

1. 생명과학의 역사

생명 과학의 역사

| | | | |
|--------|--------------|-------------------------------|--|
| BC 4C | 아리스토텔레스 | 자연 발생설, 동물 분류와 해부 | |
| 2C | 갈레노스 | 동물 해부 | |
| 16C | 베실리우스 | 인체 해부학을 연구하고 <인체의 구조에 관하여> 저술 | |
| 1628 | 하비 | 혈액 순환의 원리 | 혈액이 체내에서 순환한다 |
| 1665 | 로버트 훅 | 세포의 발견 | 자른 코르크를 현미경 관찰 → 벌집 구조를 cell이라 명명 |
| 1673 | 레이우엔훅 | 미생물의 발견 | 단렌즈 현미경으로 침·호수·비 관찰 → 단세포 조류·원생동물·세균 발견 |
| 1753 | 린네 | 생물의 분류 체계 정립 | 분류의 기본 단위인 종의 개념을 명확히 하고 학명의 표기법인 이명법 고안 |
| 1796 | 제너 | 종두법 | 사람에게 우두를 접종해 천연두 예방 |
| 1809 | 리마르크 | 용불용설 | 사용하는 형질은 발달하고 사용하지 않는 형질은 퇴화 |
| 1838 | 슈라이덴 | 식물 세포설 | 식물은 세포로 이뤄져 있다 |
| 1839 | 슈반 | 동물 세포설 | 동물은 세포로 이뤄져 있다. |
| 1855 | 피르호 | 세포설 | 모든 세포는 세포로부터 생성된다. 모든 생명체의 기본 단위는 세포이다. |
| 1859 | 다윈 | 자연 선택설 | 개체 간 변이가 있고 환경에 적응한 개체가 살아남으며 변이가 누적되어 진화한다. |
| 1865 | 멘델 | 유전의 기본 원리 | 완두의 교배 실험 결과 부모의 형질은 입자인 유전 인자로 자손에게 전달된다. |
| 19C 후반 | 파스퇴르 | 생물속생설, 저온살균법, 탄저병 백신, 광견병 백신 | |
| 19C 후반 | 코흐 | 감염병의 원인 규명 | 세균 배양·연구 방법 고안 → 감염병 원인 규명 과정 정립 탄저균, 결핵균, 콜레라균 발견 |
| 19C 후반 | 세포 소기관의 발견 | | 현미경 제작 기술·세포 염색 기술 → mt·엽록체·소포체·중심체·골지체·염색체 발견 |
| 1901 | 란트슈타이너 | 혈액형 발견 | |
| 1926 | 모건 | 유전자설 | 각각의 유전자는 염색체의 일정한 위치에 존재한다. 초파리의 염색체 지도 완성 |
| 1928 | 플레밍 | 페니실린 발견 | 세균 배양 접시에 핀 푸른곰팡이에서 세균 증식 억제 물질 페니실린 발견 → 항생제 |
| 1941 | 비들·테이텀 | 1유전자 1효소설 | 하나의 유전자는 하나의 효소 합성에 관한 정보를 가짐 |
| 1944 | 에이버리 | 유전 물질의 본체 규명 | 페렴 쌍구균의 형질 전환 실험(R형→병 유발 S형) 통해 유전 물질은 DNA임을 증명 |
| 1948 | 캘빈·벤슨 | 캘빈 회로 규명 | 방사성 동위원소 14C와 크로마토그래피 이용해 광합성 밝힘 |
| 1950s | 호지킨·헉슬리 | 신경의 흥분 전도 연구 | 이온의 막 투과에 따른 활동 전위 발생을 규명 |
| 1953 | วัต슨·크릭 | DNA 구조 규명 | DNA 염기 조성의 특징과 X선 회절 사진을 이용해 DNA 구조를 알아냄 |
| 1961 | 자코브·모노 | 오펜설 | 대장균에서 유전자 발현 조절 과정 밝힘 |
| 1960s | 니런버그·마테이 | 유전부호 해독 | 인공 합성된 RNA 이용해 유전부호(아미노산 지정하는 3개의 염기) 해독 |
| 1960s | 서덜랜드 | 호르몬 작용 과정 | 표적 세포에서 호르몬의 작용 과정 밝힘 |
| 1973 | 코헨·보이어 | 유전자 재조합 기술 | 제한 효소와 DNA 연결 효소를 이용해 DNA 재조합 기술을 개발 → 의약품과 유전자 변형 생물의 생산 |
| 1983 | 멀리스 | PCR | DNA 복제 효소 이용해 DNA의 특정 부위를 빠르게 복제 |
| 2003 | 사람 유전체 사업 완료 | | 유전자 기능의 연구와 생명체의 유전 정보 분석의 기틀 마련 |

파스퇴르의 생물 속생설 입증 실험

파스퇴르가 만든 S자형의 플라스크를 백조목 플라스크라고 한다.

끓인 고기즙이 식을 때 S자관 속에 물방울이 고인다.

고기즙을 플라스크에 넣는다. 플라스크의 목 부분을 열처리 하여 S자형으로 구부린다. 고기즙을 충분히 끓인 후 식힌다. 상온에 오랫동안 두어도 미생물이 생기지 않는다.

공기는 들어가지지만, 공기 중의 미생물은 물방울에 갇혀 들어가지 못한다.

자연발생설에 대한 논쟁은 1600s부터 200년간 지속 → 파스퇴르의 <자연 발생 비판>에서 부정됨

결론: 생물은 이미 존재하는 생물로부터만 탄생함.

| 변인 | |
|-------|-----------------|
| 독립 변인 | 실험에 영향을 줌 |
| 종속 변인 | 독립변인에 영향을 받아 변함 |

생명 과학의 연구 방법과 사례

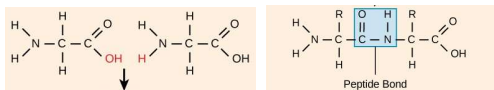
| | | |
|----------|---|--|
| 관찰 | 관찰 통해 자연 현상 파악·자료 수집 → 창의성 자극 | 제너(우두에 걸리면 천연두 안 걸림), 플레밍(푸른곰팡이) |
| 실험 | 실험 통해 자신의 가설을 검증 | 파스퇴르(양 50마리로 탄저병 백신 실험), 그리피스 |
| 정보 수집·분석 | 다른 학자들의 연구 결과를 수집하고 분석 | วัต슨·크릭(샤가프와 프랭클린) |
| 실험 기구 | 실험 기구의 발전은 정밀한 관찰과 실험을 도움 | 현미경(염색, 광학, 전자→바이러스·미세구조), PCR, 염기 서열 분석 |
| 창의적 발상 | 유전자 재조합(효소만 있으면 다른 유전자 삽입 가능?), PCR(DNA 합성에 필요한 재료만 있으면?) | |

2. 세포의 특성

생명체의 유기적 구성

| 단계 | 동물 | 식물 |
|-----|--|---|
| 조직 | 모양과 기능이 비슷한 세포들이 모임 상피 조직: 몸 바깥과 기관, 내강(체내 빈 부분)을 덮음 결합 조직: 다른 조직을 결합·지지 근육 조직: 몸의 근육과 내장을 구성 신경 조직: 자극을 받아들이고 신호 전달 | 모양과 기능이 비슷한 세포들이 모임 분열 조직: 세포 분열이 일어나는 성장점과 형성층 존재 영구 조직: 분열 조직에서 분화해 분열 못하는 표피·유·통도 조직 유조직: 광합성·세포호흡·저장·분비 활발한 울타리 조직·해면 조직 |
| 조직계 | 없음 | 표피 조직계: 식물의 내부를 보호하고 수분 출입을 조절하는 표피·공면세포·큐티클층·뿌리털 관다발 조직계: 물질의 이동 통로인 물관부·채관부·(형성층) |
| 기관 | 여러 조직이 모여 특정 기능을 수행 | 영양 기관: 뿌리·줄기·잎 생식 기관: 꽃·열매 |
| 기관계 | 여러 기관이 모임 소화계, 순환계, 호흡계, 배설계, 내분비계, 면역계, 신경계, 생식계 | 없음 |

생명체를 구성하는 기본 물질

| 물질 | 구성 원소 | 기능과 특성 | 종류 |
|------|-----------|---|--|
| 탄수화물 | C,H,O | 주된 에너지원 식물 세포벽의 구성 성분 | 단당류: 포도당, 과당, 갈락토스 이당류: 엿당, 설탕, 젖당 다당류: 녹말, 글리코젠, 셀룰로스 |
| 지질 | | 에너지원20종류 세포막과 호르몬의 구성 성분 유기 용매(알콜·에탄올·에테르)에 잘 녹음 | 중성 지방: 글리세롤+3지방산으로 에너지 저장과 체온 유지 인지질: 글리세롤+2지방산+인산화합물로 생체막의 주성분 스테로이드: 4개 고리가 연결된 구조로 호르몬과 콜레스테롤 구성 |
| 단백질 | C,H,O,N | 효소, 호르몬, 항체의 주성분 물질대사와 생리 작용 조절 방어 작용 열·산에 의해 입체 구조 파괴(변성) | 20종류의 아미노산의 펩타이드 결합 아미노산의 종류와 수, 결합 순서에 따라 단백질의 종류가 결정된다.  |
| 핵산 | C,H,O,N,P | 유전 정보 저장·전달 단백질 합성에 관여 기본 단위: 뉴클레오타이드(인산:당:염기=1:1:1) | DNA: 디옥시리보스 + 염기는 ATGC RAN: 리보스 + 염기는 AUGC |

세포의 연구 방법

1) 현미경

| 종류 | 광학 현미경 | | | 전자 현미경 | |
|-----|-------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | 일반적 | 형광 | 위상차 | 투과(TEM) | 주사(SEM) |
| 광원 | 가시광선 | | | 전자선 | |
| 해상력 | 0.2 μ m | | | 0.0002 μ m | 0.005 μ m |
| 원리 | 시료를 투과한 가시광선을 대물·접안렌즈로 확대해 관찰 | 형광 염색 물질 처리해 물질의 위치 관찰 | 부위에 따른 빛의 굴절 차이→명암 차이 | 시료 투과한 전자선에 의해 스크린에 나타나는 상 관찰 | 시료에 전자선을 쬐어 방출되는 전자에 의한 상 관찰 |
| 특징 | 살아 있는 세포 관찰 가능 시료 색 구분 가능 | | 염색하지 않아도 뚜렷한 관찰 가능 | 단면 관찰 용이 | 입체 구조 관찰 용이 |

2) 세포 분획법

원리: 세포를 균질기로 부순 후 원심 분리기로 세포 소기관을 밀도·크기에 따라 분리

과정: 설탕 용액이 든 시험관에 세포를 넣고 저온에서 파쇄한 후 원심 분리 → 회전 속도가 빠를수록 점차 가벼운 물질 분리

| | | | | |
|-----------|-----------|------------|------------|-------------|
| 1000g 10분 | 1500g 10분 | 20000g 20분 | 80000g 1시간 | 150000g 3시간 |
| 핵 | 엽록체(식물) | mt | 소포체 | 리보솜 |

