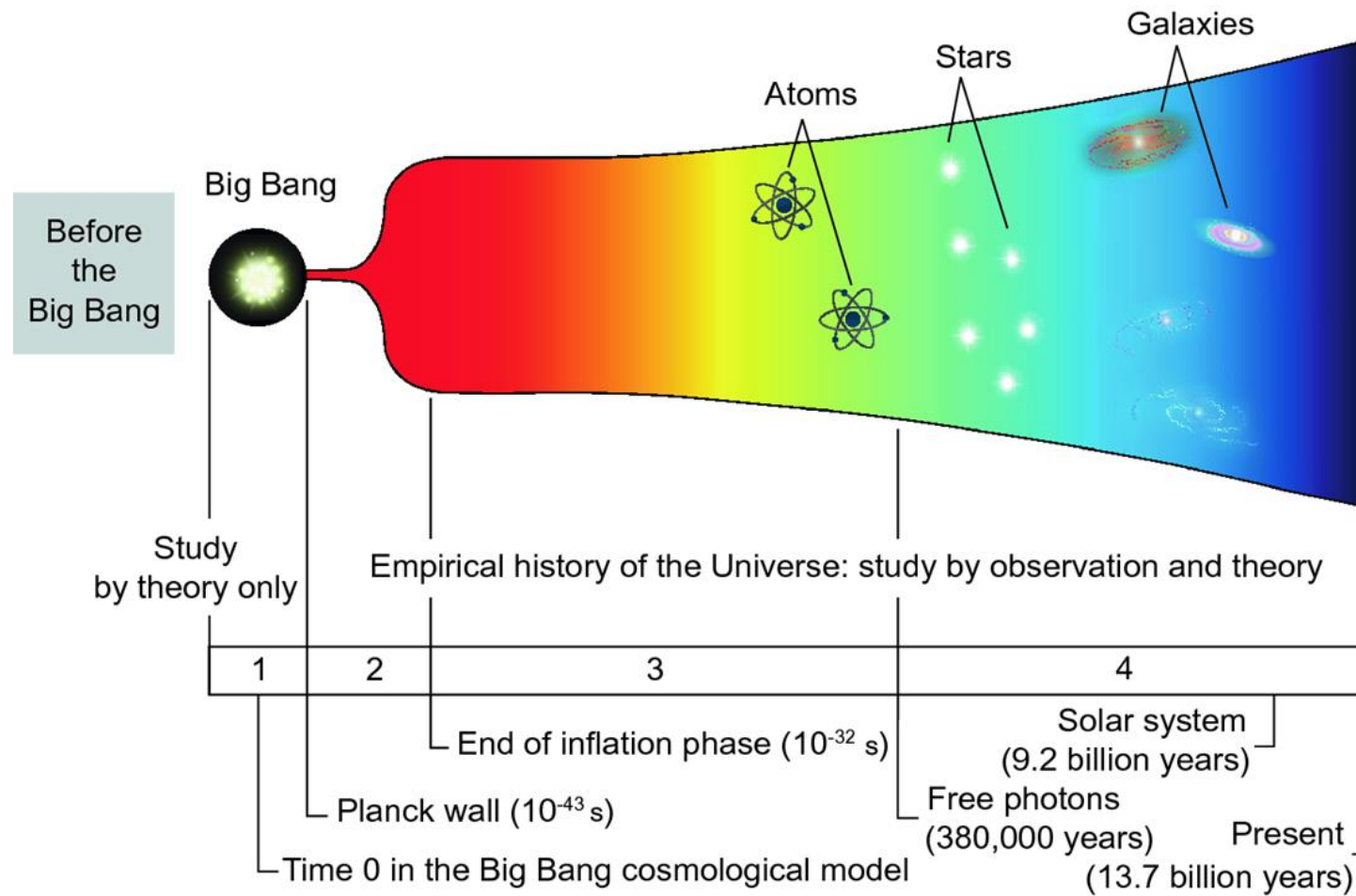


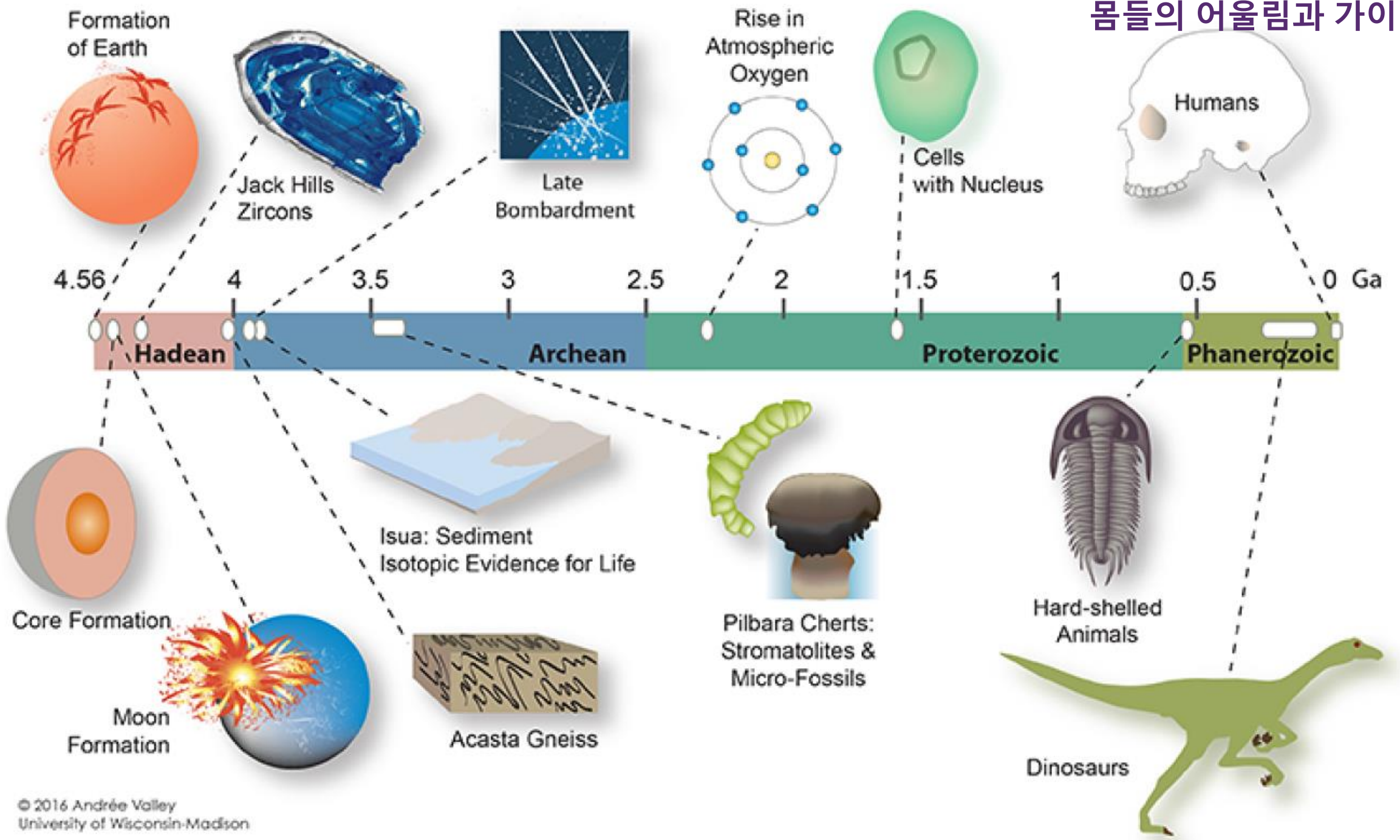


몸들의 어울림과 가이아 Entangled Life and Gaia

강원대학교 명예교수 전방욱

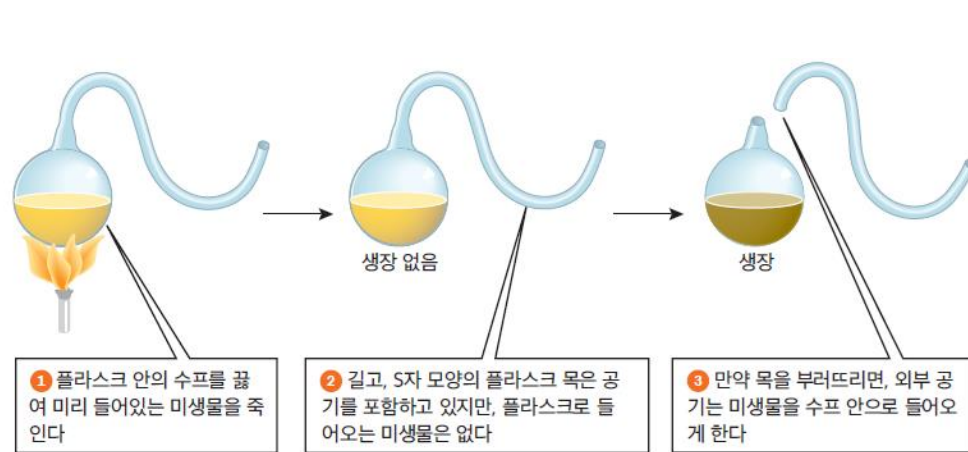
우리는 별의 먼지다



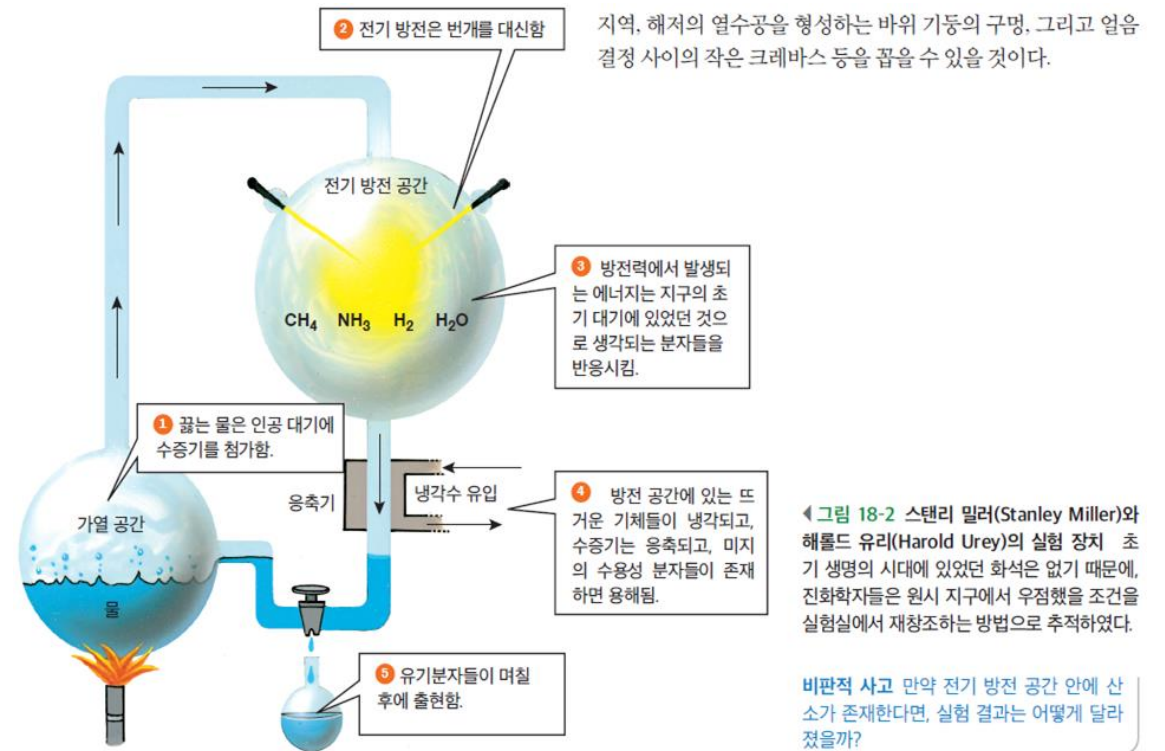


Tale of two flasks

▶ Louis Pasteur와 Stanley Miller의 플라스크



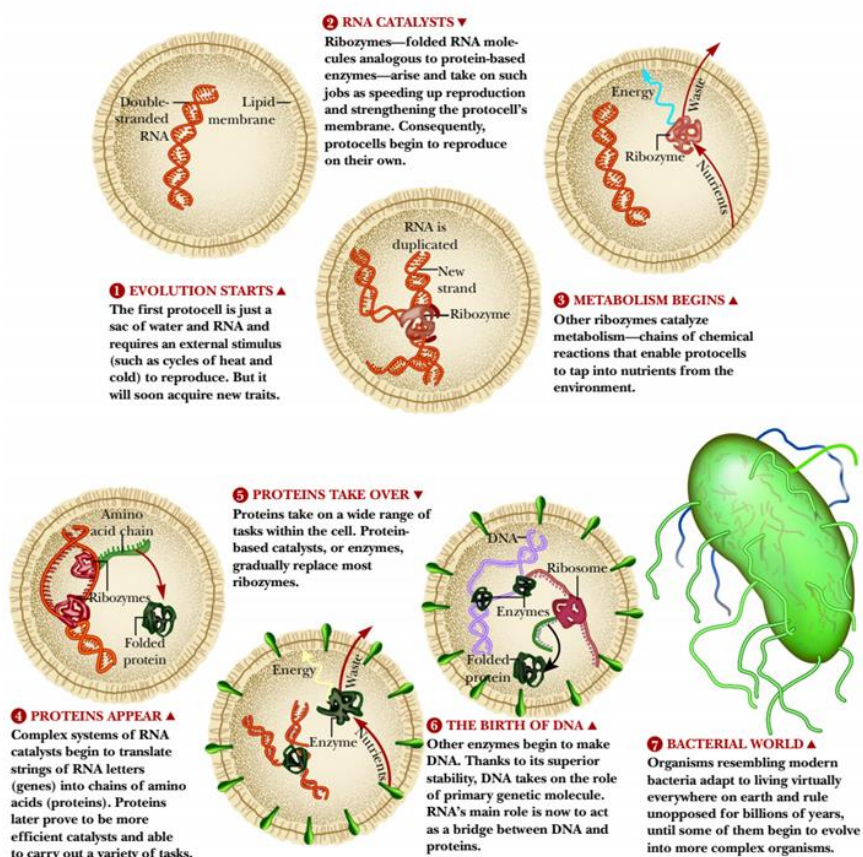
▲ 그림 18-1 자연발생설 비판 루이 파스퇴르(Louis Pasteur)의 실험은 수프에서 미생물의 자연발생이 불가능함을 증명하였다.



◀ 그림 18-2 스탠리 밀러(Stanley Miller)와 해롤드 유리(Harold Urey)의 실험 장치 초기 생명의 시대에 있었던 화학은 없기 때문에, 진화학자들은 원시 지구에서 우점했을 조건을 실험실에서 재창조하는 방법으로 추적하였다.

