노랑:녹색이 3:1로 나누어진 2세대 개체들을 자가수분시켜봅니다. 2세대 개체 중 녹색(열성)개체들은 모두 순종으로 판별되었고, 노란색(우성) 개체들은 순종과 잡종이 1:2로 나누어진다는 사실을 확인하였습니다.

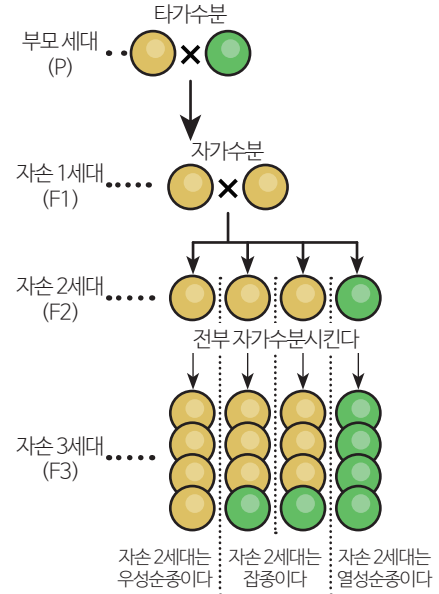


그림. 19 멘델의 세 번째 실험. (자가수분) 멘델은 자손 2세대를 자가 교배하였다. 이번 실험으로 자손 2세대가 1:2:1의 비율로 나누어짐을 알게되었다.

자손 2세대(F2)의 비율

우성(노랑) : 열성(녹색) = 3 : 1

우성순종(노랑) : 잡종(노랑) : 열성순종(녹색) = 1 : 2 : 1

## 멘델이 되어 생각해보기 9: 가설 설정

상황이 복잡할 때는 데이터를 정리하는 것이 큰 도움이 됩니다. 이제부터 우성순종은 AA, 잡종은 Aa, 그리고 열성순종은 aa로 표기하겠습니다. 지금까지 수행한 실험들을 표기하면 그림. 20과 같습니다. 이제 그림. 20을 자세히 살펴봅시다. 만약 그림. 20을 보면서 독자의 머릿속에 다항식의 전개, 인수분해, 이항정리 등이 떠오른다면, 독자는 천재일 가능성이 높습니다. 멘델은 그림. 20을 보면서 식. 1과 식. 2를 연상합니다.

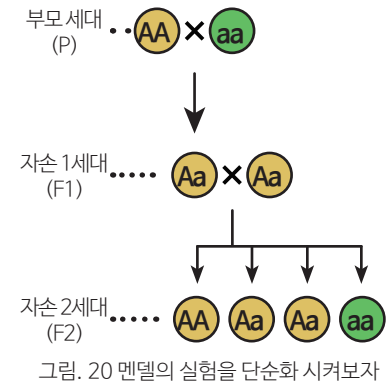


그림. 20 멘델의 실험을 단순화 시켜보자

$$\text{식. 1 } (A+A)(a+a) = 4Aa$$

$$\text{식. 2 } (A+a)(A+a) = A^2+2Aa+a^2 = AA+2Aa+aa$$

멘델에게 자손 2세대의 비율은 분명한 수학적 규칙으로 보였습니다. 그리고 멘델은 3:1 혹은 1:2:1의 현상을 설명하기 위해 여러 가지 가설들을 세웁니다. 멘델의 가설들은 다음과 같습니다.

- 가설 1. 개체는 한 쌍의 유전물질을 가지며 부모로부터 하나씩 물려받는다.
- 가설 2. 부모에게서 물려받은 유전물질이 서로 다르다면 둘 중에 하나가 표현된다. (중간형은 없다.)
- 가설 3. 유전물질은 개체 안에서 액체처럼 혼합되어 있지 않고 고체처럼 분리되어 존재한다.
- 가설 4. 생식세포형성 시 한 쌍의 유전물질은 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어간다.
- 가설 5. 암, 수의 생식세포는 마구잡이로 결합하여 새로운 개체를 만든다.



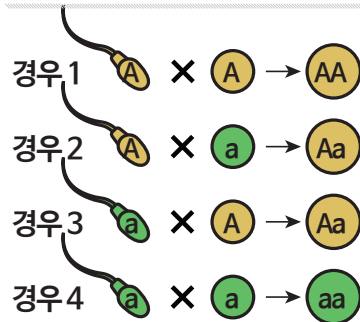
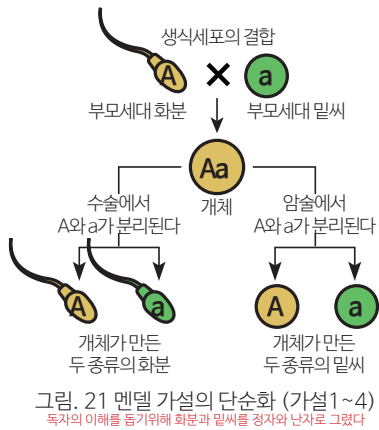
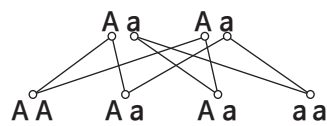


그림. 22 멘델 가설의 단순화 (가설5)  
개체(Aa)가 만든 화분과 밀씨를 하나씩 뽑는다고 생각하면, 4가지 경우는 동일한 확률로 발생한다 따라서 노란색, 녹색이 3:1 비율로 나타난다.



예를 들어 설명해 보겠습니다. 1세대 잡종 개체(노란색)는 Aa라고 표기할 수 있습니다. 이때, A와 a는 각각의 부모로부터 물려받은 것입니다. 유전물질A는 완두를 노란색으로 만들고 유전물질a는 완두를 녹색으로 만듭니다. 그런데 개체 Aa는 유전물질의 종류가 두 가지이므로 A와 a중 하나만 겉으로 표현됩니다. (이 경우에는 A가 표현되고, A를 우성 a를 열성이라고 합니다.)

유전물질 A와 a는 개체 안에서 섞이지 않고, 생식세포를 만들 때 서로 분리가 됩니다. 예를 들어 생식세포를 만들 때 Aa가 분리되어 만들어지므로, 만약 A가 들어있는 화분(정자)이 생산된다면 동시에 a가 들어있는 화분(정자)도 생산되어 A가 들어있는 화분(정자)과 a가 들어있는 화분(정자)는 동시에 생산되고 그 비율은 1 : 1이 됩니다. 결국, 개체 Aa는 A가 들어있는 화분(정자), a가 들어있는 화분(정자), A가 들어있는 밀씨(난자), a가 들어있는 밀씨(난자)를 생산합니다.

수많은 생식세포들이 마구잡이로 결합한다고 가정해봅시다. 그러면 화분에서A-밀씨에서A를 받은 자손, 화분에서a-밀씨에서A를 받은 자손, 화분에서A-밀씨에서a를 받은 자손, 화분에서a-밀씨에서a를 받은 자손의 비율이 모두 동등할 것입니다. 그래서 그림. 22와 같이 AA인 개체, Aa인 개체, aa인 개체의 비율은 1:2:1로 나타나게 됩니다. (멘델의 가설에 관해서는 뒤쪽에서 더 자세히 다루겠습니다.)