3) 자기 방사법

원리: 방사성 동위 원소가 포함된 물질을 세포·조직에 넣어준 뒤 방사선 측정

이용 예: 14C 아미노산 배양액에서 세포 배양하며 시간에 따라 방사선 방출하는 소기관 조사하면 단백질 합성·이동 경로 추적

세포의 구조와 기능

| | | |
|--------|-------|---|
| 핵 | | 핵막: 외막과 내막의 2중막 구조, 외막의 일부는 소포체막과 연결 핵공: 핵과 세포질 사이의 물질 이동 통로 염색질: DNA가 히스톤 단백질(응축을 도와 발현 조절) 등과 결합한 구조로 뉴클레오솜이 기본 단위 인: 단백질과 RNA가 많이 모여 있는 부분으로 막이 없고 rRNA 합성 장소 |
| 합성·수송 | 리보솜 | rRNA와 단백질로 이뤄진 대·소단위체가 결합한 형태 거친면소포체 또는 세포질에 존재 mRNA가 전달하는 유전 정보에 따라 단백질 합성 |
| | 소포체 | 납작한 주머니나 관 모양의 막이 연결된 형태의 단일막 구조물 일부가 핵막과 연결·소포체 내부는 서로 연결 물질 수송의 통로 역할 거친면 소포체: 표면에 리보솜이 붙어 있어 리보솜에서 합성된 단백질을 가공·운반 매끈면 소포체: 표면에 리보솜이 없고 인지질·스테로이드 등 지질 합성하고 독성 물질을 해독·Ca ²⁺ 저장 |
| | 골지체 | 납작한 주머니 모양의 구조물인 시스터나가 층층이 쌓인 단일막 구조물 소포체에서 온 단백질·지질을 변형·포장하고 분비 또는 세포의 다른 부위로 이동시킨다 분비 작용이 활발한 세포(소화샘·내분비샘 세포)에 발달 |
| 에너지 전환 | 엽록체 | 빛 에너지 → 화학 에너지하여 포도당 합성 스트로마에는 자체 DNA, 리보솜이 있어 스스로 복제·증식 |
| | mt | 내막 안쪽은 액체 상태의 기질이 있어 이곳의 DNA, 리보솜으로 스스로 복제·증식 간 세포·근육 세포 등 에너지를 많이 요하는 세포에 다수 분포 |
| 분해·저장 | 리소솜 | 단일막의 주머니로 골지체에서 떨어져 나옴 단백질·탄수화물·지질·핵산 등을 분해하는 다양한 가수 분해 효소가 있어 세포내 소화를 담당 세포 내부로 들어온 세균·손상된 세포 소기관·노폐물 분해 |
| | 액포 | 식물 세포에 주로 존재하는 단일막 주머니 물을 흡수해 세포의 수분량·삼투압 조절 영양소·노폐물을 저장하며 세포의 성숙에 따라 발달 |
| 형태·운동 | 세포 골격 | 단백질 섬유가 그물처럼 얽힌 구조 세포 소기관의 위치와 세포의 형태를 결정 미세 소관 25nm, 중간 섬유 8~12nm, 미세 섬유 7nm |
| | 편모·섬모 | 미세 소관으로 이뤄진 세포의 운동 기관 섬모는 길이↓ 수↑, 편모는 길이↑ 수↓ |
| | 중심체 | 핵 근처에 위치하는 직각으로 배열된 중심립 2개 중심립은 미세 소관으로 이뤄져 있고 세포 분열 시 방추사가 뻗어 나옴 |
| | 세포벽 | 식물 세포에서 세포 보호·형태 유지·지지 물질 출입 조절 못함 → 물과 용질 모두 통과 어린 식물 세포에서 얇은 1차 세포벽 → 성숙하면서 1차 세포벽과 세포막 사이 두껍고 단단한 2차 세포벽 형성 |

원핵세포와 진핵세포

| 구분 | 유전 물질 | 핵막 | 세포벽 | 리보솜 | | 막성 세포 소기관 |
|----------|--------|----|-----------------|-----|---------------|-----------|
| 원핵세포 | 원형 DNA | 무 | 유(일부 세포벽 밖에 피막) | 작음 | 구성 RNA·ptn 다름 | 유 |
| 진핵세포(동물) | 선형 DNA | 유 | 무 | 큼 | | 무 |

3. 세포막과 효소

세포막

1) 세포막의 특성

| | |
|--|----------------------------|
| [1] 생명 활동이 일어나는 세포질 바깥쪽을 둘러쌈 | [2] 세포 내외의 물질 출입을 선택적으로 조절 |
| [3] 세포의 형태를 유지하고 세포를 보호 | [4] 환경에서 오는 신호를 세포 내로 전달 |
| [5] 주성분은 2중층을 이루는 인지질과 소수성·친수성 부분을 함께 가져서 인지질 2중층을 관통하거나 표면에 붙어있거나 파묻힌 단백질 | |

| 막단백질의 기능 | | 유동 모자이크막 | |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 세포 인식 | 탄수화물이 붙어 있는 막단백질은 다른 세포의 인식에 관여 | 세포막의 인지질·단백질은 유동성을 가진다 | |
| 물질 수송 | 수송 단백질은 막을 통한 물질의 이동에 관여 | 사람·생쥐 세포의 막단백질을 다른 색의 형광으로 표지·세포 융합 | |
| 신호 전달 | 수용체 단백질은 세포 밖의 특정 물질을 인식·세포 내 신호 전달 | → 융합 세포의 막단백질의 형광색이 고루 섞임 | |
| 효소 작용 | 막에 있는 효소 단백질은 세포의 물질대사에 관여 | → 유동성을 가짐 | |

2) 세포막의 선택적 투과성

| | |
|--------|---|
| 반투과성 막 | 미세한 구멍이 뚫려 있어 막의 구멍보다 크기가 작은 용매나 용질만 통과 가능 ex) 세포막, 셀로판 막 |
| 세포막 | 반투과성 막과 유사한 투과성 세포의 종류와 환경에 따라 막단백질이 달라지고 막 투과성이 달라짐 크기가 작고 극성이 없는 물질은 인지질 2중층을 쉽게 통과 ex) O ₂ , CO ₂ 크기가 크거나 극성인 물질은 막단백질에 의해 이동 ex) 포도당, 아미노산 |

3) 세포막을 통한 물질 출입

| 방식 | 특징 | 원동력(원인) | 방향 | ATP 소모 | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|--|---------------------------|--------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----------------------------|----------------|----|
| 단순 확산 | 물질이 인지질 2중층을 직접 통과 분자 크기 작을수록·온도가 높을수록·농도차가 클수록 속도 ↑ 극성이 없고·지질 용해도 크고·분자량 작을수록 잘 이동 ex) 폐포·모세혈관 간 O ₂ ·CO ₂ 교환, 지용성 물질의 이동 | 분자 운동에 의해 | 농도 ↑에서 농도 ↓ 농도 같아질 때까지 | 없음 | | | | | | | | | | | | |
| 촉진 확산 | 물질이 세포막의 수송 단백질 통해 이동 통로 단백질: 통로를 통해 통과 운반체 단백질: 특정 물질이 결합하면 구조 변화 통해 운반 물질의 농도 차가 일정 이상이면 막단백질이 포화돼 속도 일정 ex) 흥분 전도 시 Na ⁺ ·K ⁺ 확산, 인슐린에 의한 포도당 확산 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 삼투 | 반투과성 막을 사이에 두고 물(용매)이 이동 삼투압: 물의 이동에 의해 막이 받는 압력 용액의 농도가 높을수록·온도가 높을수록 삼투압 크다 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td> <td>동물세포</td> <td>식물세포</td> </tr> <tr> <td>저장액</td> <td>용혈</td> <td>팽윤</td> </tr> <tr> <td>등장액</td> <td>변화x</td> <td>변화x</td> </tr> <tr> <td>고장액</td> <td>쭈그러듦</td> <td>원형질분리</td> </tr> </table> | | 동물세포 | 식물세포 | 저장액 | 용혈 | 팽윤 | 등장액 | 변화x | 변화x | 고장액 | 쭈그러듦 | 원형질분리 | 용질 농도가 높을수록 용매와 무리 형성해 이동 ↓ | 용매 농도 ↑에서 농도 ↓ | 없음 |
| | 동물세포 | 식물세포 | | | | | | | | | | | | | | |
| 저장액 | 용혈 | 팽윤 | | | | | | | | | | | | | | |
| 등장액 | 변화x | 변화x | | | | | | | | | | | | | | |
| 고장액 | 쭈그러듦 | 원형질분리 | | | | | | | | | | | | | | |
| 능동 수송 | 인지질 2중층을 농도 차이를 역행하여 수송 운반체 단백질에 의해 일어남 → 선택적 투과성 특정 물질의 농도가 세포 내외에서 다르게 유지될 때 유용 ex) Na ⁺ ·K ⁺ 펌프, 세노판 포도당 재흡수, 해조류의 I 흡수, 소장 일부 양분 흡수, 뿌리털의 무기염류 흡수 | Na ⁺ ·K ⁺ 펌프의 경우 Na ⁺ 결합 부위가 세포 안으로 열림 → ATP 소모 → 운반체 단백질 구조 변형해 Na ⁺ 방출·K ⁺ 결합 부위 열림 vice versa | 농도 ↓에서 농도 ↑ | 있음 | | | | | | | | | | | | |
| 세포내섭취 | 세포막을 통과할 수 없는 세포 밖의 큰 물질을 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 들어옴 식세포작용: 미생물·세포 조각 등 고형 물질을 감싸서 들어옴 음세포작용: 액체 물질을 감싸서 들어옴 ex) 식균 작용 | | | 있음 | | | | | | | | | | | | |
| 세포외배출 | 세포 안에 있는 분비 소낭이 세포막과 융합하여 소낭 속의 물질(효소·호르몬·노폐물)을 세포 밖으로 내보냄 ex) 이자 세포에서 인슐린·글루카곤 분비, 뉴런 축삭 돌기 말단에서 신경 전달 물질 분비 | | | 있음 | | | | | | | | | | | | |

효소

1) 효소의 기능과 활성화 에너지

활성화 에너지: 어떤 물질이 화학 반응을 일으키기 위해 필요한 최소한의 에너지

활성화 에너지 ↓ 반응을 일으킬 수 있는 분자 ↑ 반응 속도 ↑

효소(생체 촉매)는 반응물인 기질과 결합해 활성화 에너지 낮춤 → 물질 대사의 속도 빠르게

반응열: 방출 흡수되는 열량으로 반응물과 생성물의 에너지 차이

반응열은 바뀌지 않는다

| | | |
|-------|-------|-----------------|
| 동화 작용 | 흡열 반응 | 저분자 물질 → 고분자 물질 |
| 이화 작용 | 발열 반응 | 고분자 물질 → 저분자 물질 |

2) 효소의 특성

기질 특이성: 효소는 활성 부위와 입체 구조가 맞는 특정 기질과만 결합

효소가 기질과 결합 → 효소·기질 복합체 형성 → 반응의 활성화 에너지 ↓

효소는 반응에서 소모·변형되지 않음

3) 효소의 구성과 종류

| 전효소 | | |
|---|--|--|
| 주효소(단백질) | 보조 인자(비단백질) | |
| 단백질만으로 활성 나타냄: 아밀레이스·펩신 대부분은 비단백질 부분 필요 온도와 pH의 영향 큼 ↔ 보조인자는 적음 | 조효소(유기 화합물) | |
| | 반응이 끝나면 주효소로부터 분리된 한 종류의 조효소가 여러 주효소와 결합 가능 ex) NAD ⁺ , NADP ⁺ , FAD | 금속 이온 주효소와 강하게 결합해 반응이 끝나도 분리x ex) 철, 구리, 아연, 마그네슘 |

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------------|
| 산화·환원 효소 | H·O· 전자를 전달 | 제거 부가 효소 | 작용기를 제거·부가 |
| 전이 효소 | 작용기를 전달 | 이성질화 효소 | 원자 배열 바뀌 이성질화 |
| 가수 분해 효소 | 물 첨가해 기질 분해 | 연결 효소 | E 사용해 2개 기질 연결 |

4) 효소의 활성에 영향을 미치는 용인

| 온도 | pH |
|---|--|
| 최적 온도 이하: 온도↑ → 기질과 활성 부위 충돌↑ → 반응 속도↑ 최적 온도 이상: 효소 활성 부위 입체 구조 변성 → 반응 속도 급격히↓ 고온에서 변성된 효소는 온도를 낮춰도 기능 회복되지 않음 | 최적 pH에서 반응 속도가 가장 빠르고 벗어나면 느려짐 효소 활성이 나타나는 pH 범위를 벗어나면 효소 활성 부위의 입체 구조가 변성되어 반응 속도가 급격히 느려짐 |