비판적 사고 만약 전기 방전 공간 안에 산소가 존재한다면, 실험 결과는 어떻게 달라졌을까?

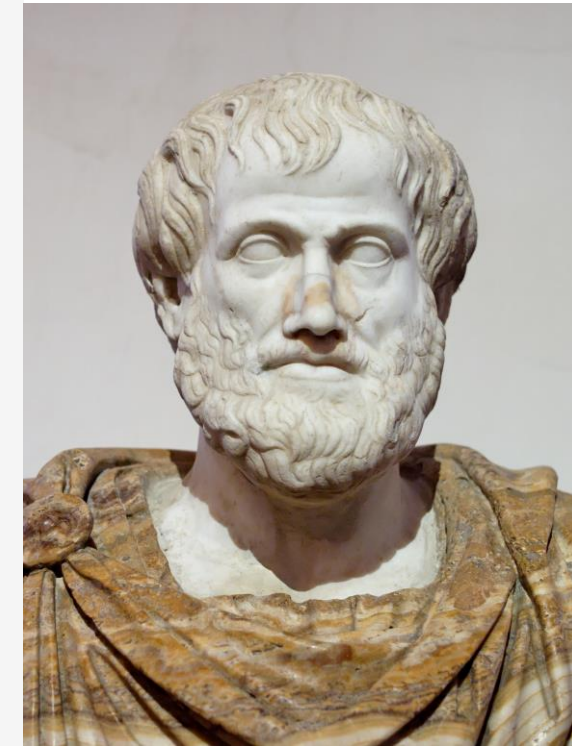
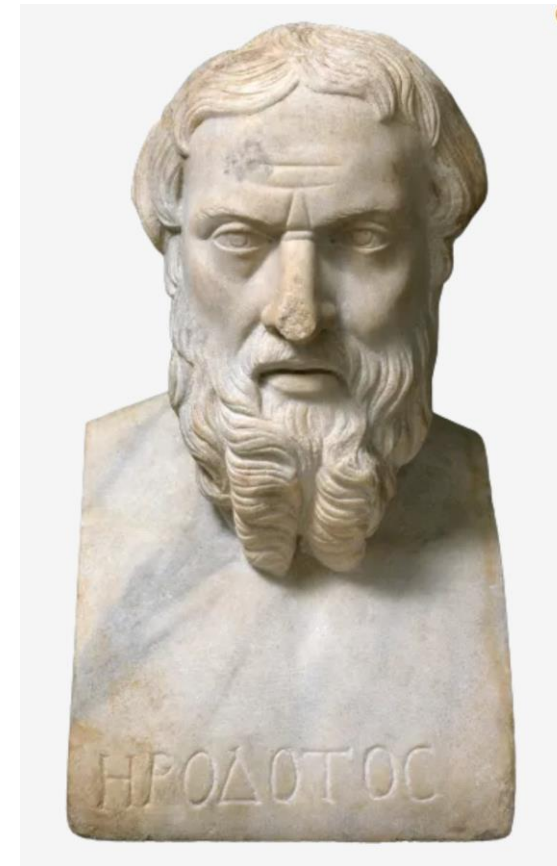
박테리아 세포의 출현



- 이중 가닥 RNA가 지질막으로 둘러싸인 원시세포, 외부의 온냉 주기로 증식. 진화의 개시
- 리보자임(RNA 효소)이 RNA 복제와 막 형성의 촉매 역할 담당, 원시세포가 증식
- 리보자임이 대사의 촉매 역할을 담당
- RNA로부터 단백질 합성
- 단백질이 리보자임을 대신하여 촉매 역할을 담당
- RNA 대신에 DNA가 유전정보의 역할을 담당
- 박테리아 등장

공생의 사례

- 악어와 이집트물떼새
- 코뿔소와 진드기잡이새
- 개미와 진딧물
- 지의류를 형성하는 조류와 균류의 조합
- 남조류(Anabaena)와 개구리밥(Azolla) 사이의 결합
- 소철류 뿌리 가지에 남조류 뿌리혹 형성
- 하등 동물 내의 광합성 조류
- 콩과 식물의 뿌리혹에서 질소를 고정하는 박테리아
- 산림 수목이나 난초의 근균과 결합한 균류