## 멘델이 되어 생각해보기 10:가설의 검증

과학적 가설은 아무도 예상하지 못한 현상을 예측함으로써 검증됩니다. 멘델은 자신의 가설을 검증하기 위해 우성잡종과 열성순종을 교배해보았습니다. 만약 멘델의 가설이 옳다면 우성잡종과 열성순종을 교배하였을 때, 우성잡종과 열성순종의 비율이 1 : 1로 나타나야 합니다. 이를 식으로 표현하면 식.3과 같습니다.

$$\text{식. 3 } (A+a)(a+a) = 2Aa+2aa$$

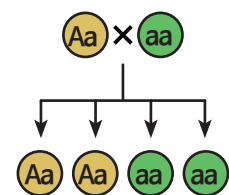


그림. 24 멘델의 예상을 표현한 그림

표. 2 실험결과

우성/열성 개수	우성:열성 비율
노란색 / 녹색 104개 / 104개	노란색 : 녹색 1 : 1

실험결과는 멘델의 예상대로 나왔습니다. 멘델은 일반화를 위해 7가지 특성 모두 똑같은 실험을 진행하였고 모두 동일한 결과를 얻어내어 자신의 가설을 검증합니다.

## 멘델이 되어 생각해보기 11 : 또 다른 질문

여태껏 멘델은 완두의 개별적인 특성에 대하여 따로따로 연구하였습니다. 예컨대 완두의 모양에 관한 실험과 완두의 색깔에 관한 실험을 별개로 진행하였습니다. 그런데 완두의 여러 가지 형질들은 한꺼번에 자손에게 전달됩니다. 그렇다면 완두콩 색깔 유전은 완두콩 모양 유전에 영향을 미칠까요? 혹시 완두콩이 노란색이면 모양이 둥근 경향이 있거나 완두콩이 녹색이면 주름진 경향이 있거나 하지는 않을까요?

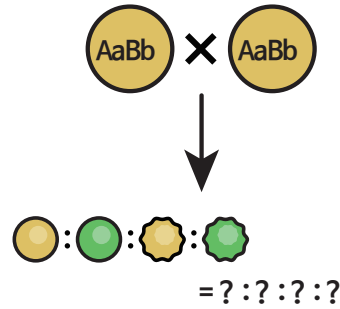
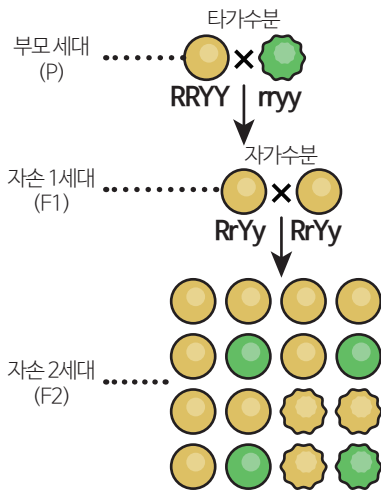


그림. 25 노란색 둥근완두를 자가교배하면 자손의 비율은 어떻게 나타날까?

멘델은 개별적인 특성들이 서로 영향을 미치지 않고 독립적으로 유전된다면, 잡종(AaBb)을 자가수분 하였을 때, 자손에서 각각의 특성들이 우성과 열성 3 : 1의 비율로 유지될 것이라고 생각했습니다. 예컨대 모양과 색깔이 전부잡종인 개체(AaBb)를 자가수분 하였을 때, 자손들의 완두콩 모양은 완두콩 색깔과 상관없이 둥글고 주름진 형태가 3 : 1의 비율로 나타날 것이고, 완두콩 색깔은 완두콩 모양과 관계없이 노랑과 녹색이 3 : 1의 비율로 나타날 것입니다.

## 멘델이 되어 생각해보기 12 : 두 가지 이상의 특성에 관한 연구



자손 2세대의 전체 개체 중  
노란색 : 녹색 비율 = 2.97 : 1

자손 2세대의 둥근 개체 중  
노란색 : 녹색 비율 = 2.91 : 1

자손 2세대의 주름진 개체 중  
노란색 : 녹색 비율 = 3.15 : 1

자손 2세대의 전체 개체 중  
둥근 : 주름진 비율 = 3.18 : 1

자손 2세대의 노란색 개체 중  
둥근 : 주름진 비율 = 3.12 : 1

자손 2세대의 녹색 개체 중  
둥근 : 주름진 비율 = 3.37 : 1

그림. 26 멘델의 네 번째 실험결과

멘델은 둥글고 노란 순종완두(RRYY)와 주름지고 녹색 순종완두(rryy)를 교배하여 1세대에서 모두 둥글고 노란 잡종완두(RrYy)를 얻었습니다. 그리고 1세대 잡종을 자가 교배하여 자손을 얻고 그 수를 세었습니다.

2세대의 실험결과로 멘델은 둥글고 노란색 315개, 주름지고 노란색 101개, 둥글고 초록색 108개, 주름지고 녹색 32개의 완두콩을 얻었습니다. 비율로 따지면 약 9:3:3:1이 됩니다.

결과를 분석해보면, 둥근 개체는 315+108=423개 이고 주름진 개체는 101+32=133개로 둥근 형태와 주름진 형태가 3.18:1의 비율을 보이는 것을 확인할 수 있습니다. 또한 노란색 개체만을 고려하면 둥근 콩과 주름진 콩의 비율이 3.12:1이며, 녹색개체만을 고려하면 둥근 콩과 주름진콩의 비율이 3.37:1입니다.

그리고 노란색 개체는 315+101=416개 이고 녹색 개체는 108+32=140개로 노란색과 녹색이 2.97:1의 비율임을 확인할 수 있습니다. 또한 둥근 개체만을 고려하면 노란색 콩과 녹색 콩의 비율이 2.91:1이고, 주름진 개체만을 고려하면 노란색 콩과 녹색 콩의 비율이 3.15:1입니다. 따라서 멘델은 완두콩의 모양과 색깔이 서로에게 아무런 영향을 미치지 않고 독립적으로 유전된다고 결론지었습니다.

# 멘델 이후

멘델은 무엇을 발견한 것인가?

## 연구의 일반화

멘델이 죽은 후 서턴을 포함한 세포학자들은 세포안의 염색체가 멘델의 이론과 유사하게 행동한다는 사실을 알게 됩니다. 이들은 “멘델이 유전물질이라고 부르던 것이 사실은 염색체였다.”라는 가설을 세웠습니다. 이를 염색체설이라고 합니다. 하지만 이들은 염색체설을 실험적으로 증명하지 못했습니다.

염색체설의 가장 큰 문제점은 염색체의 개수가 생물의 특성 개수에 비해 턱없이 적다는 것입니다. 예를 들어 염색체 설에 따르면 염색체가 7쌍인 완두콩은 8가지 이상의 특성을 자손에게 전달하지 못합니다. 마찬가지로 염색체 설에 따르면 염색체가 23쌍인 인간은 23가지의 특성만을 자손에게 전달할 수 있습니다. 염색체설은 그럴싸하지만 어딘가 모순이 있어 보이는 가설이었습니다.

유전학자 모건은 초파리 실험을 통해 유전물질(유전자)이 염색체 상에 일렬로 늘어서 있다는 사실을 밝혀내었습니다. 결국 멘델의 가설과 염색체설은 모건에 의해 융합되어 유전자설로 발전하게 되었습니다. 현대 유전학은 모건의 유전자 모델을 받아들여 사용하고 있습니다.