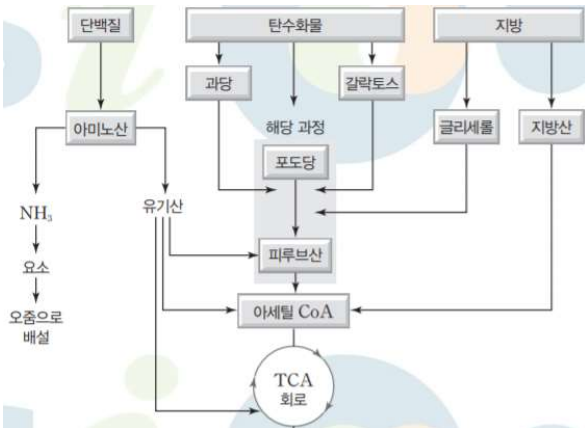
| 기질의 농도 | 저해제 |
|--------|---|
| | <p>효소와 결합해 효소·기질 복합체의 형성을 저해 효소 결합 부위에 따라 나뉨 경쟁적 저해제: 활성 부위에 결합 → 기질과 경쟁 비경쟁적 저해제: 활성 부위가 아닌 부위에 결합 → 활성 부위 구조 변화</p> |

| 효소 활성 실험 | |
|---|--|
| 여러 온도의 감자즙에 거름종이를 담금 과산화수소 + 증류수·끓은 염산·끓은 NaOH에 거름종이 넣고 수면에 떠있을 때까지의 시간 측정함 | 감자즙에는 카탈레이스(과산화수소→물·산소)존재 → 산소가 거름종이에 붙어 떠오르게 함 증류수일 때 35° < 0° < 90° → 활성 35도 < 0도 < 90도 35도일 때 증류수 < 끓은 NaOH < 끓은 염산 → 활성 중성 < 염기성, 산성 |

4. 세포 호흡과 발효

| 과정 | 해당 과정 | 피루브산 산화 | TCA 회로 | 산화적 인산화 |
|--------|--|--|---|--|
| 반응 경로 | ATP 소모: 포도당→과당2인산 2ATP소모 ATP 생성: 과당2인산→2피루브산 4ATP 생성(기질 수준 인산화) 2NADH 생성(탈수소 반응) | CO2 생성(탈탄산 반응) 조효소A(coA) 결합 NADH 생성(탈수소반응) | | |
| 반응식 | $C_6H_{12}O_6 + NAD^+ + 2ADP + 2P_i \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2NADH + 2H^+ + 2ATP$ | $C_3H_4O_3 + NAD^+ + CoA \rightarrow \text{아세틸 CoA} + CO_2 + NADH + H^+$ | $\text{아세틸 CoA} + 3NAD^+ + FAD \rightarrow 2CO_2 + 3NADH + 3H^+ + FADH_2 + CoA + ATP$ | $10NADH + 10H^+ + 2FADH_2 + 6O_2 \rightarrow 10NAD^+ + 2FAD + 12H_2O$ |
| 산화 환원 | 포도당 산화, 피루브산 환원 $NAD^+ \rightarrow NADH$ | 피루브산 산화, 아세틸 CoA 환원 $NAD^+ \rightarrow NADH$ | 피루브산 산화, CO2 환원 $NAD^+ \rightarrow NADH$ $FAD \rightarrow FADH_2$ | NADH 산화, FADH2 산화, O2 환원 $NADH \rightarrow NAD^+$ $FADH_2 \rightarrow FAD$ $O_2 \rightarrow H_2O$ |
| 특징 | NAD+의 지속적인 공급 필요 | | | $1NADH = 2e^- = 2.5ATP$ $1FADH_2 = 2e^- = 1.5ATP$ |
| 위치 | 세포질 | 미토콘드리아 기질 | 미토콘드리아 기질 | 미토콘드리아 내막 |
| ATP 생성 | 2 | 0 | 2 | 28 |

1) 호흡 기질에 따른 세포 호흡 경로



2) 세포호흡의 에너지 효율

1mol의 포도당이 완전 분해되면 686kcal의 에너지가 방출됨
 1몰의 ADP가 ATP로 합성될 때 약 7.3kcal의 에너지가 필요

$$\frac{32 \times 7.3kcal}{686kcal} \times 100 \approx 34\%$$

3) 호흡률

$$\text{호흡률}(RQ) = \frac{\text{발생한 } CO_2 \text{의 부피}}{\text{소비된 } O_2 \text{의 부피}}$$

호흡 기질에 따라 탄소, 수소, 산소의 구성비가 달라서 호흡률 다른
 탄수화물=1 지방=0.7 단백질=0.8

발효

| 산소 호흡 | 발효 |
|---|--|
| 산소가 이용되는 세포 호흡 산소 이용하는 산화적 인산화 진행 호흡 기질이 CO2와 H2O로 완전히 분해되어 많은 양의 ATP 합성됨 | 해당 과정을 통해 생성된 피루브산이 산소가 부족할 때 세포질에서 중간 단계까지만 불완전하게 분해됨 해당 과정 통해 소량의 ATP 합성되지만 전자 전달계 통한 전자 이동× 여러 미생물에서 일어나며, 산소 공급이 부족할 때 사람의 근육에서도 진행 의의: 산소호흡에서 최종 전자 수용체인 산소가 없으면 NADH·FADH2가 산화되지 않아 TCA회로 중단되고 해당 과정 중단될 수 있음 → 발효는 피루브산이 환원되며 NADH·FADH2 산화돼 ATP 지속적 합성 가능 |

| 알코올 발효 | 젖산 발효 |
|--|--|
| <p>효모의 에탄올 발효에서 생성되는 에탄올은 술을, CO2는 밀가루 반죽을 부풀리는데 사용됨</p> | <p>젖산균의 젖산 발효는 김치, 요구르트, 치즈 만드는 데 이용 사람 근육에서 젖산 발효: 과도한 운동 시 산소 공급 부족해져 진행됨 → 젖산은 혈액 통해 간으로 운반된 후 피루브산으로 전환됨</p> |

5. 광합성

엽록체

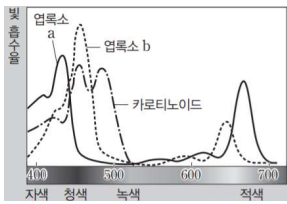
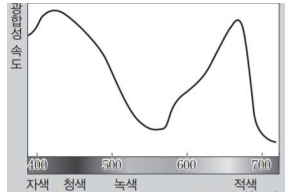
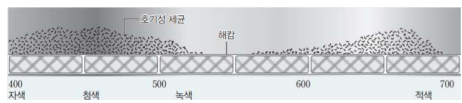
| | | | |
|-----|---|--------|---|
| 광계 | 광합성 색소와 단백질로 이뤄진 복합체 빛에너지를 효율적으로 흡수할 수 있는 구조 빛에너지를 흡수해 고에너지 전자를 방출한다 엽록소-카로티노이드는 빛에너지 흡수해 반응 중심 색소 (한 쌍의 엽록소 a)로 전달→고에너지 전자 방출 | 광계의 종류 | 광계 I: 700nm의 빛을 가장 잘 흡수하는 엽록소 a인 P ₇₀₀ 을 반응 중심 색소로 가짐 광계 II: 680nm의 빛을 가장 잘 흡수하는 엽록소 a인 P ₆₈₀ 을 반응 중심 색소로 가짐 |
| 엽록소 | 틸라코이드 막의 광계에 존재 엽록소 a,b,c,d 등이 있음 모든 식물 및 조류에는 공통적으로 엽록소 a 존재하고 나머지는 생물에 따라 다름 | 카로티노이드 | 카로틴, 잔토필 등이 있음 식물과 녹조류에서 발견됨 엽록소가 잘 흡수하지 못하는 파장 흡수해서 전달 과도한 빛에 의해 엽록소가 손상되는 것을 방지 |

광합성 색소의 분리: 색소의 특성에 따라 전개율이 다른 점 이용해 전개액(유기 용매) 크로마토그래피나 얇은 막 크로마토그래피 진행

| 전개액 크로마토그래피로 광합성 색소 분리 실험 | |
|---------------------------|--|
| 과정 | 시금치 잎을 가위로 잘라 막자사발에 넣음 광합성 색소 추출액(메탄올:아세톤 = 3:1)을 소량만 넣고 같이줌 종이 크로마토그래피 용지를 눈금실린더 크기에 맞게 자르고 끝에서 2cm 위쪽에 연필로 출발선(원점)을 그음 모세관으로 색소 추출액을 채취해 용지의 출발선 중앙에 찍고 말리는 과정을 반복해 지름이 2~3mm정도 되도록 문힘 눈금실린더 바닥으로부터 1cm 높이까지 전개액 넣음 색소 추출액이 마르면 용지를 눈금실린더에 넣고 입구를 막음 전개액이 용매 전선에 도달할 때까지 전개함 |

| | |
|--|---|
| | <p>시금치 잎에서 카로틴, 잔토필, 엽록소 a·b 분리됨</p> <p>전개율(Rf) = 원점에서 색소까지 거리 / 원점에서 용매 전선까지 거리</p> <p>전개율은 카로틴 > 잔토필 > 엽록소 a > 엽록소 b</p> <p>결론 분자량 전개액에 대한 용해도·전개지에 대한 흡착력 차이→전개율 차이</p> |
|--|---|

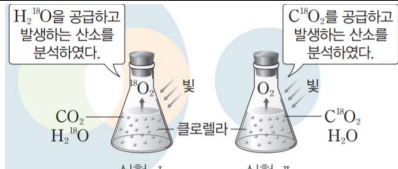
빛

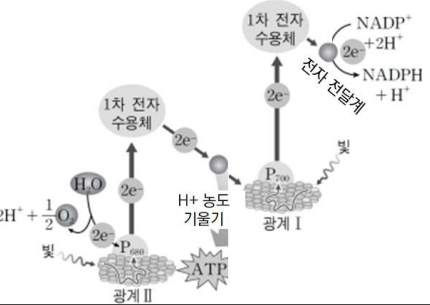
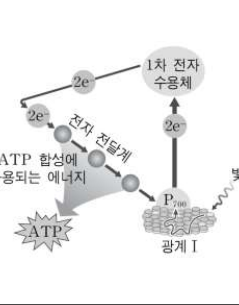
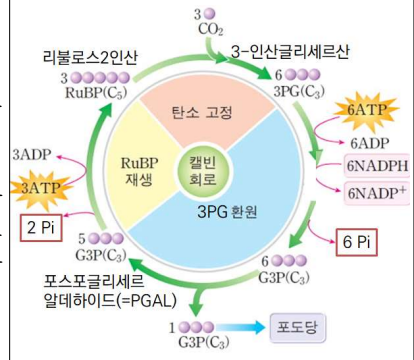
| 흡수 스펙트럼 | 작용 스펙트럼 | 앵겔만의 실험 |
|---|---|---|
| <p>빛의 파장에 따른 광합성 색소의 빛 흡수율 그래프 엽록소: 청자색·적색광 잘 흡수하고 녹색광 거의 흡수× 카로티노이드: 청자색·녹색광 흡수해 광합성 도움</p>  <p>엽록소가 주로 흡수하는 파장에서 광합성 가장 활발 → 식물의 잎이 초록색인 이유</p> | <p>빛의 파장에 따른 광합성 속도 그래프 식물은 청자색광·적색광에서 빠름</p>  <p>카로티노이드가 흡수한 빛을 광합성에 이용하기 때문에 녹색광에서도 일어남</p> | <p>프리즘으로 분광한 다양한 파장의 빛을 해캄에 비취 주위에 모여든 호기성 세균 분포 관찰</p>  <p>청자색·적색광을 비춘 곳에 호기성 세균 가장↑ 호기성 세균이 많음 = 산소 발생량 많음 결론: 해캄이 광합성에 주로 이용하는 빛의 파장은 청자색·적색광이다</p> |