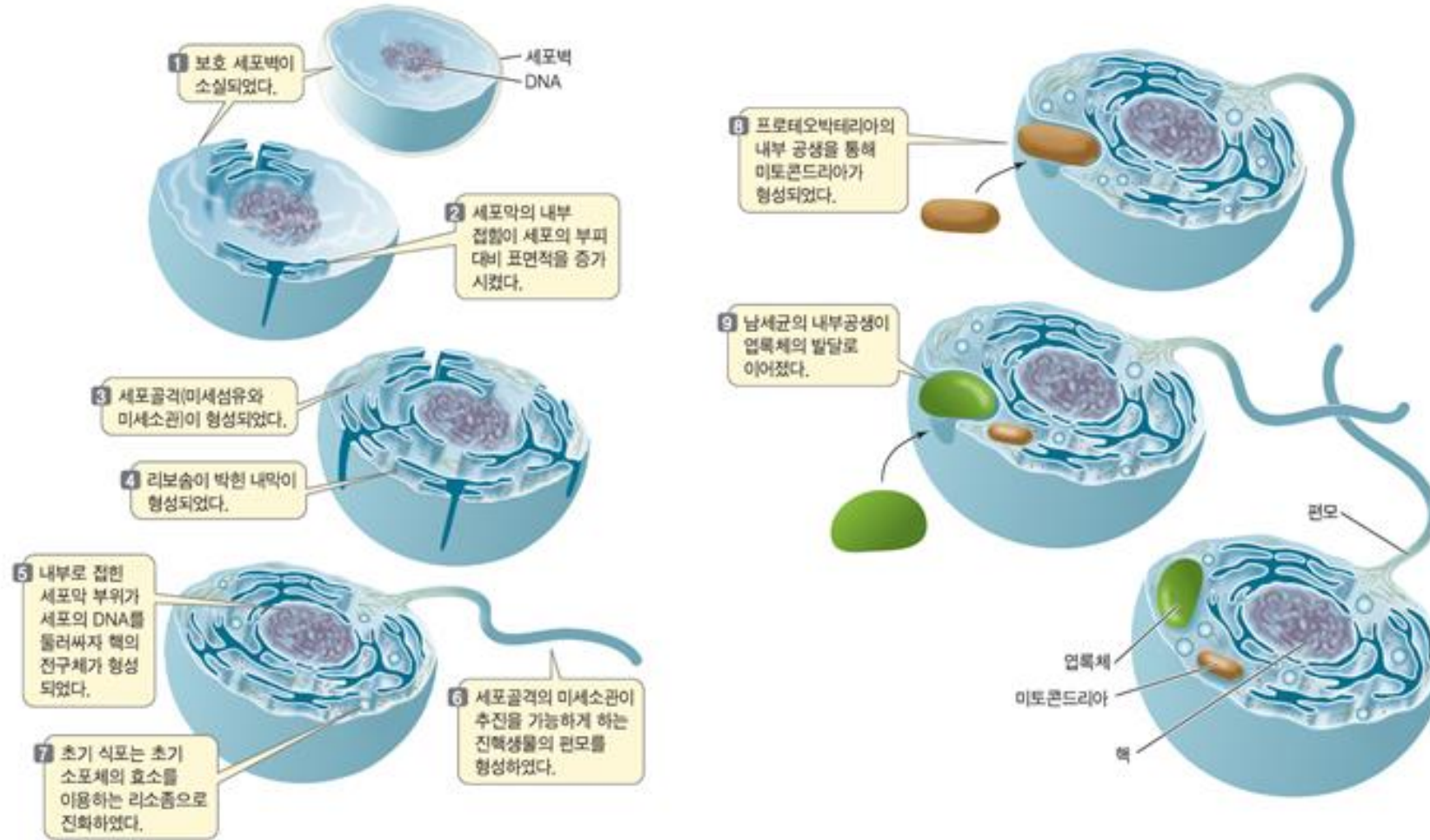
린 마굴리스의 공생적 생명 개념



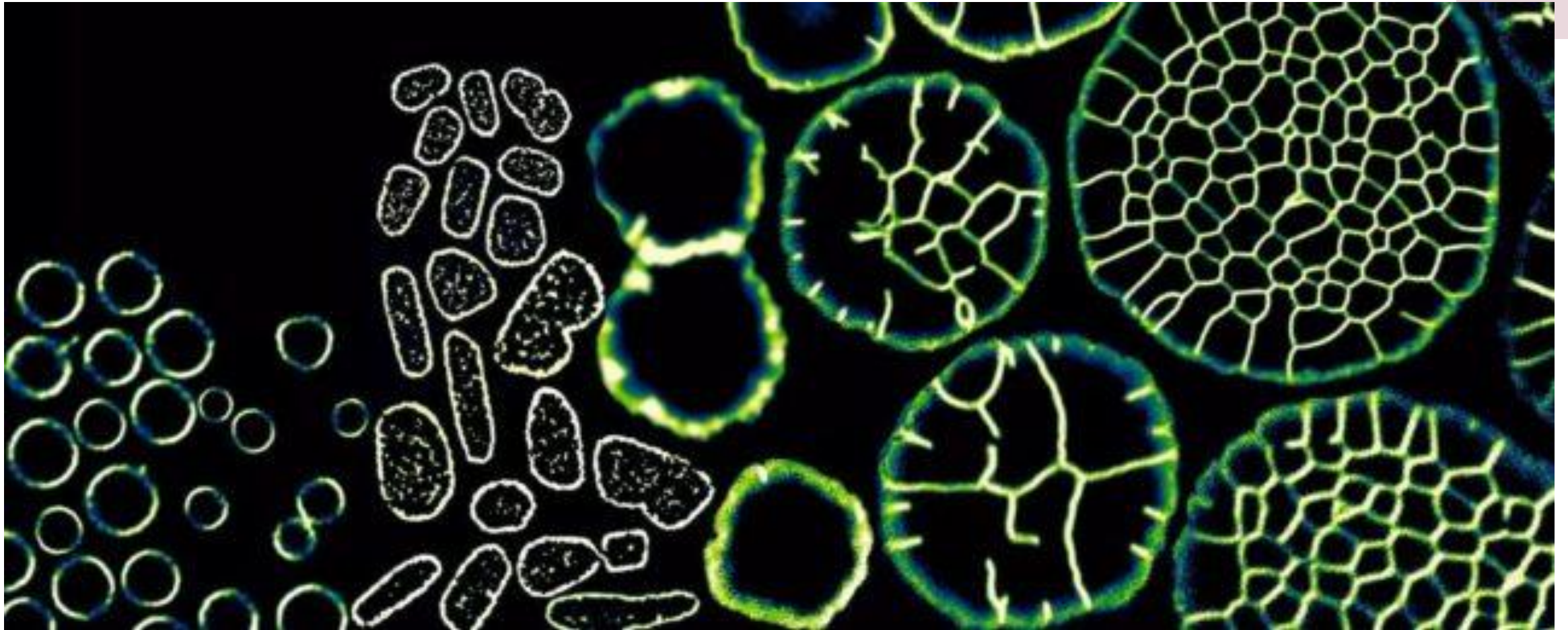
- ▶ 마굴리스는 1970년대 초부터 공생적 생명이라는 관념을 주장했다. 이는 박테리아가 한데 뭉쳐서 새롭게 등장하는 특성들을 만들어내고 또 복합체인 세포가 되어, 결국 다른 모든 유기체들을 만들어낸다는 생각에 바탕을 둔다. 처음에는 논쟁적 관념이었던 공생발생은 오늘날에 이르러 과학적인 것으로 받아들여져서, 서로 다른 유기체들이 힘을 합쳐 재조합되면서 새로운 유기체를 생산해내는 능력을 설명하게 되었다. 마굴리스에게 이러한 협력의 노력은 유전자 변화가 발생하는 방식이다.
- ▶ 더 나아가 그는 진화를 추동하는 힘은 서로 다른 문이나 계에 속하는 유기체 사이의 생산적 관계라고 주장한다. 무작위적 돌연변이라는 기계적 관점 대신에 그러한 유기체들 간의 상호작용이 유전자 변이를, 특히 박테리아 세포에 의한 핵 정보의 전이를 일으킨다고 설명하는 것이다.
- ▶ 린 마굴리스의 공생적 생명 개념과 유전자에 대한 연구는 포스트휴먼 유물론과 생태학적 상호의존성의 관념에 영감을 주었다. -Rosi Braidotti

연도	국가	연구자	주요 내용
1883	독일	안드레아스 쉴퍼	"엽록체" 용어 창안, 엽록체가 공생체에서 기원했을 가능성 주장
1890	러시아	안드레이 파민친	동물로부터 공생하는 녹조류와 갈조류 추출
1893	일본	와타세 쇼자부로	세포핵과 세포질은 공생체, 중심립도 공생체 주장
1905	독일	에른스트 헤켈	엽록체가 남세균이라고 추정
1909	러시아	콘스탄틴 메레슈코프 스키	생물의 조합 혹은 연합으로 생물이 기원한다는 "공생발생" 용어 창안
1913	미국	윌리엄 베이트슨	감염을 통해 외부로부터 새로운 유전자 획득 가능 주장
1917	프랑스	펠릭스 데렐	파지 감염으로 박테리아 형질 전환, '미세지의류'
1918	프랑스	폴 포르티에	미토콘드리아는 먼 옛날 동물세포에 들어온 공생체 주장
1924	러시아	보리스 코조폴만스키	섬모와 편모라는 진핵생물의 이동기관이 공생을 통해 기원 주장
1927	미국	아이번 월린	미토콘드리아는 반복하여 획득한 이질적 공생체 집단 주장
1960	미국	한스 리스	미토콘드리아와 엽록체가 내생 공생을 통해 기원했다는 증거 발표
1962	미국	한스 리스, 월터 플로트	엽록체에 DNA가 있다는 전자현미경적 연구 결과 발표
1963	미국	쉽반 니스, 마르기트 니스	미토콘드리아에 DNA가 있다는 증거 발표
1967	미국	린 마굴리스	진핵생물이 세균들의 공생을 통해 출현 주장하는 논문 발표
1977	미국	칼 우스	rRNA를 비교하여 미토콘드리아와 엽록체의 미생물 기원 규명