유전물질의 조합

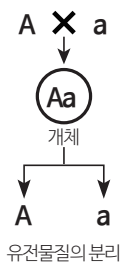


그림. 27 멘델의 모델

상동염색체의 조합

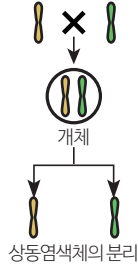


그림. 28 서턴의 모델

대립유전자의 조합

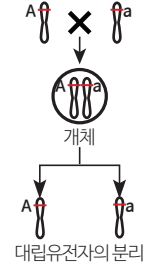


그림. 29 모건의 모델

# 유전학 용어

현대 유전학 용어 정리

**형질** : 형태의 본질이라는 의미로 영어로 character로 번역됩니다. 형질이란 생물의 모양과 성질 등을 말합니다.

예) 완두콩의 모양, 완두콩 색깔, 완두의 키, 완두꽃 색깔 등

**유전자** : 염색체 상에 존재하며 단백질로 번역되는 DNA의 일부분입니다. 유전정보의 단위이자 생물의 형질을 결정하는 요소입니다.

예) R, r, Y, y 등

**표현형** : 유전자에 의해 겉으로 표현되는 형질의 상태입니다. 표현형은 대괄호를 써서 표현하기도합니다

예) 둥글다. 주름지다. 노랗다. 녹색이다. 등  
 예) [R], [r], [Y], [y], [RY], [rY], [Ry], [ry] 등

**대립형질** : 하나의 형질에 국한하여 가능한 표현형 중 하나를 대립형질이라고 합니다. 또는 대립관계에 있는 여러 개의 표현형들을 대립형질이라고 합니다.

예) 완두의 노란색과 녹색은 대립형질이다.



개념 1. 완두콩 색의 표현형은 노란색이 될 수도 있고 녹색이 될 수도 있다. 개념 2. 노란색과 녹색은 서로 대립관계에 있다.

그림. 30 대립형질에 관한 두 가지 개념

**동형접합자** 혹은 **순종** : 부모로부터 물려받은 대립유전자 쌍이 동일한 개체를 순종(혹은 동형접합자)이라고 합니다. 그리고 동형접합자(순종)의 유전자형을 동형접합이라고 합니다. 순종의 유전자형 (동형접합)을 표현하면 아래와 같습니다.

동형접합의 예) RR, rr, YY, yy, RRyy, rryy 등

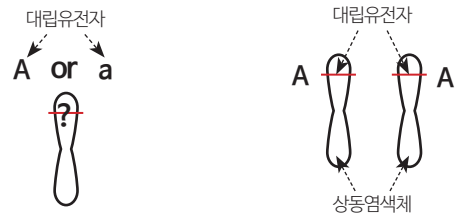
**우성** : 잡종의 대립유전자 중 개체의 표현형을 주도하는 유전자를 우성유전자라고 합니다. 이때, 표현형으로 나타나는 대립형질을 우성형질이라고 합니다.

**유전자형** : 유성생식하는 생물은 유전자를 쌍으로 가집니다. 생물의 대립유전자 쌍을 문자로 표현한 것이 유전자형입니다.

예) RR, Rr, rr, YY, Yy, yy, RrYy, RRyy 등

**대립유전자** : 염색체의 특정 위치를 차지할 수 있는 유전자 중 하나를 대립유전자라고 합니다. 혹은 상동염색체의 같은 자리에 위치하는 한 쌍의 유전자를 말합니다.

예) Y와 y는 대립유전자이다.



개념 1. 염색체의 특정 자리에는 A가 올 수도 있고 a가 올 수도 있다. 개념 2. 상동염색체의 같은 자리에 위치하는 두 유전자는 대립관계에 있다.

그림. 31 대립유전자에 관한 두 가지 개념

**이형접합자** 혹은 **잡종** : 대립유전자 쌍이 서로 다른 개체를 잡종(혹은 이형접합자)이라고 합니다. 그리고 이형접합자(잡종)의 유전자형을 이형접합이라고 합니다. 잡종의 유전자형 (이형접합)을 표현하면 아래와 같습니다.

이형접합의 예) Rr, Yy, RrYy 등

**열성** : 잡종의 대립유전자 중 개체의 표현형으로 나타나지 않는 유전자를 열성유전자라고 합니다. 이때, 표현형으로 나타나지 않는 대립형질을 열성형질이라고 합니다.

# 현대 유전학의 관점에서 멘델을 복습하기

현대적 정리

## 우리는 이미 알고 있었다

사실 우리는 2.1단원과 2.2단원을 공부하면서, 멘델이 발견한 현상들을 이미 공부했었습니다. 즉, 멘델의 연구와 이론들은 2.1단원과 2.2단원의 내용을 수학적으로 표현한 것에 지나지 않습니다. 만약 멘델이 지금 우리처럼 염색체, 유전자, 감수분열의 개념을 알고 있었다면 굳이 실험을 하지 않고서도 실험결과를 당연히 예측할 수 있었을 것입니다. 지금부터 저자는 멘델의 이론들이 현대적 관점에서 얼마나 자연스럽게 추론되는지를 설명해 보도록 하겠습니다.

## 상동염색체와 대립유전자 복습하기

우리는 2.1 단원에서 유성생식하는 생물은 상동염색체 쌍을 가지고 있다고 공부했습니다. 그리고 상동염색체 쌍에 동일한 위치에는 대립유전자가 존재한다는 사실도 공부했습니다. 대립유전자 쌍은 동형접합일 수도 있고 이형접합일 수도 있습니다.

유전자는 생물의 형질을 결정하는 명령어와 같습니다. 완두의 DNA에 완두콩을 노랗게 만드는 유전자가 있다면 완두콩은 노란색을 띠게 됩니다. 반대로 완두의 DNA에 녹색을 띠게 하는 유전자가 있다면 완두콩은 녹색이 됩니다. 그런데 완두는 색깔을 결정하는 유전자를 쌍으로 가지고 있습니다. 그렇다면 우리는 완두가 노란색 유전자와 녹색 유전자를 둘 다 가지고 있을 때 무슨 일이 벌어질지를 예측해볼 필요가 있습니다.

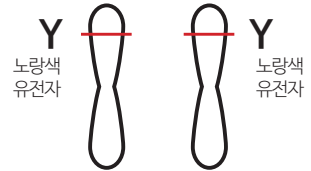


그림. 28 동형접합 개체는 노란색이 된다.

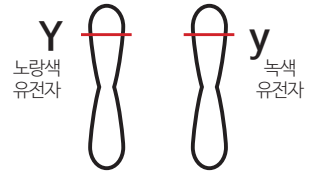


그림. 32 이형접합 이 경우에 개체의 표현형은 어떻게 될 것인가?



그림. 33 이형접합 이 경우에 개체의 표현형은 어떻게 될 것인가?

## 멘델의 제 1법칙: 우열의 법칙(우열의 원리)

우열의 원리 : 하나의 개체 안에 우성유전자와 열성유전자가 대립유전자쌍으로 공존하면 개체의 표현형은 우성유전자가 결정하게 된다.

사실 노랑색 유전자 혹은 녹색 유전자라는 표현들은 정확하지 않습니다. 정확한 표현들은 정상적인 엽록소 분해 유전자와 고장 난 엽록소 분해 유전자입니다. 이때, 고장 난 유전자는 아무것도 하지 못합니다.