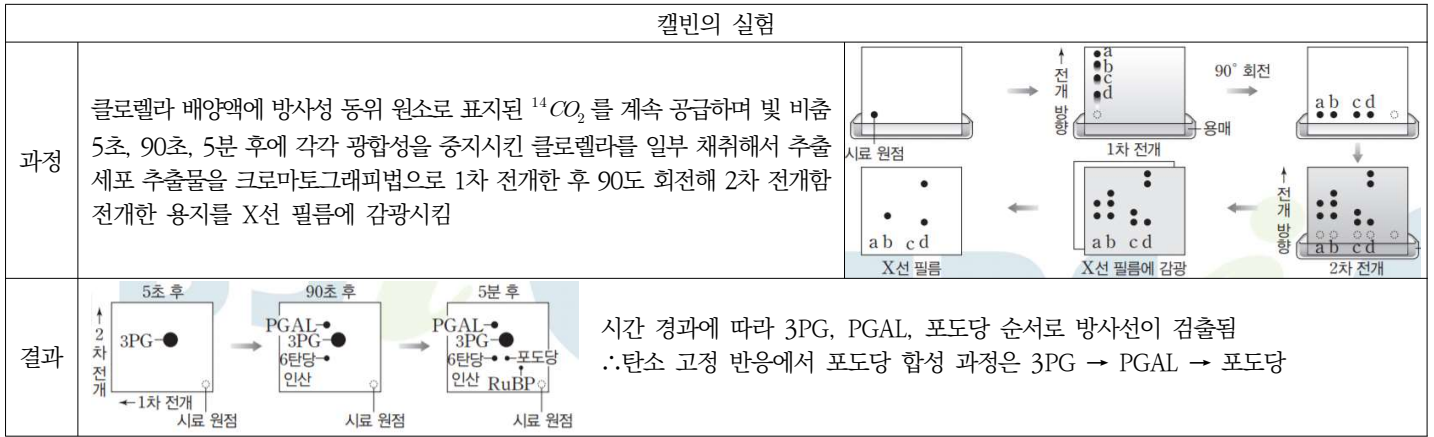
광합성

| | | | |
|---|--------------------------------|---|-------------------------------|
| 명반응 | 포도당 합성에 필요한 ATP와 NADPH를 만드는 단계 | 탄소 고정 반응 | 명반응 산물인 ATP와 NADPH 이용해 포도당 합성 |
| 명반응이 일어나지 않으면 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 탄소 고정 반응은 정지됨 | | $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{빛에너지}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 12H_2O$ | |
| 탄소 고정 반응이 일어나지 않으면 ADP와 NADP ⁺ 가 공급되지 않아 명반응은 멈춤 | | | |

| | |
|--------------|---|
| 헬몬트(1630년) | 화분에 어린 버드나무를 심고 5년 동안 물만 주며 길렀다. → 흙의 무게는 0.06kg 감소했지만 버드나무는 74.47kg 증가함 → 식물은 흙 속에 있는 양분이 아니라 물을 흡수해 자람 |
| 프리스틀리(1772년) | 밀폐된 유리종 속에 생쥐만 두면 곧 죽지만 식물과 생쥐를 함께 두면 모두 산다. |
| 잉엔하우스(1779년) | 프리스틀리의 실험 결과는 반드시 빛이 비치는 곳이어야 성립함 |

| 힐의 실험 | 루벤의 실험 |
|--|--|
| <p>엽록체 함유된 추출물에 옥살산 철(III)을 넣고 공기 빼고 빛 비춤 → O₂가 발생하고 옥살산 철(III)은 옥살산 철(II)로 환원됨 → 명반응에는 전자를 받아 환원되는 물질(NADP⁺) 존재 공기를(CO₂) 뺀 상태에서 O₂가 발생했으므로 O는 H₂O에서 음</p> | <p>실험 I에선 ¹⁸O₂ II에선 O₂ 발생 → 실험 I에선 ¹⁸H₂O가 II에선 H₂O 분해됨 → 산소는 물에서 유래</p>  |

| 과정 | 명반응 | | | 암반응 |
|-------|---|---|---|--|
| | 비순환적 광인산화 | 순환적 광인산화 | ATP 합성 | 탄소 고정 반응 |
| 반응 경로 |  <p>광계 II 전자 방출 → 전자 전달과 H⁺ 농도 기울기 형성 → 광계 I 전자 방출 → NADP⁺에 전달돼 NADPH 생성</p> |  <p>광계 I 전자 방출 → 전자 전달계 거침(NADP⁺ ×) → P₇₀₀으로 되돌아 음</p> | <p>고에너지 전자 전달되며 방출한 에너지로 H⁺를 틸라코이드 내부에 축적 → ATP 합성 효소가 틸라코이드 내부에서 스트로마로 H⁺를 방출하며 ATP 생산</p> |  <p>탄소 고정 반응: 리불로스2인산(RuBP) + CO₂ → 3-인산글리세르산(3PG) → 포도당</p> |
| 반응식 | 광분해 $H_2O \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$ | | | |
| 산화 환원 | <p>H₂O 산화 → O₂</p> <p>산화된 P₆₈₀은 물이 방출한 전자에 의해 환원 산화된 P₇₀₀은 전자 전달계를 통해 전달된 다음 전자에 의해 환원</p> | | | <p>CO₂ 환원 → 포도당</p> <p>NADPH와 ATP 이용해 환원시킴 NADPH 산화 → NADP⁺</p> |
| 입출력 | 빛·H ₂ O·ADP·NADP ⁺ → ATP·NADPH | 빛 → ATP | | 6CO ₂ ·18ATP·12NADPH → 포도당 |
| 위치 | 엽록체의 그라나(틸라코이드 막) | | | 엽록체의 스트로마 |



6. 유전 물질

원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성

| | 원핵세포 | 진핵세포 |
|------------------|--|---|
| 유전체 DNA 수와 형태 | 크기가 작은 원형 DNA 1개가 핵막 세포질에 퍼짐 플라스미드라는 작은 원형 DNA가 있기도 | 선형 DNA 여러 개로 구성되어 크고 많은 유전 정보를 가진 핵막에 둘러싸여 있음 |
| 유전체 DNA와 히스톤 단백질 | 결합하지 않는다(일부 고세균 제외) | 결합해서 뉴클레오솜 구조를 형성 세포분열 시기에 고도로 응축된 염색체 형성 |
| 인트론 유무 | 인트론 유전자가 촘촘하게 존재해 85% 이상이 RNA와 단백질 형성하는 유전자(일부 고세균 제외) | 유전자가 촘촘하지 않게 존재하며 비암호화 부위가 많고 비암호화 부위의 대부분은 인트론이다 |
| 유전자 발현 조절 단위 | 오페론 단위로 이뤄져 여러 유전자 전사 동시에 진행 | 모든 유전자의 발현이 각각 독립적으로 조절됨 |

유전 물질의 확인

1) 유전 물질의 특징

| | |
|---------------------------------------|---|
| 생명활동에 필요한 정보 보관 | 단백질을 유전 물질이라 여겼던 이유 |
| 정확하게 복제 \rightarrow 다음 세대에 안정적으로 전달 | 유전자가 단백질과 DNA로 이뤄진 염색체에 존재한다는 것이 알려짐 |
| 돌연변이: 진화에 필요한 유전적 변이 제공 | DNA는 4개 염기 가지지만 단백질은 20가지 아미노산 가져 복잡한 정보 저장 가능하다 여김 |

2) 유전 물질 연구의 역사

그리피스의 폐렴 쌍구균 형질 전환 실험(1928년)

폐렴을 유발하는 S(smooth)형균과 비병원성 R(rough)형균 \rightarrow 죽은 S형균에 있던 유전 정보를 가진 형질 전환 물질이 R형 균 안으로 이동했고 이것이 유전물질이다.

| 처리 | Live S형균 | Live R형균 | Heat-Killed S형균 | Heat-Killed S형균 + Live R형균 |
|--------|----------|----------|-----------------|----------------------------|
| 주입 후 쥐 | 죽음 | 건강 | 건강 | 죽음 (S형균 발견) |

에이버리의 폐렴 쌍구균 형질 전환 실험(1944년)

| Heat-Killed S형균 | 처리 | Live R형균과 배양 |
|-----------------|-----------|--------------|
| | 단백질 분해 효소 | S형균 관찰 |
| | 다당류 분해 효소 | S형균 관찰 |
| | RNA 분해 효소 | S형균 관찰 |
| | DNA 분해 효소 | R형균 관찰 |

유전 물질이 분해되면 형질전환이 일어나지 않는다.
 DNA 분해 효소를 처리했을 때만 형질전환이 일어나지 않음
 \rightarrow R형균을 S형균으로 형질전환 시킨 물질(유전물질)은 DNA

허시와 체이스의 박테리오파지 실험(1952년)

| 방사성 표지한 단백질 (^{35}S) | 파지가 세균을 감염시킴 | 교반기로 세균에서 파지를 분리 | 원심분리 | 윗부분의 파지: 검출 새로운 파지: 검출 안 됨 | 대장균 내에서 증식되는 파지에는 (^{32}P)만 검출됨 \rightarrow 파지의 DNA가 다음 세대의 파지를 만드는 유전물질로 작용한다. |
|--------------------------|--------------|------------------|------|-------------------------------|---|
| 방사성 표지한 DNA (^{32}P) | | | | 아랫부분의 세균: 검출 새로운 파지: 검출 | |

DNA의 구조

1) DNA의 기본 구성 단위

당(5탄당인 디옥시리보스)·인산·염기로 이뤄진 뉴클레오타이드

| | |
|--------------|-----------------|
| 퓨린: 아데닌, 구아닌 | 피리미딘: 타이민, 사이토신 |
|--------------|-----------------|

2) DNA 입체 구조 규명

샤가프의 법칙: A=T G=C 퓨린계 염기=피리미딘계 염기=50%

프랭클린·윌킨스의 DNA X선 회절 사진: 이중나선 구조의 단서

| | |
|--------------------------------------|--|
| 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드가 결합해 오른나사 방향으로 꼬여 있음 | 인산기가 노출된 끝은 5'말단, 수산기가 노출된 다른 쪽은 3'말단 |
| 두 가닥은 방향이 서로 반대인 역평행 구조 | 바깥쪽은 당-인산이 교대로 연결된 골격, 안쪽은 두 염기의 수소 결합 |
| 항상 퓨린 염기와 피리미딘 염기가 결합하므로 지름이 2nm로 일정 | 1회전할 때 10개의 염기쌍이 나타나며 그 길이는 3.4nm |

DNA 복제

1) DNA 복제 가설

| | |
|---------|---------------------------------------|
| 보존적 복제 | DNA 전체를 주형으로 하여 새로운 DNA를 합성됨 |
| 반보존적 복제 | DNA의 두 가닥이 풀려 각 가닥을 주형으로 상보적인 가닥이 합성됨 |
| 분산적 복제 | DNA가 작은 조각으로 잘려 각각을 주형으로 복제된 후 다시 연결됨 |

| 메셀슨과 스탈의 실험 | |
|-------------|--|
| 과정 | 대장균을 ^{15}N 이 들어 있는 배지에서 여러 세대 배양하여 ^{15}N 이 포함된 DNA를 가지는 대장균 G0를 얻는다. G0를 ^{14}N 이 들어 있는 배지에서 한 번 분열한 G1세대와 두 번 분열한 G2 세대를 얻는다. 각각의 대장균에서 DNA를 추출하고 초원심 분리기로 밀도에 따라 DNA를 분리한다. |
| 결과 | <p>DNA 양</p> <p>G0: $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$, $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$</p> <p>G1: $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$</p> <p>G2: $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$</p> |
| 결론 | DNA는 반보존적으로 복제된다. |