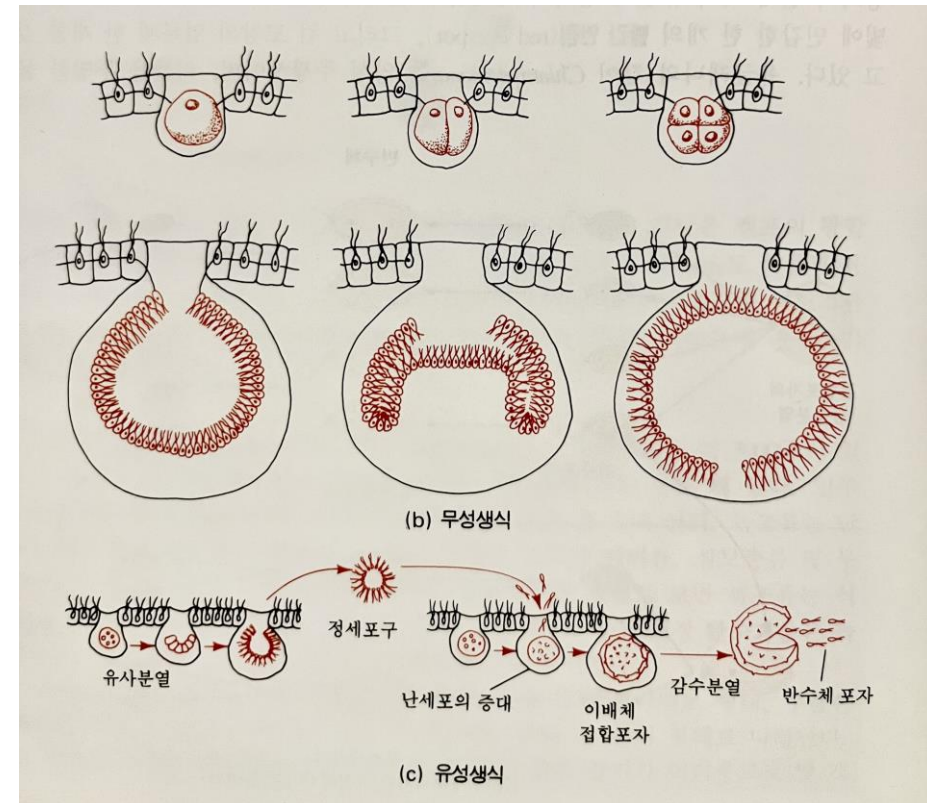
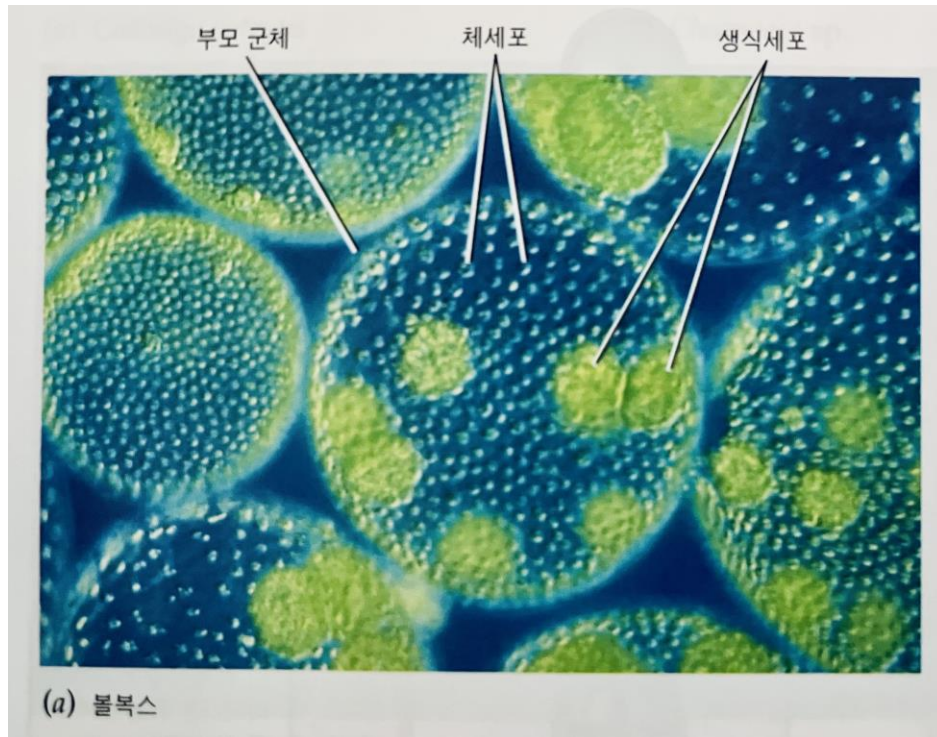
박테리아에 의한 진핵세포 출현 (세포내 공생설)