식물세포는 엽록소 때문에 원래 녹색을 띠니다. 그리고 엽록소를 분해하는 유전자가 있으면 노란색이 됩니다. 따라서 완두콩 색을 결정하는 대립유전자 중 하나라도 정상적인 엽록소 분해 유전자가 있다면 완두콩은 노란색이 됩니다. 반면 둘 다 고장 난 유전자라면 녹색이 됩니다. (엽록소 분해 유전자는 완두콩에서만 작동합니다. 원래 과일 등의 종자는 익으면서 색이 변함을 기억하시길 바랍니다.)

완두콩을 노란색으로 만드는 유전자를 우성대립유전자, 아무것도 하지 않는 유전자를 열성대립유전자라고 부릅니다. (줄여서 우성유전자, 열성유전자라고 부르기도 합니다.) 이때, 우성유전자는 대문자, 열성유전자는 소문자로 표기합니다. 그리고 노란색을 우성대립형질 이라고 하고, 녹색을 열성대립형질이라고 합니다. (줄여서 우성형질, 열성형질이라고 부르기도 합니다.)

사실 대립유전자간의 우열관계는 이보다 훨씬 복잡한 경우들이 있습니다. 그래서 최초로 우열의 법칙이라고 명명되던 것이 현재는 우열의 원리로 수정되었습니다. (이에 관해서는 앞으로 공부해가면서 차츰차츰 더 보충해 가겠습니다.)

### 감수분열 복습하기 (2n=2인 경우)

핵상이  $2n=2$  이고 유전형이 Aa인 개체의 감수분열을 간단하게 그림으로 표현하면 그림. 34와 같습니다. 그림. 34에서 저자는 중간과정을 생략하고 G1기, 감수 1분열 중기, 감수 2분열 중기, 감수 2분열 말기만을 그려 넣었습니다.

우리의 관심사는 염색체가 아니라 염색체 위의 유전자입니다. 그래서 그림. 35에 감수분열동안 유전자가 어떻게 변화 하는지를 표현하였습니다. 앞으로 (이 책에서는 S기를 거쳐 두 배로 불어난 유전자는 문자 앞에 2를 붙여 표현하겠습니다. 예를 들어 유전자 A가 S기를 거치면 2A가 되는 것으로 표현하겠습니다.)

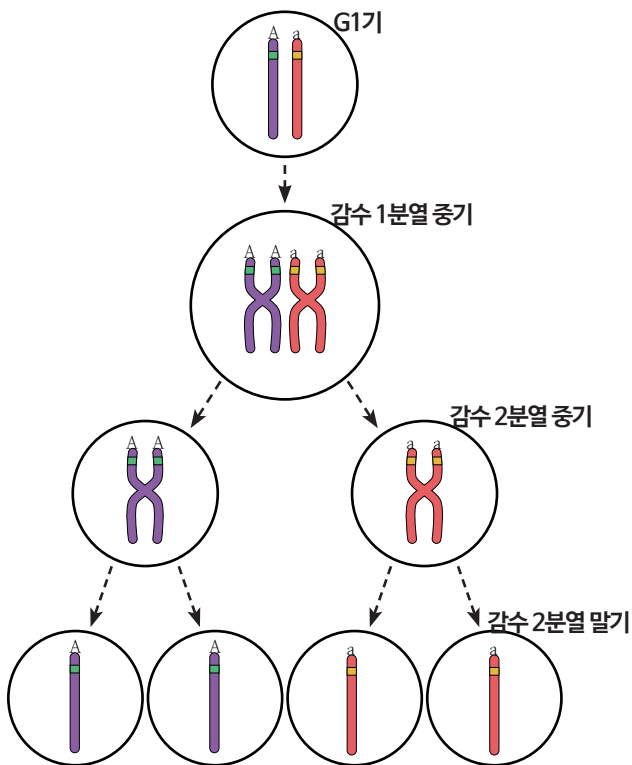


그림. 34 유전형이 Aa인 개체의 감수분열

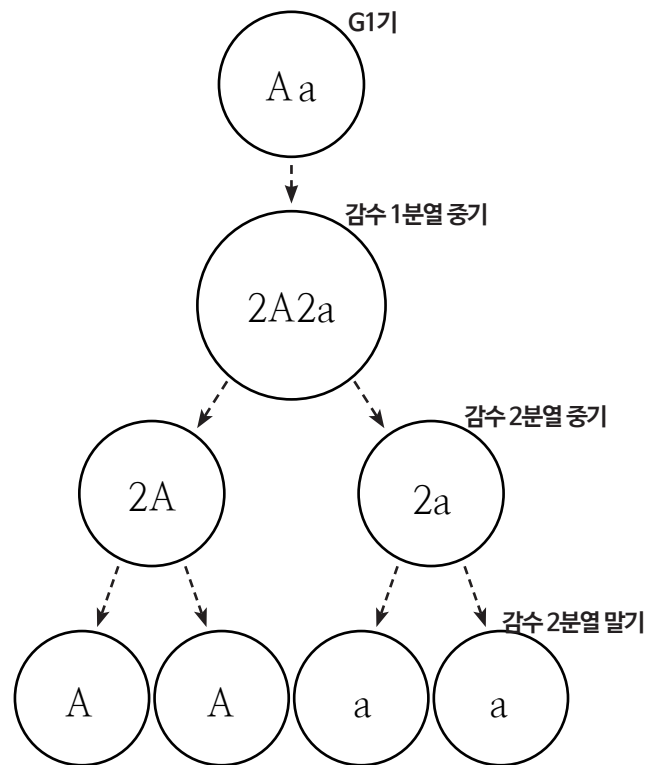


그림. 35 왼쪽그림의 단순화

## 멘델의 제 2법칙: 분리의 법칙

분리의 법칙 : 생식세포형성 시 한 쌍의 대립유전자는 분리되어 서로 다른 생식세포로 나뉘어 들어가며 생식세포는 1:1의 비율로 생산된다.

그림.34에서 G1기의세포와감수2분열말기의세포를비교해봅시다. G1기 세포가 대립유전자로 A와 a를 가진다면, 감수2분열말기 세포는 유전자A 혹은 유전자a 한가지만을 가진다는 사실을 알 수 있습니다. 즉, 모세포에서 한 쌍으로 존재하던 대립유전자들은 감수분열 동안 나누어져 딸세포들이 하나씩 가져갑니다. 이때, A를 가지는 딸세포와 a를 가지는 딸세포는 1 : 1의 비율로 생산됩니다.

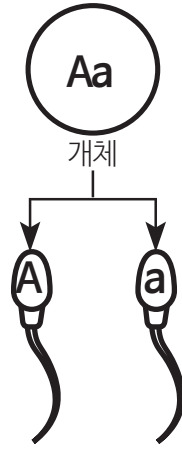


그림. 36 개체의 유전물질은 감수분열을 통해 분리되어 생식세포로 들어간다.