2) DNA 복제 과정

| | | |
|-----------|---|---|
| 이중 나선 풀림 | 복제 원점에서 헬리케이스의 작용으로 이중 나선이 두 가닥으로 풀어진다. | |
| 프라이머 합성 | 프라이머를 합성해 DNA 중합 효소가 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킬 수 있도록 3'말단의 수산기를 제공한다. | |
| 새로운 가닥 합성 | 합성 | DNA 중합 효소가 주형 가닥과 상보적인 염기를 갖는 뉴클레오타이드를 결합시킨다. 3'말단 수산기와 새로 첨가되는 뉴클레오타이드의 5'말단의 인산기가 2개의 인산이 떨어져는 에너지를 동력으로 결합한다. ∴ 새로운 가닥은 5'에서 3' 방향으로(주형 가닥 기준으로는 3'에서 5' 방향으로) 합성된다. |
| | 선도 가닥 | 복제 방향(복제 분기점의 진행 방향)으로 연속적으로 합성된다. |
| | 지연 가닥 | 복제가 진행되는 방향과 반대 방향으로 짧은 가닥이 불연속적으로 합성된다. |

7. 유전자 발현

유전자와 단백질

1) 유전자의 기능

| 개로드의 알칼톤뇨증 | |
|--|--|
| 알칼톤뇨증은 유전병이며 알칼톤뇨증 환자는 알칼톤을 분해하는 효소를 만드는 능력을 물려받지 못했다 주장함 | |
| 유전자가 화학 반응의 촉매 역할을 하는 효소를 만들어 냈으로써 유전 형질을 나타낸다는 가설을 처음으로 제안함 | |

| 비들과 테이텀의 붉은빵곰팡이 실험 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|-----|----|----|----|------|----|----|----|
| 과정 | 붉은빵곰팡이의 포자에 X선·자외선을 쬐어 영양 요구성 돌연변이주 I, II, III형을 만들었다. 최소 배지에 오르티닌, 시트룰린, 아르지닌 중 하나를 첨가하여 성장 여부를 확인했다. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 결론 | <p>각 돌연변이주가 최소 배지에서 생존하지 못하는 것은 아르지닌 합성의어느 한 단계에 관여하는 효소와 관련된 유전자에 돌연변이가 일어났기 때문이다.</p> <p>전구 물질 → 오르티닌 → 시트룰린 → 아르지닌</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>배지</th> <th>최소 배지</th> <th>최소 배지 + 오르티닌</th> <th>최소 배지 + 시트룰린</th> <th>최소 배지 + 아르지닌</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>아생형</td> <td>자람</td> <td>자람</td> <td>자람</td> <td>자람</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">돌연변이주</td> <td>I형</td> <td>자람</td> <td>자람</td> <td>자람</td> </tr> <tr> <td>II형</td> <td>자람</td> <td>자람</td> <td>자람</td> </tr> <tr> <td>III형</td> <td>자람</td> <td>자람</td> <td>자람</td> </tr> </tbody> </table> | 배지 | 최소 배지 | 최소 배지 + 오르티닌 | 최소 배지 + 시트룰린 | 최소 배지 + 아르지닌 | 아생형 | 자람 | 자람 | 자람 | 자람 | 돌연변이주 | I형 | 자람 | 자람 | 자람 | II형 | 자람 | 자람 | 자람 | III형 | 자람 | 자람 | 자람 |
| 배지 | 최소 배지 | 최소 배지 + 오르티닌 | 최소 배지 + 시트룰린 | 최소 배지 + 아르지닌 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 아생형 | 자람 | 자람 | 자람 | 자람 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 돌연변이주 | I형 | 자람 | 자람 | 자람 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | II형 | 자람 | 자람 | 자람 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | III형 | 자람 | 자람 | 자람 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|---------------|--|
| 1유전자 1효소설 | 위 실험을 바탕으로 비들과 테이텀은 한 가지 유전자는 한 가지 효소의 합성에 관한 정보를 갖는다 주장함 |
| 1유전자 1단백질설 | 유전자가 효소 외의 단백질 합성에도 관여하는 경우 발견 → 하나의 유전자는 하나의 단백질 합성에 관여함 ex) 인슐린, 케라틴 |
| 1유전자 1폴리펩타이드설 | 2종류 이상의 폴리펩타이드로 구성된 단백질 발견 → 하나의 유전자는 하나의 폴리펩타이드 합성에 관여함 |

유전 정보의 흐름

1) 유전 부호

3염기 조합: 한 조가 되어 하나의 아미노산을 지정하는 DNA 상의 3개의 염기

코돈: DNA의 3염기 조합에 의해 전사된 mRNA 상의 3개의 염기로 이뤄진 유전부호

2) 중심 원리

유전 물질인 DNA는 복제됨 → DNA의 유전 정보가 mRNA로 전달(전사) → mRNA의 정보가 단백질로 합성됨(번역)

전사

| | |
|----|--|
| 개시 | DNA 프로모터에 RNA 중합 효소 결합 → 이중가닥이 풀어짐 → 한쪽 가닥을 주형으로 전사 시작 |
| 신장 | DNA를 풀어가며 주형가닥의 3'→5' 방향으로 이동하며 주형가닥과 상보적인 뉴클레오타이드 연결하며 RNA 합성 |
| 종결 | RNA 중합 효소가 DNA의 종결 자리에 도달하여 DNA로부터 분리됨 |

mRNA 가공: 진핵세포에 전사된 RNA는 가공 과정을 거친다.

처음 RNA에는 단백질 정보가 들어 있는 엑손과 들어 있지 않은 인트론이 교대로 나열돼 있는데 가공을 통해 인트론을 자른다

번역

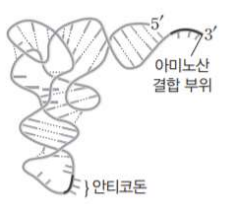
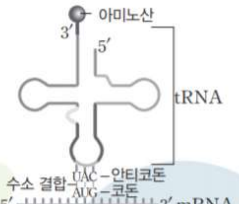
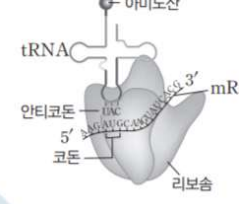
1) 유전부호 해독 실험

| | |
|----|---|
| 과정 | 대장균으로부터 mRNA 외의 단백질 합성계를 추출한다. 폴리 U RNA, 폴리 A RNA, 폴리 C RNA를 넣고 합성되는 폴리펩타이드를 조사한다. 2종류 또는 3종류의 다른 염기 조합을 이용해 무작위적으로 합성된 RNA로부터 만들어진 폴리펩타이드의 유전 부호 추론 |
| 결과 | 폴리 U RNA를 넣었을 때는 페닐알라닌만이 발견된다. |
| 결론 | UUU는 페닐알라닌을 지정한다. |

이후 리보솜과 아미노산-tRNA 복합체에 mRNA의 코돈이 상보적으로 붙는 것을 확인해 유전부호를 완전히 해독함
유전부호는 거의 모든 생명체에서 동일하다.

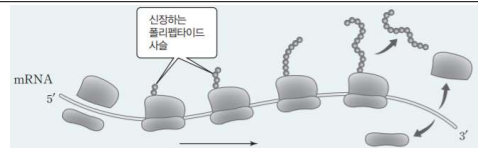
| | | 두 번째 염기 | | | | |
|---------|---|--|-------------------------------|---|--|------------------|
| | | U | C | A | G | |
| 첫 번째 염기 | U | UUU 페닐알라닌 UUC UUA 류신 UUG | UCU 세린 UCC UCA UCG | UAU 타이로신 UAC UAA 종결 코돈 UAG 종결 코돈 | UGU 시스테인 UGC UGA 종결 코돈 UGG 트립토판 | U C A G |
| | C | CUU 류신 CUC CUA CUG | CCU 프롤린 CCC CCA CCG | CAU 히스티딘 CAC CAA 글루타민 CAG | CGU 아르자닌 CGC CGA CGG | U C A G |
| | A | AUU 아이소류신 AUC AUA 메싸이오닌 (개시 코돈) AUG | ACU 트레오닌 ACC ACA ACG | AAU 아스파라진 AAC AAA 라이신 AAG | AGU 세린 AGC AGA 아르자닌 AGG | U C A G |
| | G | GUU 발린 GUC GUA GUG | GCU 알라닌 GCC GCA GCG | GAU 아스파르트산 GAC GAA 글루탐산 GAG | GGU 글리신 GGC GGA GGG | U C A G |

2) 폴리펩타이드 합성 기구

| mRNA | tRNA | 리보솜 |
|--|---|--|
| 폴리펩타이드 합성 시 리보솜과 결합해 mRNA-리보솜 복합체 형성 | 안티코돈: mRNA의 코돈과 상보적 안티코돈에 따른 특정 아미노산이 3'말단에 결합 | rRNA: 핵 속에서 전사되며 리보솜 단백질과 결합해 리보솜의 각 단위체가 만들어진 후 세포질로 이동 소단위체: mRNA 결합 부위 있음 대단위체: tRNA 자리(A), 신장되는 폴리펩타이드 tRNA 자리(P), tRNA가 나가기 전에 잠깐 있는 자리(E) 존재 |
|  |  |  |

3) 번역 과정

| | |
|----|--|
| 개시 | mRNA와 리보솜 소단위체 결합 → mRNA의 개시 코돈에 Met이 붙어있는 tRNA 결합 → 리보솜 대단위체가 결합(tRNA는 P자리에) |
| 신장 | 두 번째 tRNA가 리보솜의 A자리로 들어와 안티코돈과 코돈이 수소 결합 → P자리에 있던 Met이 tRNA와 분리돼 A자리의 아미노산과 펩타이드 결합 → 리보솜이 mRNA를 따라 하나의 코돈만큼 5'→3' 이동해 P자리는 E자리로 A자리는 P자리로 → 반복 |
| 종결 | A자리가 종결 코돈에 이르면 상보적으로 결합할 수 있는 tRNA가 없어 종결 리보솜은 각각 단위체로 분리되고 mRNA, tRNA도 분리되며 폴리펩타이드 사슬이 방출된다. |

| 폴리솜 | |
|---|--|
| 리보솜이 개시 코돈을 벗어나면 새로운 리보솜이 결합가능 하나의 mRNA에 여러 리보솜 결합하면 단시간에 많은 양 합성 가능 |  |

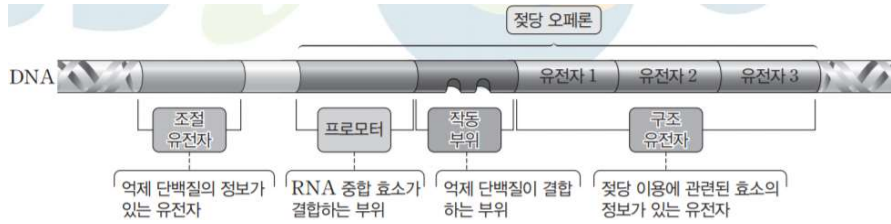
8. 유전자 발현의 조절

원핵생물의 유전자 발현 조절

1) 젓당 오페론의 구조

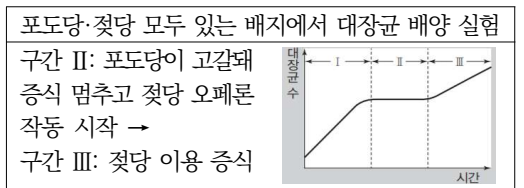
오페론: 하나의 프로모터와 여러 유전자를 포함하는 유전자 조절 단위

젓당 오페론: 젓당 이용에 관련된 세 효소의 유전자는 염색체에서 같은 프로모터 아래에 이어져있고 하나의 mRNA로 전사된다.



조절 유전자는 항상 발현되며, 젓당 오페론에 포함되지 않는다.