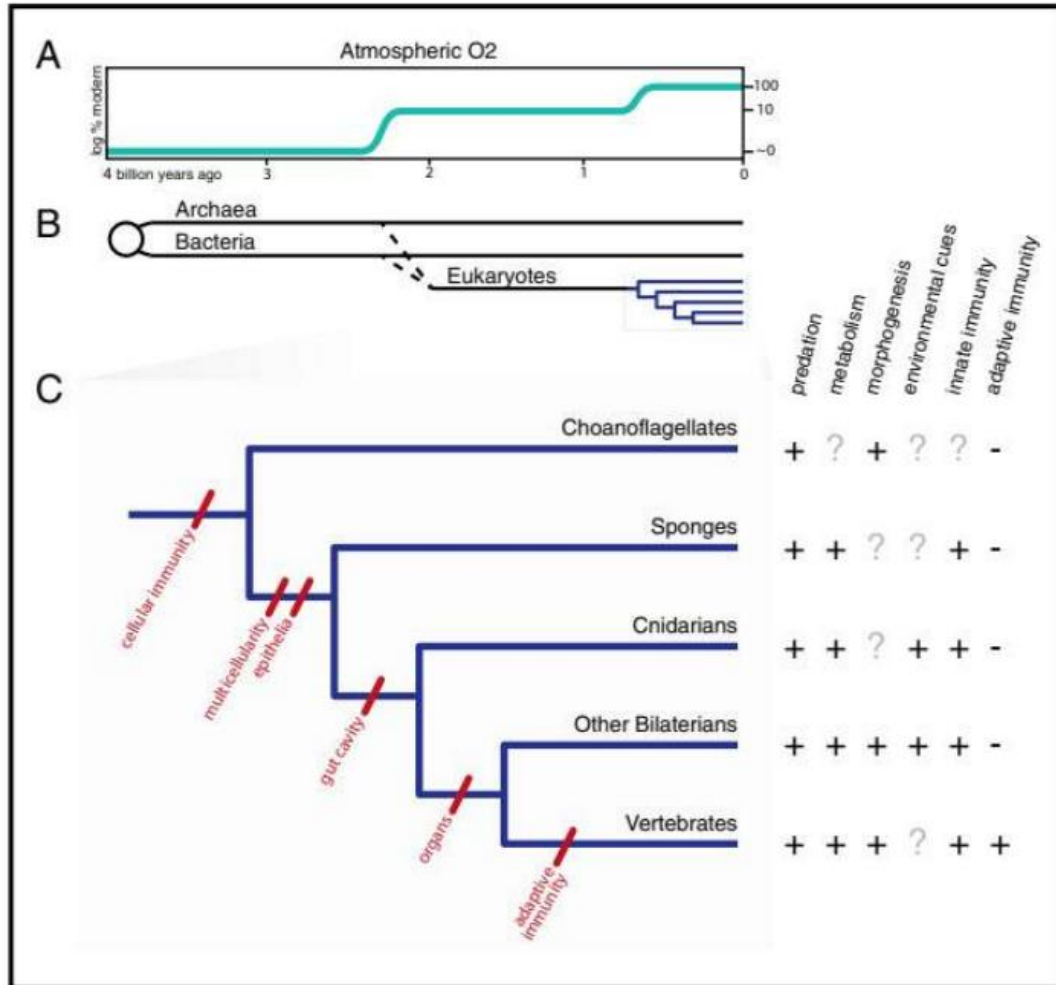
세포의 분화



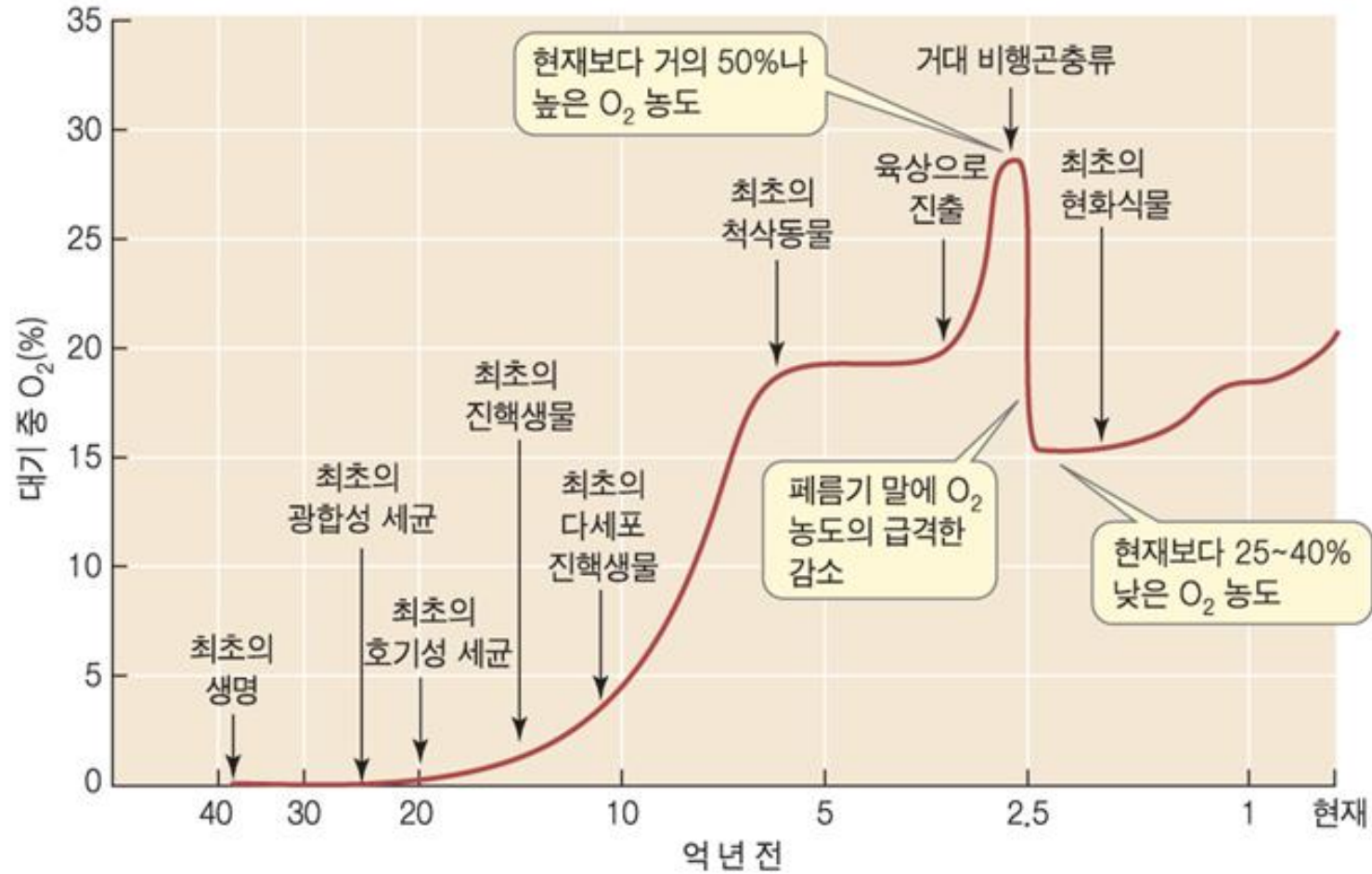
세포의 분화



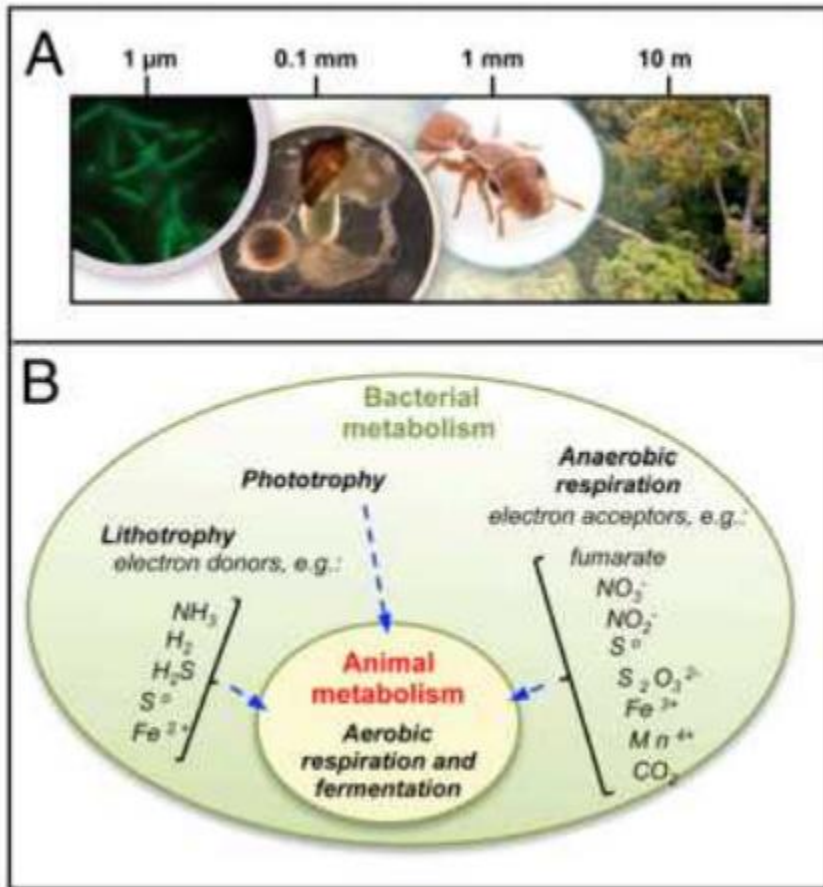
다세포성의 출현



- 고세균과 박테리아의 공생으로 진핵생물이 나타났고(B) 파생형질의 유무를 기준으로 다른 분기군으로 분리(C). 그리고 이에 따라 대기 중 산소의 농도도 크게 변화(A).
- 동물은 동정편모충류(choanoflagellate) 원생생물과 유사한 공통조상에서 유래(C). 동물-박테리아 상호작용의 주요 토대인 영양, 인식, 세포 부착 및 신호 전달은 포식(8) 및 콜로니 형성(9)이라는, 동정편모충류의 두 가지 유형의 행동에서 비롯.
- 현존하는 동정편모충류는 박테리아 섭식의 중요한 촉진제로 발생할 수 있는 동물 신호 및 접착 단백질(예: 카드헤린 및 C형 렉틴)의 상동체를 보유.
- 동정편모충류인 *Salpingoeca rosetta*가 특정 박테리아의 신호에 반응하여 세포 분열을 통해 콜로니 형성을 시작. 다세포성의 시작에 박테리아가 고대에 관여했음을 암시(9).