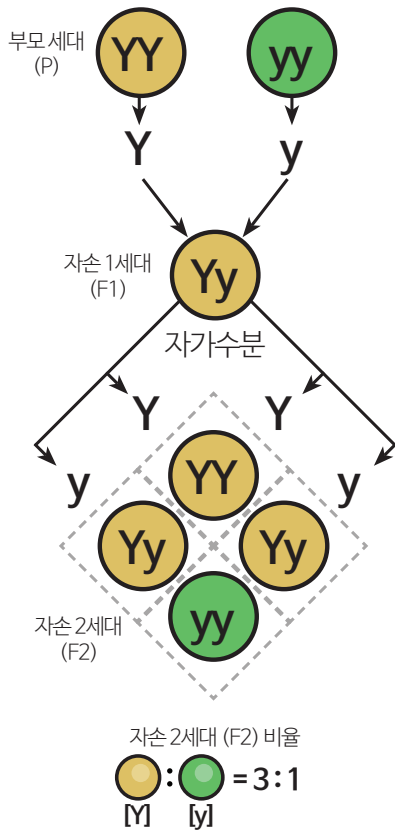


그림. 37 우열의 원리와 분리의 법칙 확인실험

### ‘우열의 원리’와 ‘분리의 법칙’ 확인실험

완두콩을 노란색으로 만드는 유전자 = Y

완두콩을 녹색으로 만드는 유전자 = y

우성순종개체(YY)는 유전자Y를 가지는 생식세포만을 만들 수 있습니다. 또한 열성순종개체(yy)는 유전자 y만을 가지는 생식세포를 만들 수 있습니다. Y를 가진 생식세포와 y를 가진 생식세포가 결합하여, 자손1세대는 유전자형이 Yy인 개체만이 생산됩니다. 자손1세대(Yy)는 우열의 원리에 따라 우성유전자Y가 표현형을 결정합니다.

분리의 법칙에 따라 자손 1세대의 수술에서는 Y를 가지는 화분과 y를 가지는 화분이 같은 비율로 생성됩니다. 마찬가지로 암술에서는 밀씨(Y)와 밀씨(y)가 같은 확률로 만들어 집니다.

자손 1세대를 자가수분하면 수많은 밀씨와 화분이 마구잡이로 결합하게 됩니다.(자손들의 조합은 그림. 37을 참고) 그래서 자손 2세대는 유전자형이 YY, Yy, yy인 개체가 1:2:1로 나타나게 됩니다. 그리고 우열의 원리에 따라 표현형은 우성[Y], 열성[y]이 3 : 1의 비율로 나타납니다.

## 감수분열 복습하기 (2n=4인 경우)

지금까지 우리는 한 쌍의 대립유전자만을 고려대상으로 삼았습니다. 이번에는 두 쌍 이상의 대립유전자를 고려 해봅시다. 핵상이 2n=4인 개체의 감수분열을 간단하게 표현하면 그림.38과 같습니다.

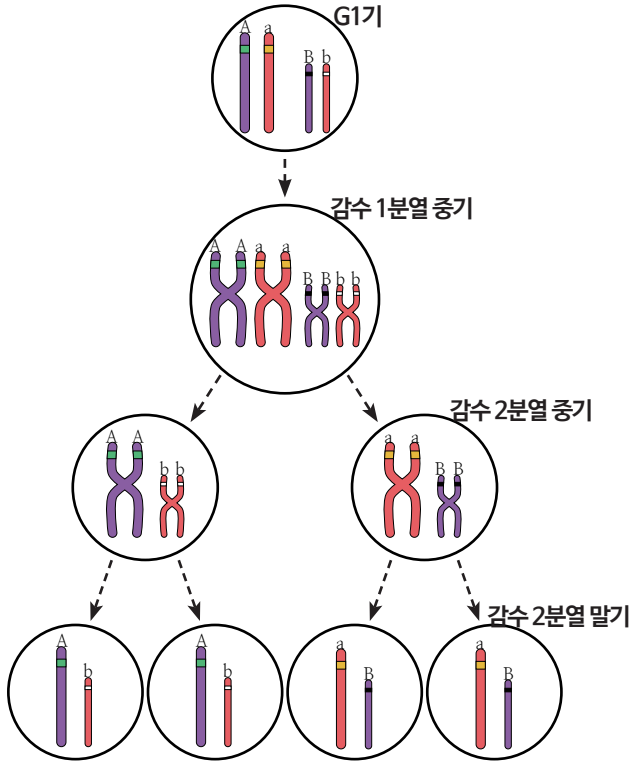


그림. 38 유전형이 AaBb인 개체의 감수분열

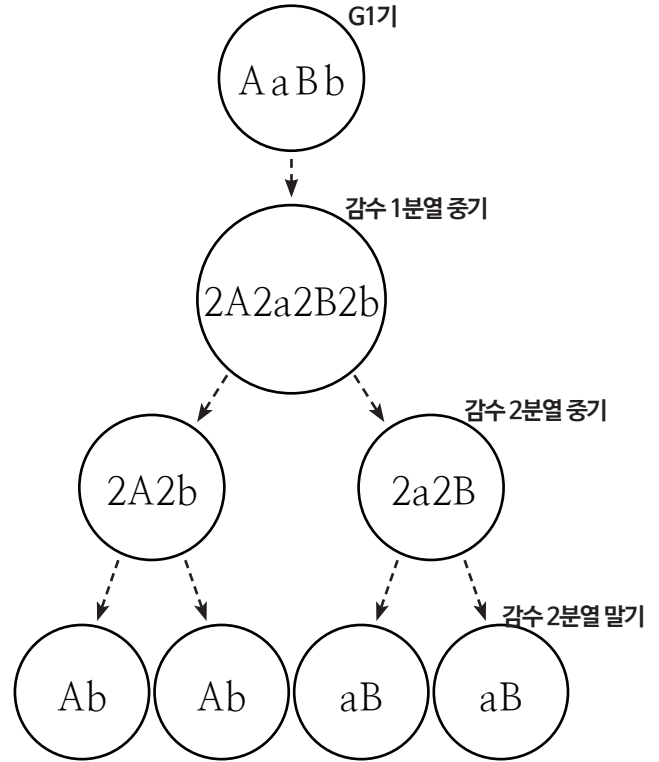


그림. 39 왼쪽그림의 단순화

## 멘델의 제 3법칙: 독립의 법칙

독립의 법칙: 생식세포 형성 시 서로 다른 형질을 담당하는 유전자들은 독립적으로 분배된다.

핵상이 2n=4인 개체의 생식세포는 감수 1분열에서 어떤 상동염색체가 어느 쪽 방추사에 연결되느냐에 따라 두 가지 경우로 나누어집니다. 따라서 이번에는 지난번과 다르게 두 가지 경우를 모두 생각해보아야 합니다.