배지에 포도당이 있으면 이용하고 포도당이 없고 젓당만 있으면 젓당을 이용함
 젓당을 유입하는 투과 효소·포도당과 갈락토스로 분해하는 젓당 분해 효소 등 필요
 → 포도당 이용 시 위 효소 합성이 억제되나 젓당 이용 시 급격히 증가



3) 젓당 오페론의 발현 조절

| 젓당이 없을 때 | 포도당이 없고 젓당이 있을 때 |
|--|---|
| 억제 단백질이 작동 부위에 결합해 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 방해 → 구조 유전자의 전사가 일어나지 않음 | 억제 단백질은 젓당 유도체와 결합 → 구조 변형 → 작동 부위에 결합하지 못함 → RNA 중합 효소가 프로모터에 결합 → 젓당 오페론 작동 |

진핵생물의 유전자 발현 조절

1) 발현 조절 단계

| 전사 전 조절 | 전사 조절 | 전사 후 조절(RNA 가공) | 번역 조절 |
|--|--------------------------------|---|--------------------------------|
| 염색질의 응축 정도를 변화시킴 응축 ↑ 중합 효소 접근 ↓ 전사 ↓ | 전사 인자가 전사 개시 여부와 전사 속도에 영향을 미침 | 처음 만들어진 RNA에서 인트론이 제거되고 핵막 통과할 수 있도록 변형 | mRNA의 분해 속도를 조절하여 번역을 촉진하거나 억제 |

2) 전사 개시

| 전사 인자 | 조절 부위 | 전사 개시 |
|--|--------------------------------------|---|
| 프로모터와 조절 부위에 결합해 전사 조절하는 단백질 전사 인자 종류에 따라 발현 유전자 달라질 수 있음 | 근거리와 원거리가 있음 유전자에 따라 조절 부위의 서열 다름 | 여러 전사 인자가 프로모터에 결합해 전사 개시 복합체 형성 → RNA 중합 효소가 전사 개시 가능 전사 인자의 조합에 따라 전사 개시가 촉진되는 정도 다름 |

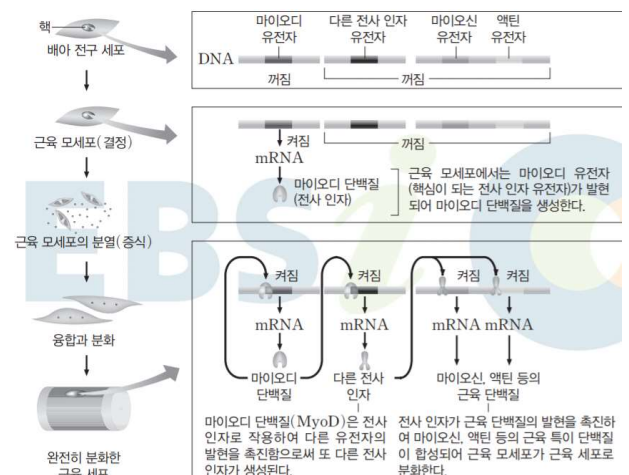
3) 전사 조절

한 개체의 체세포는 모두 동일한 유전자를 갖지만 세포 종류·시기·환경·조건에 따라 전사 인자가 달라지므로 유전자 발현이 다름
 또 유전자의 조절 부위가 필요로 하는 전사 인자의 조합이 달라 유전자 발현이 조절됨

발생과 유전자 조절

1) 세포 분화와 유전자 발현의 조절

| | |
|-------|---|
| 세포 분화 | 수정란의 세포 분열로 생성된 세포들은 발생 과정을 거쳐 형태와 기능이 서로 다르나 유전체는 같은 다양한 세포들이 됨 유전자의 선택적 발현 → 세포 분화와 형태 형성 가능 |
| 결정 | 전구 세포로부터 특정 세포로의 결정이 일어나 분화가 이루어짐 결정이 일어나면 특정 세포로만 분화 가능 |



2) 핵심 조절 유전자

| 조절 유전자 | 핵심 조절 유전자 |
|--|--|
| 전사 인자와 같은 유전자 발현에 대한 조절 단백질을 암호화하는 유전자 | 진핵생물의 발생 과정: 전사 인자가 조절 유전자를 발현해 다른 전사 인자가 합성되는 연쇄적 과정 일어남 핵심 조절 유전자: 특정 세포 분화나 기관 형성 등의 과정에서 가장 상위의 조절 유전자 ex) MyoD 유전자 ex) 분화가 끝난 섬유아세포도 핵심 조절 유전자를 인위적으로 발현시키면 다른 세포로 분화함 |

3) 유전자 발현의 공간적 차이에 의한 형태 형성

| 형태 형성 | 혹스 유전자 | 동물계의 혹스 유전자 |
|--|---|--|
| 배아가 개체의 형태를 형성해 가는 과정 수많은 세포 분열·세포 분화가 일어나며 관여하는 다양한 유전자가 순차적으로 발현 | 배아의 각 체절에 만들어질 기관을 결정하는 핵심조절유전자 체절에 따라 발현되는 혹스 유전자가 다름 초파리는 여러 개의 혹스 유전자가 모두 하나의 염색체에 있고 각각이 결정하는 체절과 같은 순서로 배열됨 혹스 유전자의 중요성은 많은 돌연변이 연구로 밝혀짐 | 혹스 유전자는 많은 생물에서 공통적으로 발견 ex) 사람과 생쥐 혹스 유전자가 4개의 염색체에 있는데 종류와 순서가 초파리와 비슷 혹스 유전자는 매우 많은 동물군에서 나타남 -> 동물들이 공통 조상에서 유래함 |

4) 호메오박스

혹스 유전자들에서는 180개의 매우 유사한 서열의 염기쌍이 나타나는데 이를 호메오박스라고 함

혹스 유전자가 발현되면 호메오박스는 호메오도메인으로 번역됨

호메오도메인: 특정 유전자의 프로모터나 조절 부위에 결합

9. 생명의 기원

원시 지구의 상태

| | |
|----------|--|
| 대기 구성 성분 | 메테인, 암모니아, 수증기, 수소, 질소, 이산화탄소 + 산소 없음 |
| 풍부한 에너지원 | 운석 충돌, 화산활동으로 인한 열에너지 오존층이 없어 강한 자외선과 우주 방사선으로 인한 복사 에너지 불안정한 대기로 인한 번개와 같은 방전 현상에 의한 전기 에너지 |

원시 생명체의 탄생 가설

1) 오파린·홀데인의 화학적 진화설

| | | | | |
|-------------|---------------|---------|-----------------------|--------|
| 원시 대기 | 간단한 유기물 | 복잡한 유기물 | 유기물 복합체 | 원시 생명체 |
| 무기물(환원성 기체) | 아미노산, 뉴클레오타이드 | 단백질, 핵산 | 코아세르베이트, 마이크로스피어, 리포솜 | |

2) 심해 열수구설

원시 지구 대기는 화산에서 방출된 이산화탄소 등 많은 산화물의 산화 작용으로 인해 유기물 존재 어려웠을 것

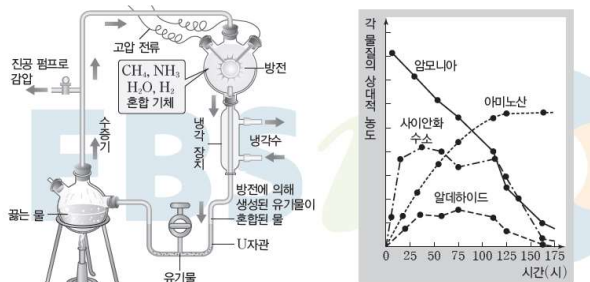
심해 열수구: 마그마로 데워진 뜨거운 해수가 해저에 분출됨

화산 활동으로 에너지가 풍부 + 간단한 유기물 합성에 필요한 수소, 암모니아, 메테인이 높은 농도로 존재

원시 생명체의 탄생

[1] 간단한 유기물의 생성

밀러와 유리의 실험



수증기 = 대기, 냉각해서 모은 곳 = 원시바다 so 유기물은 대기에서 형성되고 바다로 떨어졌을 것이다
글리신, 알라닌, 글루탐산 등의 아미노산과 사이안화 수소, 푸마르산, 젖산, 아세트산 등 발견

[2] 복잡한 유기물의 생성

원시 바다에 축적된 간단한 유기물이 농축되어 복잡한 유기물 형성

폭스의 실험: 20여 종의 아미노산을 혼합하고 고압 상태에 두면 아미노산 중합체 합성됨

[3] 유기물 복합체의 형성

복잡한 유기물 → 유기물 복합체

| 코아세르베이트(오파린) | 마이크로스피어(폭스) | 리포솜 |
|-----------------------|-------------------|-------------|
| | | |
| 유기물이 농축돼 액상의 막으로 둘러싸임 | 아미노산의 중합체 → 액체 방울 | 인지질이 뭉쳐 2중층 |

다른 복합체와 합쳐지기도 하고, 커지면 둘로 나뉘기도 함

1) 막 형성의 중요성

막 내부를 외부 환경으로부터 분리, 생명 활동의 안정성과 지속성

막 내부의 물질대사에 필요한 물질을 선택적으로 흡수·방출

2) 유전 물질과 효소

자기 복제와 물질대사에 필요한 유전 물질·효소가 있는 원시 생명체 출현

| | | | |
|-------|----------|-------|--|
| | 단백질 | DNA | RNA |
| 유전 정보 | 저장·전달 못함 | 저장 | 저장·전달 |
| 효소 | 가능함 | 가능 못함 | 일부 가능(리보자임) 입체 구조 만들고 짧은 RNA 상보적 복제 가능 |

3) RNA 우선 가설

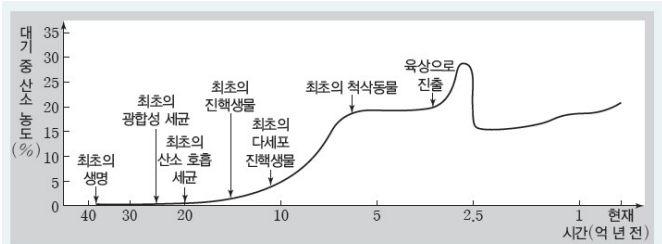
| | | |
|--------------------|---------------------------|---|
| RNA에 기반을 둔 생명체(최초) | RNA와 단백질에 기반을 둔 생명체 | DNA에 기반을 둔 오늘날의 생명체 |
| RNA만으로 유전 정보 저장·효소 | RNA가 유전 정보 저장·전달, 단백질이 효소 | DNA가 유전 정보 저장, RNA가 전달, 단백질이 효소 DNA가 RNA보다 화학적으로 안정한 이중나선 구조 |

원시 생명체의 진화

| 무산소 호흡 중속 영양 생물 | 광독립 영양 생물 | 산소 호흡 중속 영양 생물 |
|---|---|--|
| 최초의 생명체 39억 년 전에 바다에서 출현 원시 대기에는 산소 없고 바다에는 유기물 풍부 → 무산소 호흡으로 유기물을 분해해 E 얻음 → 대기 CO ₂ ↑ · 바다 유기물 ↓ | 대기 CO ₂ ↑ · 바다 유기물 ↓ → 유기물 스스로 합성하는 광합성 세균 출현 → 대기 O ₂ ↑ · 바다 유기물 ↑ 산소의 증가는 바다에 녹아있는 철 이온과 반응한 붉은 색의 산화철 퇴적층으로 확인 가능 | 대기 O ₂ ↑ · 바다 유기물 ↑ → 산소 호흡하는 중속 영양 생물 → 무산소 호흡보다 효율 좋아 번성함 |

| 단세포 진핵생물 | 진핵생물의 출현 가설 |
|-------------------------|--|
| 최초의 생명체는 원핵생물 → 구조 복잡해짐 | 막 진화설: 세포막이 안으로 함입되어 소포체·골지체 등 세포 소기관으로 분화 세포내 공생설: 독립적으로 생활하던 산소 호흡 세균(먼지)과 광합성 세균(나중)이 숙주 세포(무산소 호흡 원핵생물)와 공생하다가 분화 증거: [1] mt·엽록체가 원핵생물과 유사한 고리형 DNA·리보솜을 갖고 있다. [2] 2중막 중 내막의 구조가 원핵생물과 유사하다. [3] 크기가 원핵생물과 비슷하다. |

| 다세포 진핵생물의 출현 | 육상 생물의 출현 |
|---|---|
| 독립된 단세포 진핵생물이 모여 군체를 이룸 → 환경에 적응하는 과정에서 형태와 기능이 분화 → 다세포 진핵생물 | 광합성하는 진핵생물의 출현 후 대기 중 산소 농도의 증가로 오존층이 형성되어 자외선을 차단함 → 육상으로 진출 가능 → 생물 다양성 ↑ |