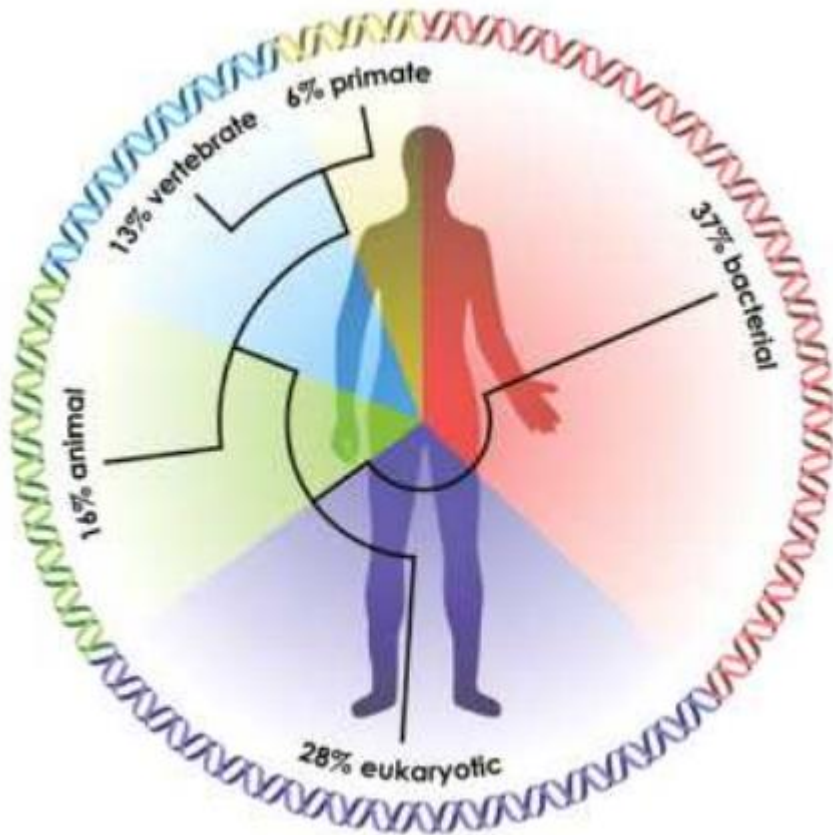


생태계 내의 동물-박테리아 상호작용



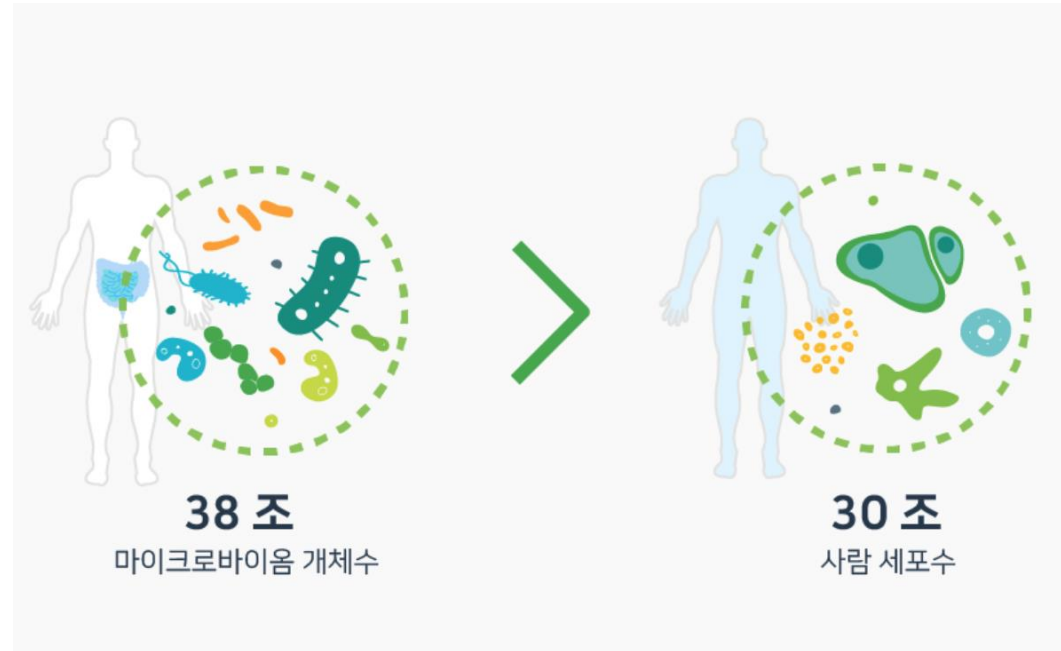
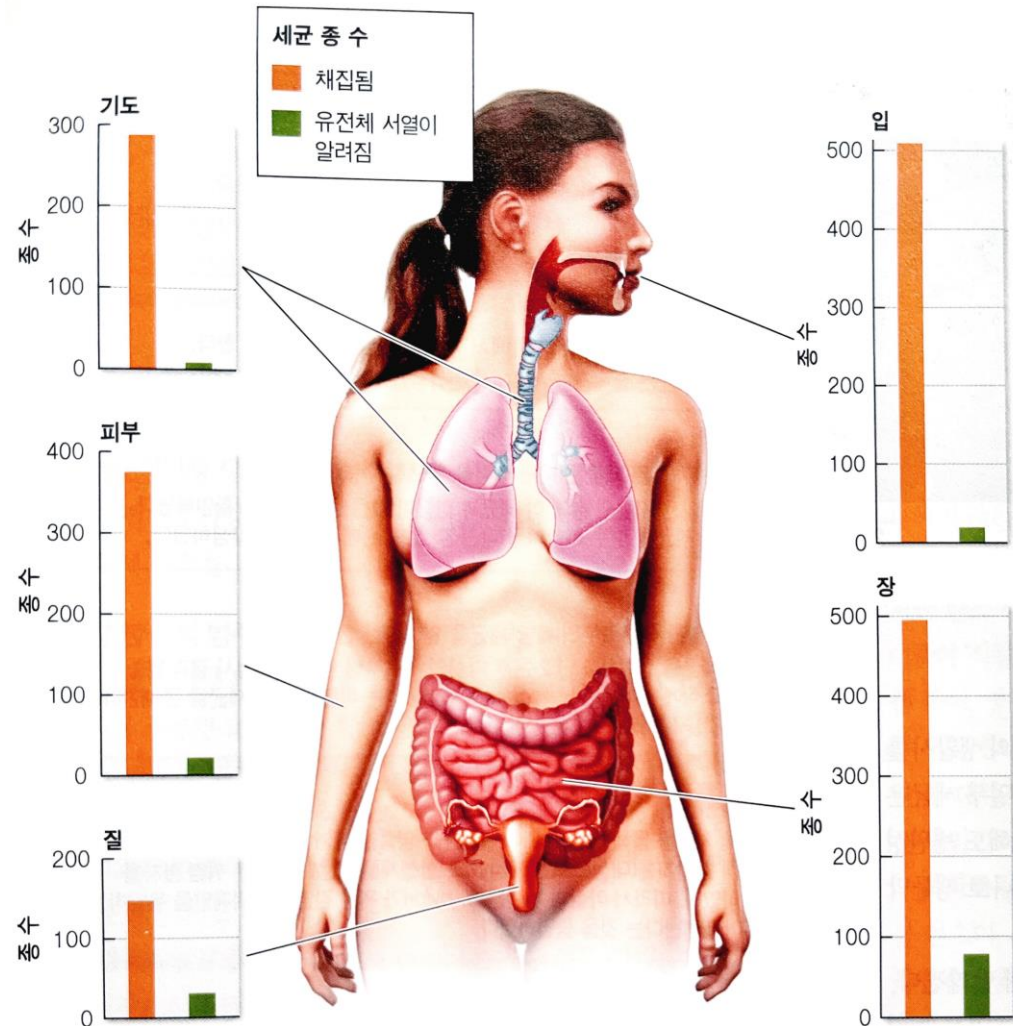
- 동물과 박테리아의 중첩된 생태학적 상호작용과 그 기초를 이루는 대사적 기반 (A) 숲 수관 곤충은 다중적인 공간 규모에 걸쳐 연속적인 동물-박테리아 상호작용. 장(중앙 왼쪽)에서 사는 박테리아 공생체(왼쪽)는 열대림 수관(오른쪽)의 곤충 종(중앙 오른쪽)의 영양 공급에 필수적. 여기서 이들은 동물 바이오매스의 대부분을 구성.
- (B) 박테리아와 동물에서 에너지 대사의 다양성. 동물은 발효하고 호기적 호흡을 할 수 있지만, 다른 생태학적으로 중요한, 에너지 포획과정은 수행 불가능. 식물과 공유하는 광영양 이외에도 박테리아는 무기 에너지를 사용하여 CO_2 를 고정하여 일차 생산에 기여할 수 있다. 동물은 박테리아에 직간접적으로 의존하여 에너지를 추출하고 생물분자를 순환시키며, 동물은 생물교란, 영양소 배분을 통하여 그리고 군집 형성 및 거주를 위한 서식처를 제공하여 박테리아의 생산성에 능동적으로 기여

유전체에 영향을 미친 미생물들



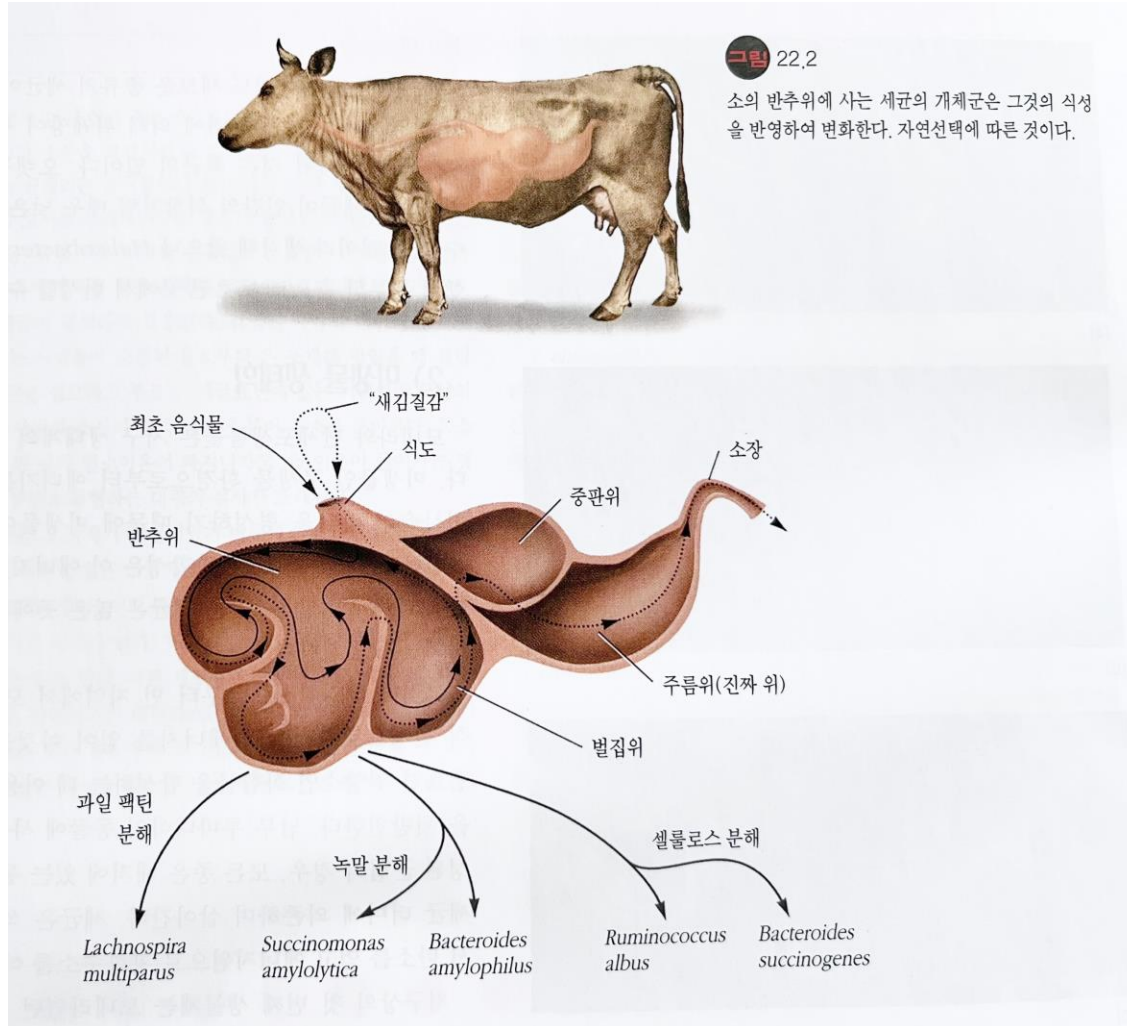
- 인간의 계통은 유전체의 특징에 반영. 인간의 유전자를 계통발생학적으로 분석하면 일련의 생물학적 진화 단계에서 나타난 유전체의 상대적인 비율 계산 가능.
- ~23,000개의 인간 유전자 중 37%는 박테리아와 고세균의 상동체를 가지고 있고, 다른 28%는 단세포 진핵생물에서 기원.
- 이러한 상동 유전자 중 일부의 산물은 현존하는 동물과 박테리아 사이의 신호 전달을 위한 기초를 제공.
- 박테리아 이외에도 레트로 바이러스는 게놈에 통합되어 세대를 넘어 유전 가능.
- 사람 유전체의 약 8%는 바이러스 유래 유전물질이며, 일부는 유성생식에 핵심적인 기능 수행. 예를 들어 인간 태반 형성에 관여하는 syncytin 유전자는 고대 레트로바이러스에서 유래.