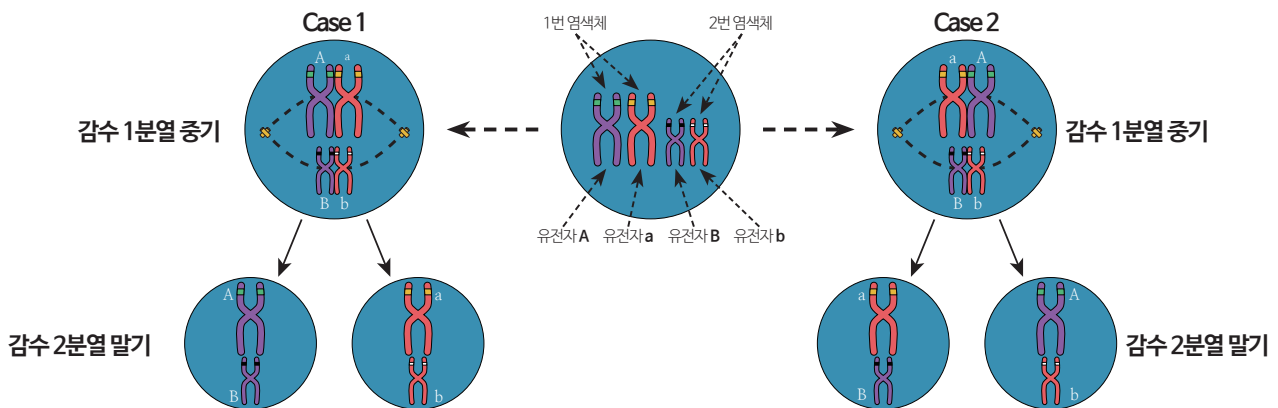


그림. 40 개체 (AaBb) 감수분열의 두 가지 경우의 수



두 가지 경우는 Case 1과 같이 대문자끼리 혹은 소문자끼리 하나의 딸세포에 들어가는 경우가 있고, Case 2와 같이 대문자와 소문자가 엇갈려 들어가는 경우가 있습니다. 이때, “A와 a가 어느 쪽 딸세포에 분배될지”는 “B와 b가 어느 쪽 딸세포에 분배될지”에 아무런 영향을 미치지 못합니다. 이런 현상을 우리는 ‘독립적’이라고 표현합니다. 크기가 다른 동전 두 개를 던져서 어떤 면이 나오는지를 확인할 때, 큰 동전의 결과는 작은 동전의 결과에 아무런 영향을 미치지 못하는 현상 역시 독립에 해당됩니다. 또는 빨간색 수저와 포크 그리고 파란색 수저와 포크가 들어있는 통에서 두 명이 수저와 포크를 무작위로 한 개씩 나누어 가질 때, 포크가 어떻게 나누어 졌는지는 수저가 어떻게 나누어 질지와 아무런 상관이 없는 것과도 유사합니다.

동전실험의 결과가 (앞,앞), (앞,뒤), (뒤,앞), (뒤,뒤)가 나오는 것처럼, AaBb인 개체의 최종 딸세포는 AB, Ab, aB, ab 이렇게 4종류가 만들어 집니다. 그리고 이들 중 하나가 수정란으로 선택될 확률은 1/4로 모두 동일합니다.

### ‘독립의 법칙’ 확인실험

우성순종개체(RRYY)는 유전자RY를 가지는 생식세포만을 만들 수 있습니다. 또한 열성순종개체(rryy)는 유전자 ry만을 가지는 생식세포를 만들 수 있습니다. RY를 가진 생식세포와 ry를 가진 생식세포는 결합하면 자손1세대가 탄생합니다. 자손1세대는 유전자형이 RrYy인 개체만 생산됩니다. 자손1세대(RrYy)는 우열의 원리에 따라 유전자 R과 Y가 표현형을 결정합니다.

분리의 법칙과 독립의 법칙에 따라 자손 1세대의 수술에서는 RY, Ry, rY, ry를 가진 생식세포들이 생산됩니다. 자손 1세대를 자가수분하면 수많은 생식세포들이 마구잡이로 결합하게 됩니다. (자손들의 조합은 그림. 41을 참고) 따라서 자손 2세대의 표현형은 둥글고 노란색[R<sub>Y</sub>], 둥글고 녹색[R<sub>y</sub>], 주름지고 노란색[r<sub>Y</sub>], 주름지고 녹색[r<sub>y</sub>]이 9 : 3 : 3 : 1의 비율로 나타나게 됩니다.

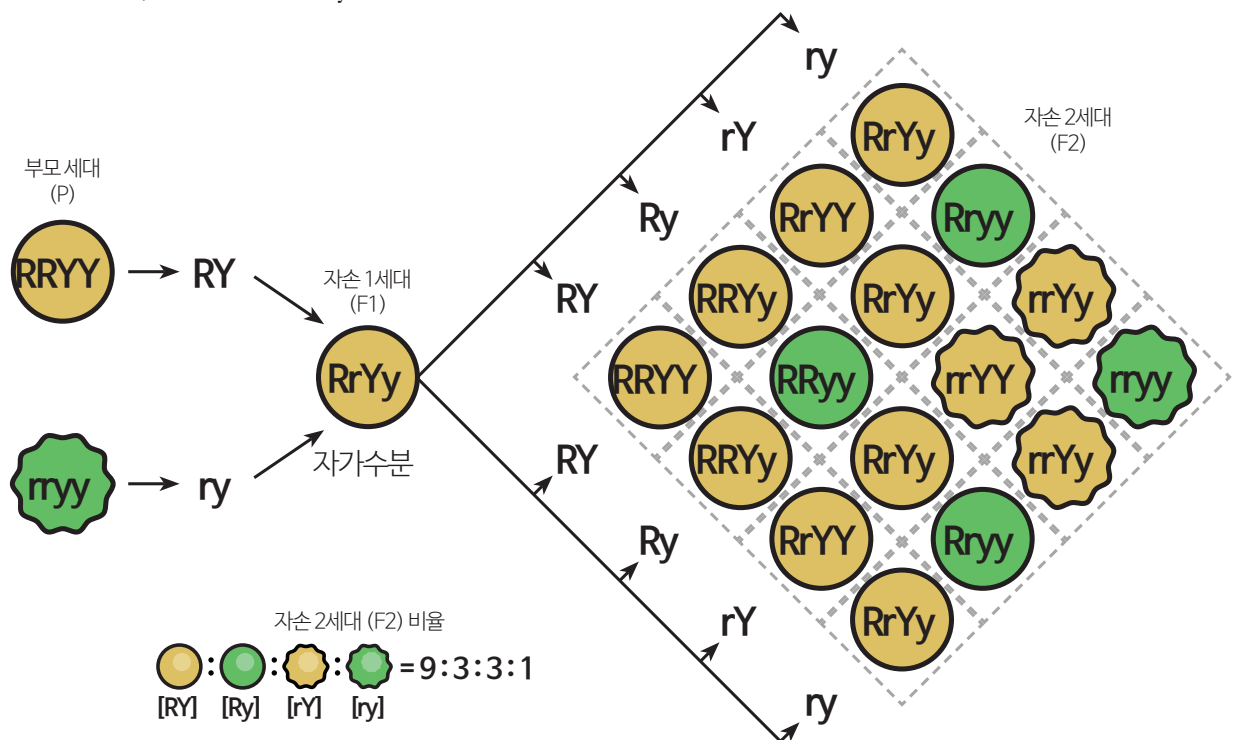


그림. 41

자손 2세대는 표현형이 둥근 개체와 주름진 개체의 비율이 3 : 1이며, 노란색 개체와 녹색 개체의 비율 역시 3 : 1입니다. 또한 둥근 개체 중에 노란색, 녹색의 비율도 3 : 1, 주름진 개체 중에 노란색, 녹색의 비율도 3 : 1, 노란색개체 중에 둥근, 주름진 비율도 3 : 1, 녹색개체 중에 둥근, 주름진 비율도 3 : 1이 성립합니다. 이를 통해 완두콩의 모양과 색깔은 서로 영향을 주지 않는 독립관계라는 사실을 알 수 있습니다.