10. 생물의 분류와 다양성

생물의 분류와 계통수

| | |
|--------|--|
| 분류 | 공통된 특징을 바탕으로 생물을 여러 무리로 나누어 계통을 밝힘 |
| 분류군 | 생물을 분류한 무리 |
| 생식적 격리 | 분류군 사이에 서로 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 없는 상태 |
| 계통 | 생물이 진화해 온 역사로 생물들 간의 진화적 유연관계 |
| 형태학적 종 | 형태와 구조가 비슷하여 다른 개체들과 구별되는 개체들의 무리 린네에 의해 체계화됨 |
| 생물학적 종 | 다른 종과 구별되는 공통적인 특징과 생활형을 가지며 서로 교배해 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있음 유전학·진화론의 발달에 따라 오늘날에 사용되는 개념 |
| 학명 | 국제적으로 통용되는 생물의 이름으로 국제명명규약에 따라 정해져야 인정받음 린네에 의해 제시된 이명법을 사용하며 라틴어·라틴어화해서 이탤릭체로 기록 이명법: 속명(첫 글자는 대문자) + 종소명(첫 글자는 소문자) + 명명자(생략 가능) |
| 유연 관계 | 생물종 간의 관계가 가깝거나 먼 정도 |


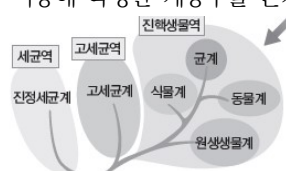
| 분류 단계 | 계통수 |
|--|--|
| 가까운 공통 조상을 공유하는 생물들은 좁은 범위의 분류군을 형성하고 vice versa 종속과목강문계 | 생물의 계통을 나뉘어 나타낸 그림으로 공통 조상에서 유래한 공통된 특징을 이용 생물의 형태·발생·지리적 분포·DNA의 염기 서열 등 진화 과정을 보여주는 다양한 형질이 이용됨 생물의 유연관계와 진화 경로 쉽게 파악 가능 가지 끝에는 현존하는 생물종·아래에는 공통 조상을 위치 분기점에서 한 공통 조상에서 두 계통이 나누어 진화함 최근의 공통 조상을 공유할수록 유연 관계가 가깝다 |

분류 체계

다양한 종을 비교해 계통적으로 관련 있는 종끼리 묶어 체계적으로 정리한 것

초기에는 형태와 구조의 유사성을 중심으로 → 최근에는 진화적 관계를 명확히 반영

| | |
|---|---|
| 2계 | 3계 |
| 식물계·동물계 | 현미경의 발달로 미생물이 발견되면서 식물도 동물도 아닌 것을 원생생물계 |
| 5계 | 3역 6계 |
| 전자현미경의 발달로 핵막 없는 원핵생물계가 원생생물계에서 분리 식물의 영양 방식을 고려해 균계가 식물계에서 분리 | rRNA의 염기 서열을 이용해 작성한 계통수를 근거로 |

고세균역은 원핵세포이지만 rRNA 염기 서열·DNA복제 과정·단백질 합성 과정이 세균역보다 진핵생물역과 유사

| 특징 | 세균역 | 고세균역 | 진핵생물역 |
|---------------|--------------|-------|----------|
| 핵막과 막성 세포 소기관 | 없다(단세포 원핵세포) | | 있다(진핵세포) |
| 세포벽의 펩티도글리칸 | 있다 | 없다 | 없다 |
| 히스톤과 결합한 DNA | 없다 | 일부 있다 | 있다 |
| 염색체 모양 | 원형 | 원형 | 선형 |

| 진정세균계 | 고세균계 |
|---|--|
| 독립 영양 생물과 종속 영양 생물이 모두 포함됨 분열법으로 증식하며 세대가 짧다 ex) 젓산균, 대장균, 남세균 | 종속 영양 생물로 대부분 극한 환경에 서식 ex) 극호염균: 고온의 화산 온천·심해 열수구에 서식 극호염균: 사해·염전 등 염분 농도가 높은 곳에서 서식 메테인 생성균: 산소가 부족한 습지·하수 처리장·심해·초식동물의 소화관에 서식 |
| 원생생물계 | 식물계 |
| 동물계·식물계·균계가 아닌 진핵생물 대부분 단세포 진핵생물이며 독립·종속 영양 생물이 모두 포함 ex) 아메바, 짙신벌레, 유글렌, 다시마, 미역 | 다세포 독립 영양 생물로 세포벽에 셀룰로스 성분이 있다 엽록소 a·엽록소 b·카로티노이드 등의 광합성 색소로 광합성해 유기물 생산 잎의 큐티클층으로 수분 손실 막음·기공은 기체 교환에 따른 수분 손실 최소화 |
| 동물계 | 균계 |
| 세포벽이 없는 다세포 종속 영양 생물 운동 기관·감각 기관 발달 → 환경 변화에 대응 잘함 운동 기관을 이용해 이동·먹이 섭취 | 종속 영양 생물(대부분 다세포)로 세포벽에 키틴 성분이 있음 균사로 이뤄진 몸·포자로 번식 ex) 버섯, 곰팡이, 효모 |

식물계의 분류

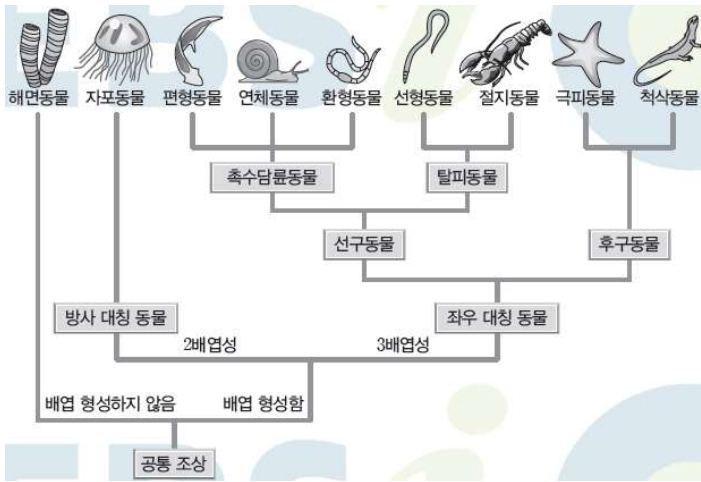
| 공통 조상 | | |
|---|---|--|
| 관다발 없음 | 관다발 있음 | |
| 비관다발 식물(선대식물) | 종자 없음 | 종자 있음 |
| 최초의 육상 식물로 수중→육상의 중간 단계를 나타냄 포자로 번식 ※포자: 다른 생식세포와 결합 없이 단독으로 발아하여 개체가 되는 생식세포 관다발 없어 물·양분 수송이 불가능→습한 곳에 서식 ex) 우산이끼, 솔이끼, 뿔이끼 | 비종자 관다발 식물 뿌리·줄기·잎의 구분이 뚜렷하고 관다발을 가짐 관다발에 형성층이 없고 헛물관·체관 가짐 그늘지고 습한 곳에서 서식하고 포자로 번식 석송식물문과 양치식물문으로 분류함 ex) 고사리, 석송, 고비, 쇠뜨기 | 종자식물 육상 생활에 가장 적응→가장 많은 종 뿌리·줄기·잎의 구분이 뚜렷 관다발이 잘 발달 단단한 껍질에 둘러싸인 종자로 번식 씨방 없음 씨방 있음 |

| 겉씨식물 | 속씨식물 | | | | |
|---|---|------|------|--------|-----------------|
| 씨방이 없어서 밑씨가 겉으로 드러남 꽃잎·꽃받침이 발달하지 않고 암수 생식 기간이 따로 형성됨 관다발은 체관·헛물관으로 이뤄짐 소철식물문, 은행식물문, 마황식물문, 구과식물문(소나무·전나무) | 밑씨가 씨방에 들어 있으며 수정 이후 종자로 발달·꽃잎과 꽃받침 발달 현재 지구에서 가장 번성한 식물·관다발은 물관과 체관으로 이뤄짐 | | | | |
| | 구분 | 떡잎 수 | 잎맥 | 관다발 배열 | 예 |
| | 외떡잎식물 | 1장 | 나란히맥 | 불규칙적 | 벼, 보리, 옥수수, 백합 |
| | 쌍떡잎식물 | 2장 | 그물맥 | 규칙적 | 해바라기, 장미, 국화, 콩 |

동물계의 분류

1) 동물계의 분류 기준

| | | | | | | | | | | |
|---|--|------------------------|-------|------|------|-------|------|------|---------|------------------------|
| 몸의 대칭성에 따른 분류 방사대칭 동물: 감각 기관이 온몸에 고르게 분포→모든 방향 자극에 반응 좌우대칭 동물: 머리·꼬리, 앞·뒤, 등·배의 방향성이 나타나고 몸의 앞쪽에 감각 기관이 집중됨 | 배엽의 수에 따른 분류 배엽: 동물의 초기 발생 과정에서 나타나는 세포층 <table border="1"> <tr> <td>무배엽성</td> <td>배엽 없음</td> <td>해면동물</td> </tr> <tr> <td>2배엽성</td> <td>외·내배엽</td> <td>자포동물</td> </tr> <tr> <td>3배엽성</td> <td>외·내·중배엽</td> <td>편형·연체·환형·선형·절지·극피·척삭동물</td> </tr> </table> | 무배엽성 | 배엽 없음 | 해면동물 | 2배엽성 | 외·내배엽 | 자포동물 | 3배엽성 | 외·내·중배엽 | 편형·연체·환형·선형·절지·극피·척삭동물 |
| 무배엽성 | 배엽 없음 | 해면동물 | | | | | | | | |
| 2배엽성 | 외·내배엽 | 자포동물 | | | | | | | | |
| 3배엽성 | 외·내·중배엽 | 편형·연체·환형·선형·절지·극피·척삭동물 | | | | | | | | |
| 원구와 입의 관계에 따른 분류 3배엽성 동물은 초기 발생 과정에서 원구의 발생 차이에 따라 분류 선구동물: 원구가 입이 되고 원구 반대쪽에 항문이 생김 후구동물: 원구가 항문이 되고 원구 반대쪽에 입이 생김 | DNA 염기 서열을 이용한 분류 DNA 염기 서열을 이용해 작성한 계통수에 따라 분류 촉수담륜동물: 촉수관(호흡·먹이 포획) 또는 담륜자 유생 시기를 가짐 탈피동물: 성장을 위해 탈피함 | | | | | | | | | |



| |
|---|
| 해면동물 무대칭성·포배 단계의 동물로 조직·기관이 분화되지 않음 대부분 바다에서 고착 생활·호흡을 일으켜 물속에 뜬 먹이를 걸러 섭취 ex) 주황해변해면, 해로동굴해면 |
| 자포동물 자세포가 있는 촉수 이용해 먹이 잡고 몸을 보호 ex) 말미잘, 산호, 해파리, 히드라 |
| 편형동물 납작한 몸 원구는 입으로 발달하지만 항문이 없다 ex) 플라나리아, 촌충, 디스토마 |

| | |
|--|---|
| 연체동물 체절 없음 부드러운 외투막으로 둘러싸인 몸·대부분 패각이 있어 몸을 보호 ex) 달팽이, 소라, 대합, 오징어, 문어 | 환형동물 긴 원통형 몸·수많은 체절 투과성이 큰 피부로 호흡·소화관 길게 발달 ex) 지렁이, 갯지렁이, 거머리 |
| 선형동물 원통형 몸·체절 없음 거의 모든 서식 환경에 존재 몸의 겉은 큐티클층으로 덮여 있어 주기적으로 탈피함 ex) 예쁜꼬마선충, 회충, 요충 | 절지동물 전체 동물 종의 대부분을 차지함 체절 존재·단단한 외골격으로 덮인 몸 성장 시 탈피함 ex) 잠자리, 나비, 개, 가지, 노래기, 지네, 거미, 전갈, 진드기 |
| 극피동물 유생은 좌우 대칭이지만 성체는 방사대칭 호흡·순환·운동의 복합적 역할을 담당하는 수관계 가짐 수관계와 연결된 관족을 움직여 운동 ex) 불가사리, 해삼, 성게 | 척삭동물 일생 또는 발생 과정 중 일정 시기에 척삭을 가짐 좌우 대칭의 체절 구조·발생 초기 등 쪽이 속이 빈 신경 다발 아가미 틈·항문 뒤 근육성 꼬리 미삭동물: 유생 시기에만 척삭이 나타났다가 없어짐 ex) 우렁쉥이 두삭동물: 일생 동안 뚜렷한 척삭이 나타남 ex) 창고기 척추동물: 발생 초기에 척삭이 나타나지만 성장하며 척추로 대체됨 |

| 척추 동물 | |
|-------------------|-------|
| 턱 있음 | 턱 없음 |
| 어류·양서류·파충류·조류·포유류 | 칠성장어류 |

| 구분 | 몸의 표면 | 호흡 기관 | 수정 방법 | 번식 |
|----------|--------|-------|-------|----|
| 어류(붕어) | 비늘 | 아가미 | 체외수정 | 난생 |
| 양서류(개구리) | 피부 | 피부, 폐 | | |
| 파충류(도마뱀) | 비늘 | 폐 | 체내수정 | |
| 조류(오리) | 깃털, 비늘 | | | |
| 포유류(개) | 털 | | | 태생 |