인체 마이크로바이옴의 규모



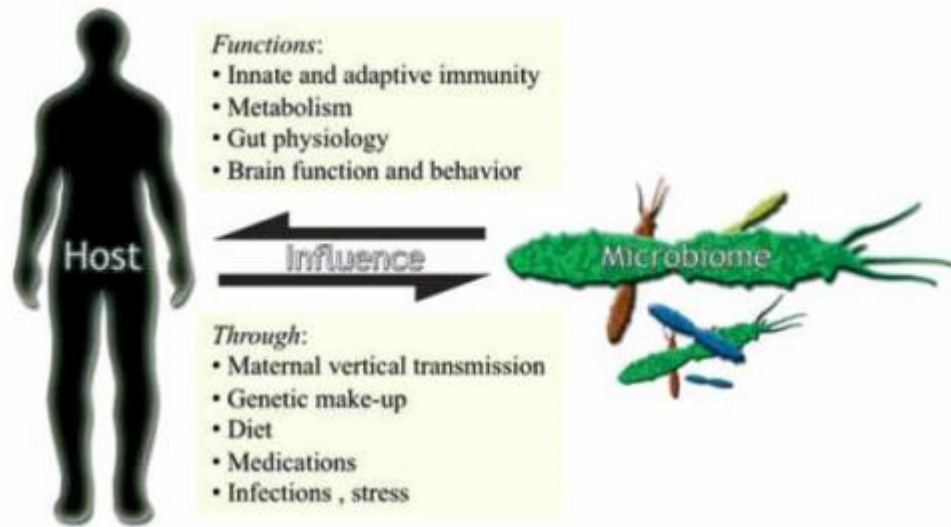
- 사람 세포수와 마이크로바이옴 개체수는 비슷.
- 242명의 기도, 입, 질, 그리고 소화관 등 18개 부위에서 채취한 시료에는 총 10,000개의 미생물종과 800만 개의 유전자 보유, 이는 인간 게놈에 존재하는 유전자의 350배에 해당.

반추동물 내 마이크로바이옴의 역할



- 동물의 소화관에는 다양한 미생물이 살고 있으며 이 중 상당수가 소화에서 중요한 역할을 담당
- 소는 식물성 먹이의 상당 부분을 차지하는 셀룰로스를 분해하는 섬유소 분해효소를 생산할 수 없지만 반추위(혹위)라는 소화관의 특수한 부위에 살아가는 박테리아는 소가 하루 먹는 양을 처리하기에 충분한 섬유소 분해효소를 생산.