여기서 한발 더 나아가봅시다. 두 가지 형질이 서로 독립이라는 의미는 그 형질을 결정하는 유전자들이 서로 다른 염색체 상에 있다는 사실을 알려줍니다. 예컨대 콩 모양을 결정하는 유전자 쌍과 콩 색깔을 결정하는 유전자 쌍은 그림.42와 같이 서로 다른 염색체 상에 있습니다. 만약 그림.43과 같이 서로 다른 형질을 암호화하는 유전자들이 하나의 염색체 상에 있다면 두 형질은 서로 독립적으로 유전될 수 없습니다.

독립인 경우(감수 1분열 중기)

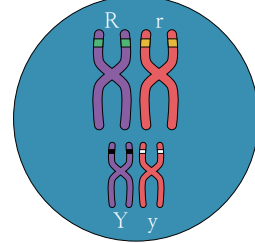


그림. 42  
형질(A,a)는 형질(B,b)와 독립이다.

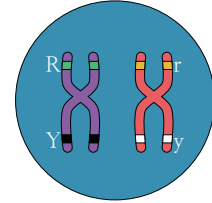


그림. 43  
형질(A,a)는 형질(B,b)와 독립이 아니다.

## 멘델법칙의 예외

멘델은 틀렸다.

### 중간유전 (우열의 원리가 적용되지 않는 경우 1)

앞서 우리는 완두꽃의 우성순종(AA)과 잡종(Aa)의 표현형을 구분할 수 없다고 공부하였습니다. 완두와 같이 우성유전자 하나만으로 표현형을 완전히 장악하는 경우를 '완전우성'이라고 합니다. 그런데 우성에는 완전우성만 있는 것이 아닙니다.

분꽃은 완두와 달리 순종(RR, WW)과 잡종(RW)의 표현형이 확연하게 구분됩니다. 분꽃의 순종은 붉은색과 흰색이고 잡종은 그 중간형인 분홍색입니다. 따라서 분꽃의 잡종을 자가수분시키면 자손의 표현형은 그림. 44과 같이 유전자형을 그대로 반영합니다. 분꽃과 같이 정상 유전자가 하나 있을 때와 두 개 있을 때 표현형이 달라지는 경우를 '불완전우성'이라고 합니다.

상식적으로 대립유전자가 하나만 있을 때보다 두 개 있을 때 유전자의 효과는 두 배가 되는 것이 당연합니다. 즉, 우성유전자가 1개 있으면 50%의 능력이 발현되고 우성유전자가 2개 있으면 100%의 능력이 발현됩니다. 다만 완전우성의 경우 우성유전자가 만들어낸 50%의 단백질만으로도 표현형을 바꾸기에 충분한 반면 불완전 우성의 경우 50%만으로 표현형을 완전히 바꾸기에는 부족합니다.

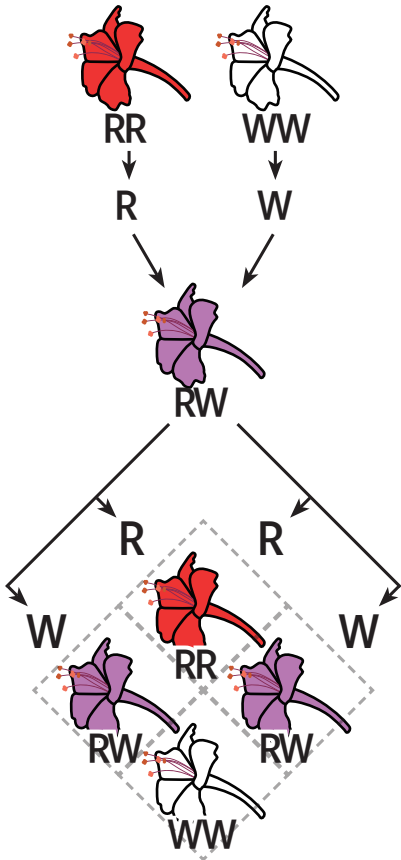


그림. 44 중간유전의 예

소금물이 물에 무한정 녹을 수 없는 것과 같이 유전자가 번역한 단백질도 어느 수준의 양을 넘어가면 더 이상 표현형에 영향을 주지 못합니다. 이미 진한 보라색인 꽃은 더 진해져도 표현형에 큰 차이가 없습니다. 그러나 옅은 보라색인 꽃은 진한 보라색이 될 수 있습니다.

## 공동우성 (우열의 원리가 적용되지 않는 경우 2)

서로 다른 표현형을 암호화하는 대립 유전자가 둘 다 우성이라면, 잡종개체는 얼룩이가 되기도 합니다. 이렇게 잡종개체에서 서로 다른 우성대립유전자가 동시에 발현되는 현상을 공동우성이라고 합니다.



그림. 45 공동우성인 잡종

### 독립

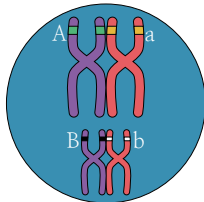


그림. 46 독립의 예

### 상인연관

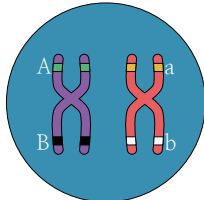


그림. 47 상인연관의 예

### 상반연관

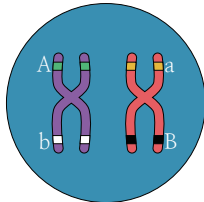


그림. 48 상반연관의 예

## 연관 (독립의 법칙이 적용되지 않는 경우)

하나의 염색체 안에는 수많은 유전자들이 들어있습니다. 이때, 염색체 하나에 서로 다른 형질을 결정하는 유전자가 함께 들어있는 것을 “두 유전자는 연관되어 있다.”라고 표현합니다. 만약 유전자들이 그림. 47이나 그림. 48처럼 서로 연관되어 있다면, 감수분열시 유전자들은 독립의 법칙을 따르지 않습니다.

그림. 47과 같이 우성 유전자들끼리(A와 B) 혹은 열성유전자들끼리(a와 b)이 상동염색체에 연관되어 있는 경우를 상인연관이라고 합니다. 한편, 그림. 48과 같이 우성유전자와 열성유전자(A와 b 혹은 a와 B)가 상동염색체에 연관되어 있는 경우를 상반연관이라고 합니다.

상인연관 된 이성잡종 개체는 두 종류의 생식세포(AB, ab)만을 만들 수 있으며, 자가교배하면 자손의 표현형 비율이 3:0:0:1이 나옵니다. 그리고 상반연관된 이성잡종개체 역시 두 종류의 생식세포(Ab, aB)만을 만들 수 있고 자가교배하면 자손의 표현형 비율이 2:1:1:0로 나옵니다. 유전자가 연관된 경우 하나의 형질에서 우성 혹은 열성이 나타나면 다른 형질의 우열비율이 달라진다는 것을 알 수 있습니다.