11. 생물의 진화

생물 진화의 증거

| 증거 | 설명 | 예시 |
|-----------|--|---|
| 화석상의 증거 | 지층 형성될 때의 생물 다양성·환경의 특성 알 수 있음 → 환경 변화·생물 진화를 보여주는 가장 직접적 증거 | 고래 화석: 현생 고래는 뒷다리가 흔적만 있지만 고래 조상종의 화석엔 온전한 뒷다리 존재 → 육상 생활을 하던 포유류의 일부가 고래로 진화했다. |
| 비교해부학적 증거 | 형태적 특징을 비교하면 공통 조상을 가지는지, 서로 다른 조상으로부터 진화했는지 알 수 있다. 상동 형질(기관): 공통 조상에게 물려받은 형태적 특징 상사 형질(기관): 공통 조상에게 물려받지 않았지만 유사해진 형태적 특징 흔적 기관: 현재는 과거의 기능을 수행하지 않고 흔적만 | 상동 형질: 척추동물은 척추를 공통으로 가진다. 척추동물의 앞다리는 생김새와 기능은 다르지만 해부학적 구조와 발생 기원이 같다. → 공통 조상에서 다양하게 진화함 상사 형질: 새와 곤충의 날개는 발생 기원 다르나 형태·기능 비슷 → 비슷한 환경에 적응하면서 유사한 형질을 갖도록 진화 흔적 기관: 사람의 꼬리뼈 |
| 진화발생학적 증거 | 유연관계가 가까운 새물들을 발생 초기 단계에서 성체에서는 보이지 않는 유사한 특징이 나타남 | 척추동물의 발생 초기 배이는 형태가 유사하고 아가미 틈이 보임 |
| 생물지리학적 증거 | 같은 종의 생물이 지리적 격리되어 독자적으로 진화 → 생물의 분포가 지역마다 독특하게 나타남 | 캥거루 등 지리적으로 인접한 호주·남미 대륙에 대부분 분포 갈라파고스 군도엔 섬마다 부리 모양 조금씩 다른 핀치 존재 |
| 분자진화학적 증거 | DNA 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열 비교. 서열이 차이가 클수록 오래전에 공통 조상에서 분화 | 미토콘드리아 사이토크롬 c 아미노산 서열 척추동물의 글로빈 단백질 아미노산 서열 |

개체군 진화의 원리

과잉생산 → 변이 → 생존경쟁 → 적자생존 → 자연선택

개체군: 같은 지역에 서식하는 같은 종에 속한 개체들의 모임

유전자풀: 한 집단 내 개체들이 갖는 대립유전자 전체 (개체가 100개면 유전자풀 내 대립유전자는 200개)

$$\text{대립유전자 빈도} = \frac{\text{특정 대립유전자 수}}{\text{전체 대립유전자 수}}$$

1) 멘델 집단

하디-바인베르크 법칙: 시간이 흘러도 대립유전자와 유전자형 빈도가 변하지 않는다

하디-바인베르크 법칙 따름 = 유전적 평형 이름 = 멘델 집단

| 멘델 집단의 조건 | |
|------------------------------|------------------|
| 집단이 충분히 큼 | 개체 간 무작위 교배 일어남 |
| 돌연변이, 집단 사이의 유전자 흐름, 자연선택 없음 | 개체들의 생존력과 생식력 같음 |

2) 유전자풀의 변화 요인

| | |
|--------|---|
| 돌연변이 | 방사선, 화학 물질, 바이러스 등으로 DNA 염기 서열에 변화가 생겨 새로운 대립유전자가 나타남 |
| 유전적 부동 | 집단의 크기가 작을 때, 자손에게 자신이 갖는 대립유전자 중 하나를 무작위로 전달 → 다음 세대 대립유전자 빈도 예측 불가능 |
| 병목 현상 | 지진/화재 등 → 집단의 크기가 급격히 작아짐 |
| 창시자 효과 | 원래 집단에서 일부 개체가 모여 새로운 집단을 형성할 때 대립유전자 빈도 달라짐 |
| 자연선택 | 생존·번식에 유리한 형질의 개체가 더 많은 대립유전자를 남겨 유전자풀이 변화 |
| 유전자 흐름 | 두 집단 간 개체의 이주나 배우자의 이동으로 새로운 대립유전자 도입, 유전자풀이 변화 |

종분화

한 종에 속했던 두 집단 사이에서 생식적 격리가 일어나 새로운 종이 생겨나는 과정

1) 지리적 격리: 물, 산맥과 같은 지리적 장벽에 의해 유전적 교류가 사라짐 → 독자적 진화 과정 → 자신만의 유전자 풀
지리적 장벽이 제거돼도 생식적으로 격리되어 서로 다른 종으로 분화

ex) 그랜드 캐니언의 영양다람쥐: 해리스영양다람쥐와 흰꼬리영양다람쥐는 같은 종이었으나 협곡의 생성으로 분화됨

2) 고리종: 어느 한 종으로 이루어진 여러 집단이 고리 모양으로 분포하는 상황에서 지리적으로 인접한 집단 간 생식적 격리가 없어 교배를 통한 유전자 흐름 일어남. 그러나 고리 양쪽 끝의 두 집단은 인접해있지만 생식적 격리 일어남

ex) 캘리포니아 엔사티나도롱뇽: 계곡의 가장자리를 따라 고리 형태로 분포

12. 생명 공학 기술과 인간 생활

생명 공학 기술의 활용

1) 유전자 재조합 기술

DNA의 특정 염기서열을 인식하여 자르는 제한 효소와 DNA 연결 효소로 재조합 DNA를 만들어 세포에 넣어 발현시키는 기술

| | |
|---------------|--|
| 유용한 물질 생산 | 제한 효소로 DNA 절단: 운반체 DNA(대장균에서 추출한 플라스미드)와 유용한 DNA에 적절한 제한 효소 처리해 자른 연결 효소로 DNA 연결: 잘린 운반체 DNA와 유용한 DNA가 연결됨 |
| 형질 전환된 대장균 선별 | <p>앰피실린 저항성 유전자·젓당 분해 효소 유전자가 있는 플라스미드 이용</p> <p>플라스미드: 세균과 효모에서 자신의 염색체 외에 추가로 존재하는 원형 DNA로 조작·세포 내로 유입 쉬움</p> <p>[1] 플라스미드가 도입된 대장균은 앰피실린 배지에서 증식</p> <p>[2] 이 대장균과 유용한 유전자를 제한 효소로 잘라 DNA 연결 효소로 연결 → 젓당 분해 효소 대신 유용한 유전자가 존재하는 재조합된 플라스미드와 재조합되지 않은 플라스미드 존재</p> <p>[3] 플라스미드를 대장균에 주입 → 플라스미드 주입 안 된 대장균 A, 재조합된 플라스미드가 주입된 B, 재조합되지 않은 플라스미드가 주입된 C 생김</p> <p>[4] 젓당 분해 효소에 분해되면 푸른색으로 변하는 물질(X-gal), 앰피실린이 들어있는 배지에서 배양하면 C 선별 가능</p> |

2) 핵치환

핵 제거한 난자에 체세포의 핵 이식하고 전기 자극 주어 난할시킴 → 대리모 체내에서 발생시킴 → 유전적으로 같은 복제 동물 멸종 위기 동물 보존·우수한 형질을 가진 동물을 보존·형질전환 복제 동물로부터 유용한 물질 생산 가능

3) 조직 배양

생물체에서 떼어낸 세포나 조직을 배양액이나 영양 배지에서 증식

| | |
|-------|--|
| 동물 세포 | 세포의 구조와 기능을 밝히는 연구에 활용·호르몬 생산·항체 생산 |
| 식물 세포 | <p>어버이와 형질이 똑같은 식물체 만들 수 있음 → 대량 생산 가능</p> <p>번식 능력이 약한 식물을 인공적으로 증식 가능</p> <p>조직의 일부를 분리 → 영양배지에서 키움 → 캘러스 → 캘러스로부터 형성된 배 → 배지에서 배양해 기관 키움 → 개체</p> |

4) 세포 융합

서로 다른 두 종류의 세포를 융합시켜 원하는 특성을 모두 가진 잡종 세포 만들

식물의 품종 개량·단일 클론 항체의 생산·질병 진단·암 치료에 활용

토마토와 감자의 세포벽 제거 → 원형질체 융합 → 잡종 세포 → 조직 배양 → 포마토

5) PCR

DNA 변성(90~95도) → 프라이머 결합(50~60도) → DNA 합성(72도)

생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료

1) 단일 클론 항체

| | |
|-------|--|
| 생산 과정 | <p>[1] B림프구(항체 생산·수명 짧음·분열 계속 안함)와 암세포(반영구적 분열)를 융합해 잡종 세포를 만든다.</p> <p>[2] 잡종 세포만 선별해주는 배지를 이용해 한 종류의 항체를 반영구적으로 생산하는 잡종 세포를 얻는다.</p> |
| 치료 | 특정 암세포와 결합하는 단일 클론 항체에 항암제를 결합해 투여 |

2) 유전자 치료

유전적 결함이 있는 사람에게 정상 유전자를 넣음

정상 유전자를 바이러스(DNA 운반체)에 삽입 → 환자의 골수 세포에 정상유전자 도입 → 도입된 골수 세포를 환자의 골수에 이식

3) 줄기세포

| | | |
|----------|---|-------------------------------|
| 배아 줄기세포 | 수정란에서 유래한 배아의 배반포의 내세포 덩어리에서 얻은 줄기세포 | 모든 세포·조직으로 분화 가능, 면역 거부 반응× |
| 성체 줄기세포 | 땀줄 혈액·성체 골수에서 얻은 줄기세포 | 분화할 수 있는 세포의 종류가 한정적 |
| 역분화 줄기세포 | 분화가 끝난 체세포를 역분화 시킴 | 다양한 세포로 분화 가능, 면역 거부 반응×, 윤리적 |
| 치료 | 줄기세포를 이용해 훼손된 조직을 대체할 수 있는 세포와 조직을 대량으로 얻어 난치병 치료 | |

생명 공학 기술과 생명 윤리

인류의 생활 향상에 크게 기여할 수 있지만 생태계 교란·생물 다양성 파괴·생명 윤리에 대한 논쟁 등 많은 문제 발생 가능

유전자 변형 생명체(LMO)는 식량·의약품 생산 등 유용하지만 생태계와 인류에 미칠 영향이 불확실