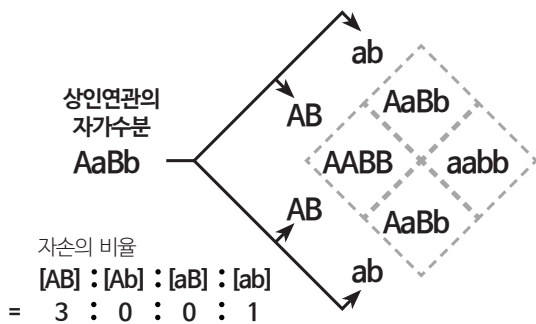


그림. 49 상인연관의 자가수분

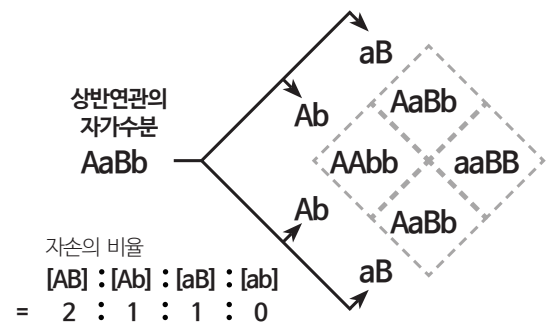


그림. 50 상반연관의 자가수분

# 특별주제 : 상인 × 상반

특별한 조합

## 상인 × 상반

상인연관된 개체(AaBb)와 상반연관된 개체(AaBb)를 교배하는 경우를 생각해 봅시다. 상인연관된 개체(AaBb)는 AB와 ab를 유전자로 가지는 두 종류의 생식세포를 만들고, 상반연관된 개체(AaBb)는 Ab와 aB를 유전자로 가지는 두 종류의 생식세포를 만듭니다. 이 생식세포들이 무작위로 수정되면 그림51과 같은 조합으로 자손이 생산됩니다. 그리고 자손의 비율은 2:1:1:0이 됩니다. 그런데 여기서 주목해야하는 부분이 있습니다. 상인연관×상반연관 교배에서 생산되는 자손비율은 상반연관×상반연관에서 생산되는 자손비율과 동일합니다. 그렇다면 유전자형이 AaBb인 두 개체를 교배하여 나온 자손 비율이 2:1:1:0일 때, 이 두 개체가 상인연관인지 상반연관인지 알 수 있을까요? (힌트는 2011년 수능 19번 에 있습니다.)

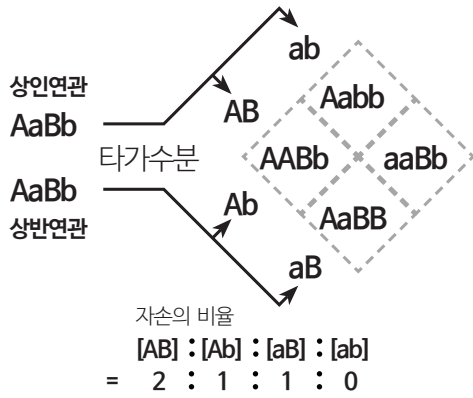


그림. 51 상인연관된 개체와 상반연관된 개체의 타가수분

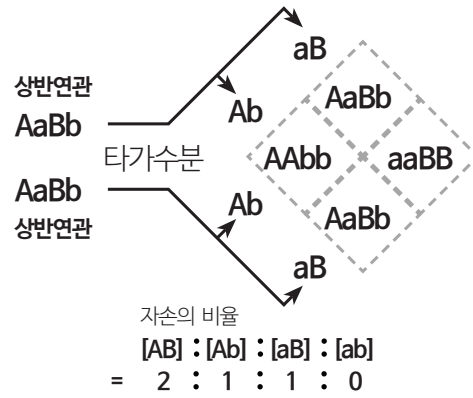


그림. 50 상반연관의 자가수분

# 특별주제 : 멘델 방정식

멘델 식 표현

## 정리

지금까지 공부한 내용들의 일부를 표. 3에 정리하였습니다.

표. 3 유전형이 AaBb인 개체를 자가교배 하였을 때 자손의 비율 비교

	독립유전일 때	상인유전일 때	상반유전일 때
생식세포 비율	AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1	AB : Ab : aB : ab = 1 : 0 : 0 : 1	AB : Ab : aB : ab = 0 : 1 : 1 : 0
자가교배 시 자손의 표현형 비율	[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 9 : 3 : 3 : 1	[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 3 : 0 : 0 : 1	[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 2 : 1 : 1 : 0
멘델의 방정식	(A+a) (B+b) (A+a) (B+b) = (AB+Ab+aB+ab) <sup>2</sup>	(AB+ab) (AB+ab) = AABB+2AaBb+aabb	(Ab+aB) (Ab+aB) = AAAbb+2AaBb+aaBB

# 특별주제 : 검정교배

순종과 잡종 구별하기

## 검정교배란?

완두는 우성 순종과 잡종이 구분되지 않습니다. 만약 우리가 완두콩을 얻었는데 우성순종인지 아니면 잡종인가 궁금하다면 자가수분 시켜보면 알 수 있습니다. 그런데 자가수분을 할 수 없는 경우에도 우성 개체의 유전자형이 동형접합인지 이형접합인지 알 수 있는 방법이 있을까요?

이럴 때는 우성 개체를 열성순종과 교배시켜보면 간단하게 유전자형을 알 수 있습니다. 만약 우성개체가 동형접합이라면 열성순종과 교배하였을 때 자손은 모두 똑같은 표현형을 나타낼 것입니다. 반면 우성개체가 이형접합인 경우 자손의 표현형은 우성과 열성이 1:1의 비율로 나타날 것입니다. 이렇게 우성개체의 유전자형을 알아볼 수 있게끔 열성순종과 교배하는 방법을 검정교배라고 합니다.

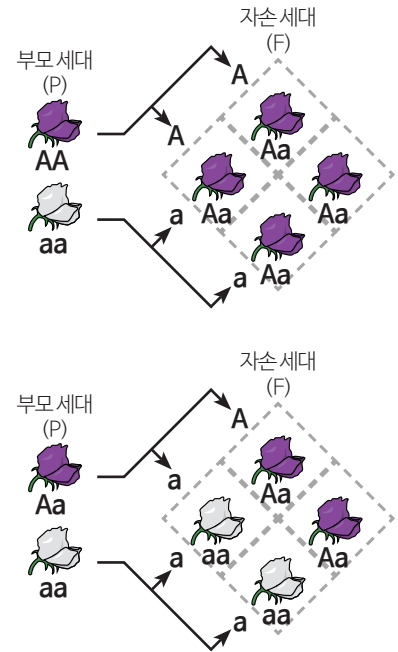


그림. 43 검정교배의 예

# 참고문헌

## 단행본

- William S. Klug et al, 『핵심유전학』, 황혜진, 바이오사이언스출판(2010)
- Benjamin A. pierce, 『유전학의 이해』, 전상학 외, 라이프사이언스(2009)
- Bruce Albert et al, Molecular Biology of The Cell, Garland science(1983)
- 그레고어 멘델, 『식물의 잡종에 관한 실험』, 신현철, 지식을 만드는 지식(2009)
- 로빈 헤니그, 『정원의 수도사』, 안연희, 사이언스북스(2006)
- 비체슬라브 오렐, 『현대유전학의 창시자 멘델』, 한국유전학회, 전파과학사(2008)

## 논문

- 1. Robert Elston et al, "Genetic Terminology", Methods Mol Biol, 2012, 850, pp.1-9

## 사진판권

그림.2

Wellcome Images

그림.45

Darwinek

그림.7

net\_efekt

이번 단원은 암기보다 이해가 중요합니다. 독자 나름대로 내용을 정리해보시길 추천드립니다.

맛보기에는 네이버에서 제공한 나눔 글꼴이 적용되어 있습니다. 실제로 판매되는 종이책에는 유료 글꼴이 사용되었기 때문에 미리 보기와 차이가 있습니다.