숙주와 마이크로바이옴의 상호작용



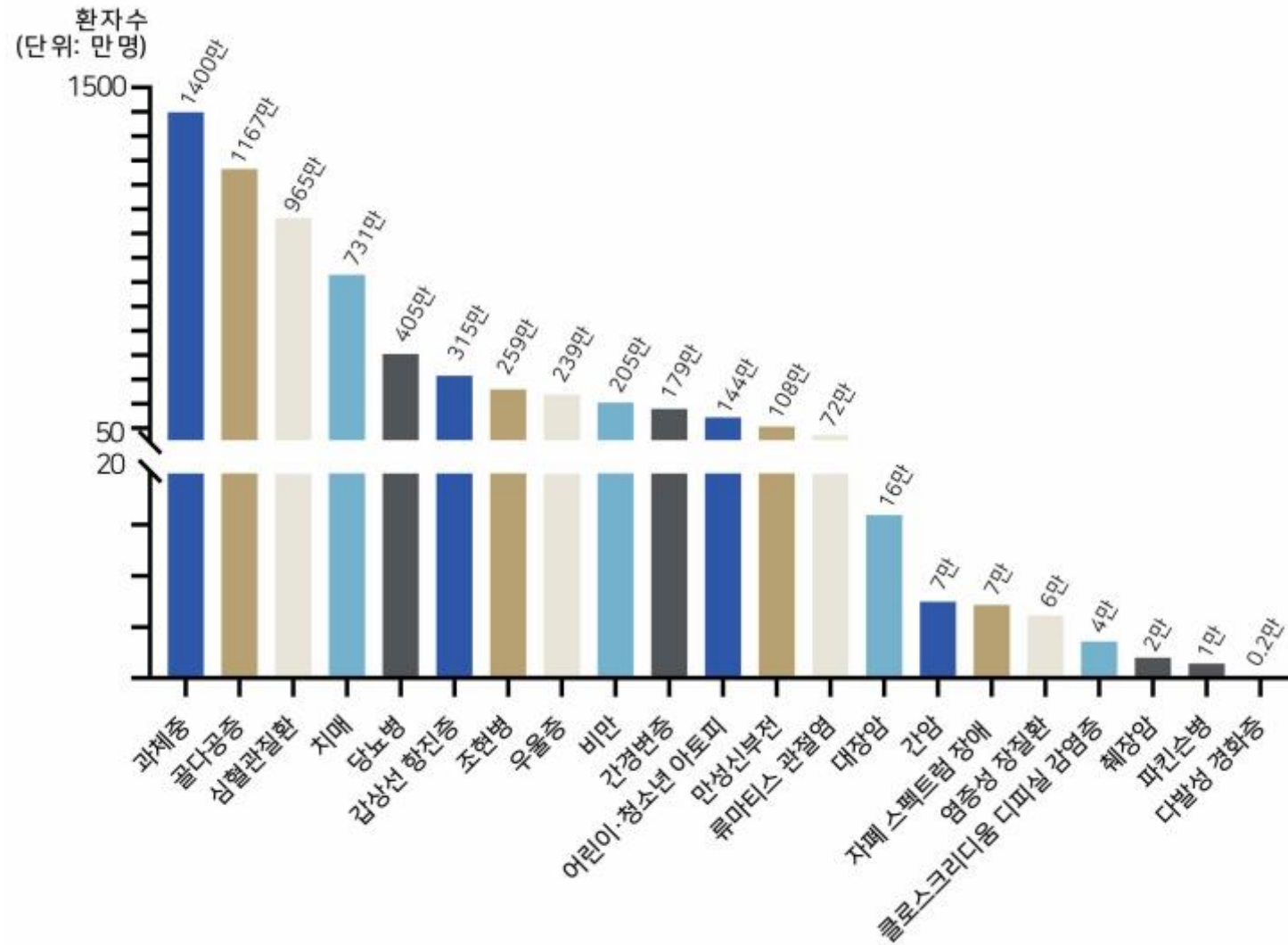
마이크로바이옴→인체

- 선천성 면역 및 획득 면역
- 대사
- 소화관 생리
- 뇌 기능과 행동

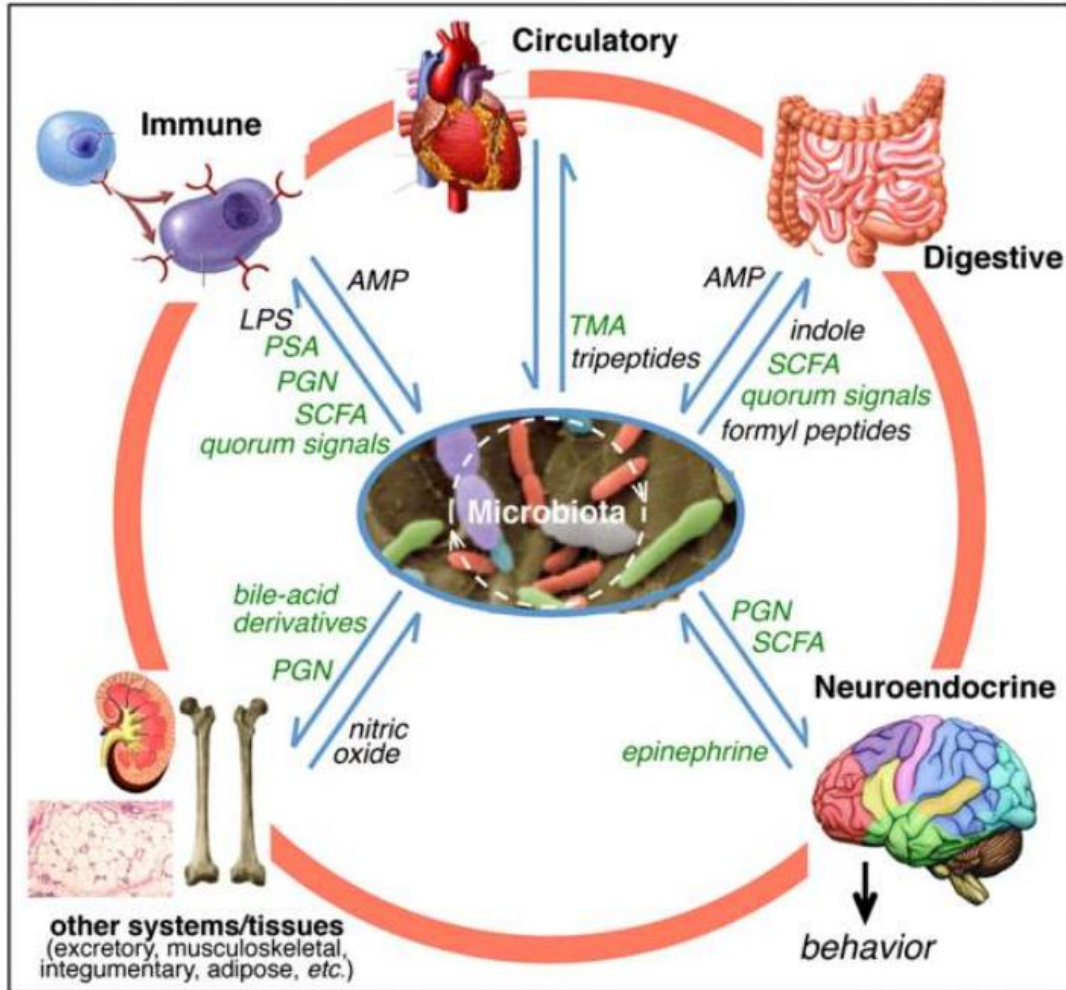
인체→마이크로바이옴

- 모체의 수직 전파
- 유전적 조성
- 식단
- 투약
- 감염, 스트레스

마이크로바이옴과 건강



동물과 마이크로바이옴의 신호전달

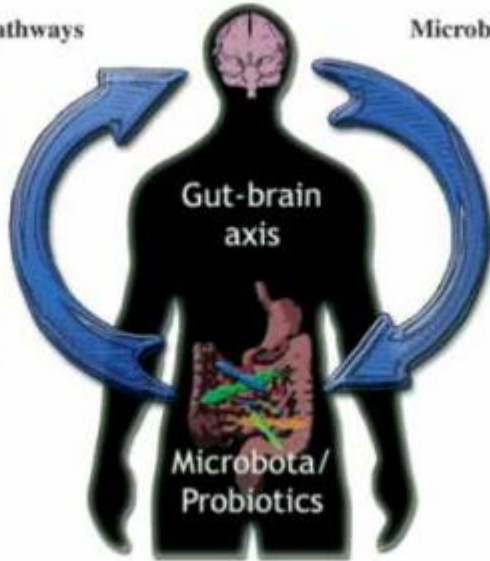


- 동물과 마이크로바이옴의 신호전달. 장, 구강, 피부에 있는 미생물상의 구성원들은 스스로 소통하거나 동물의 기관계와 산호를 교환하여 신체 항상성을 유지. 마이크로바이옴은 동물의 행동에 영향을 미쳐 다른 생물체와 직접적인 경계면 형성.

장-뇌 축(gut-brain axis)

Gut-brain axis pathways

- **Neural**
ENS, CNS through vagus and/or spinal afferents
- **Humoral**
Cytokines, hormones/neuropeptides, Microbial bio-active substances



Microbiota/probiotic targets

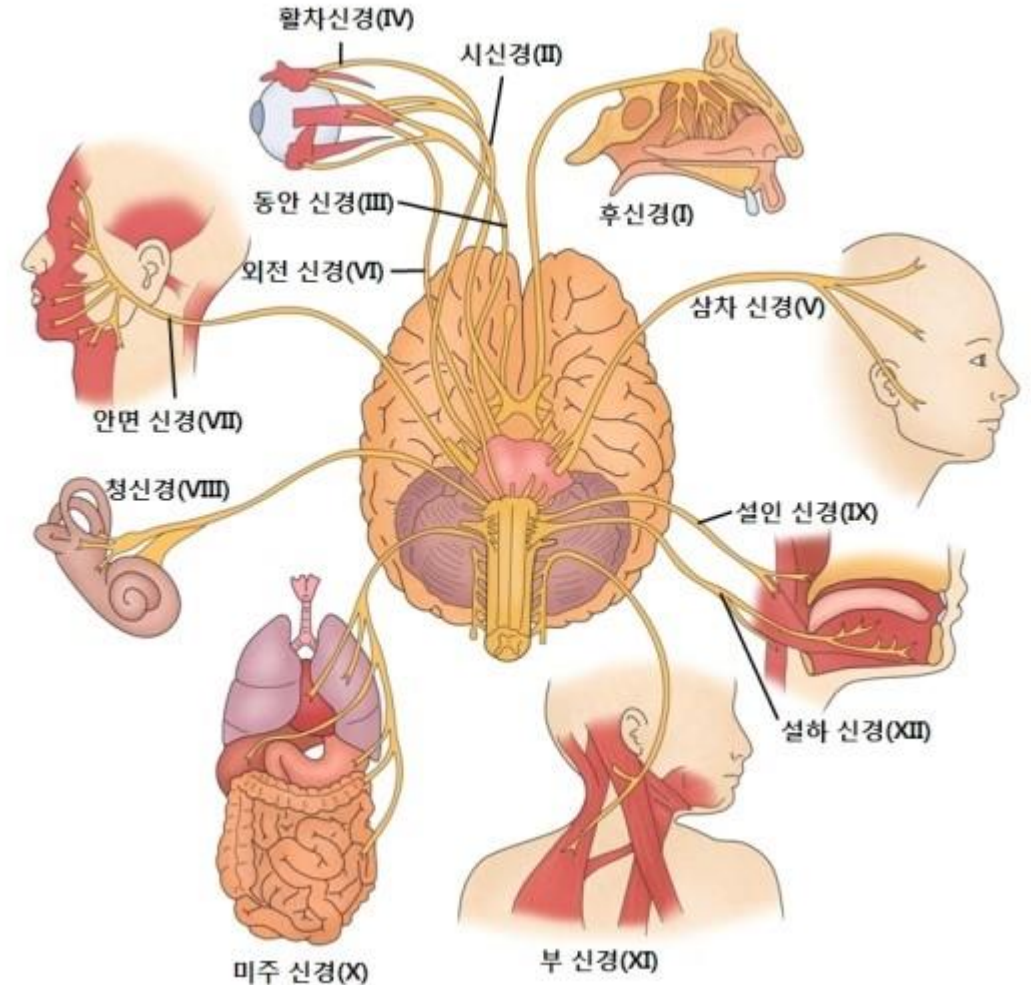
- Immune system
- Epithelial function and barrier
- Neurotransmission
- Muscle function

장-뇌 축 경로

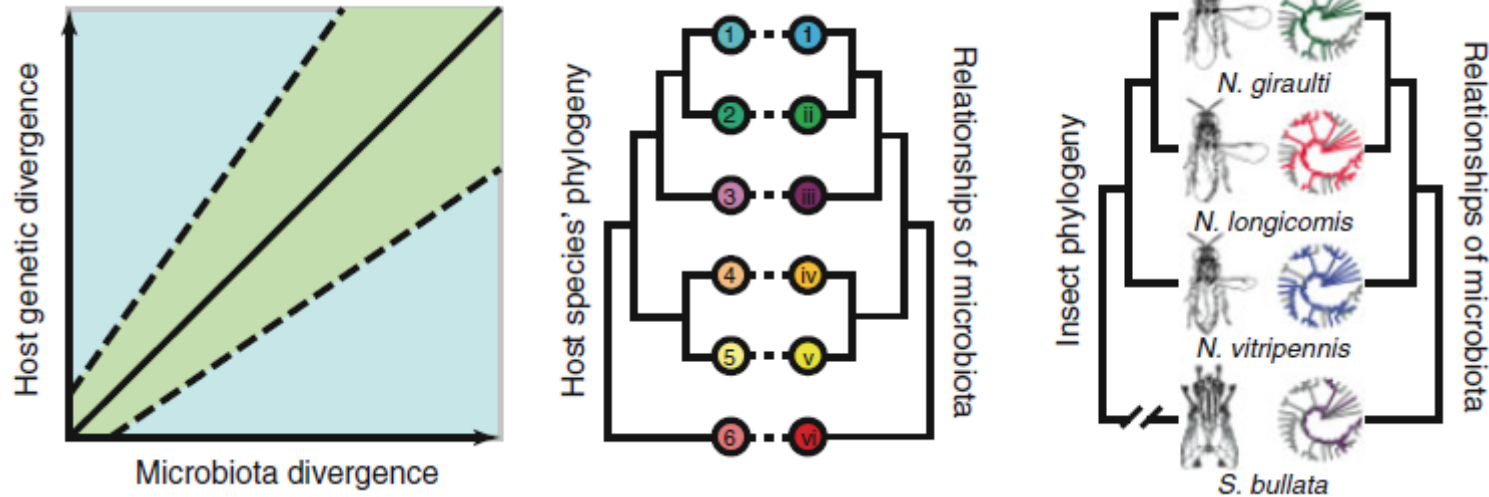
- 신경성: 미주신경이나 척주의 구심성 신경을 통한 장신경계, 중추신경계
- 체액성: 사이토카인, 호르몬, 신경펩티드, 미생물성 생물작용물질

미생물상/ 프로바이오틱 표적

- 면역계; 상피 기능 및 장벽; 신경 전달; 근육 기능

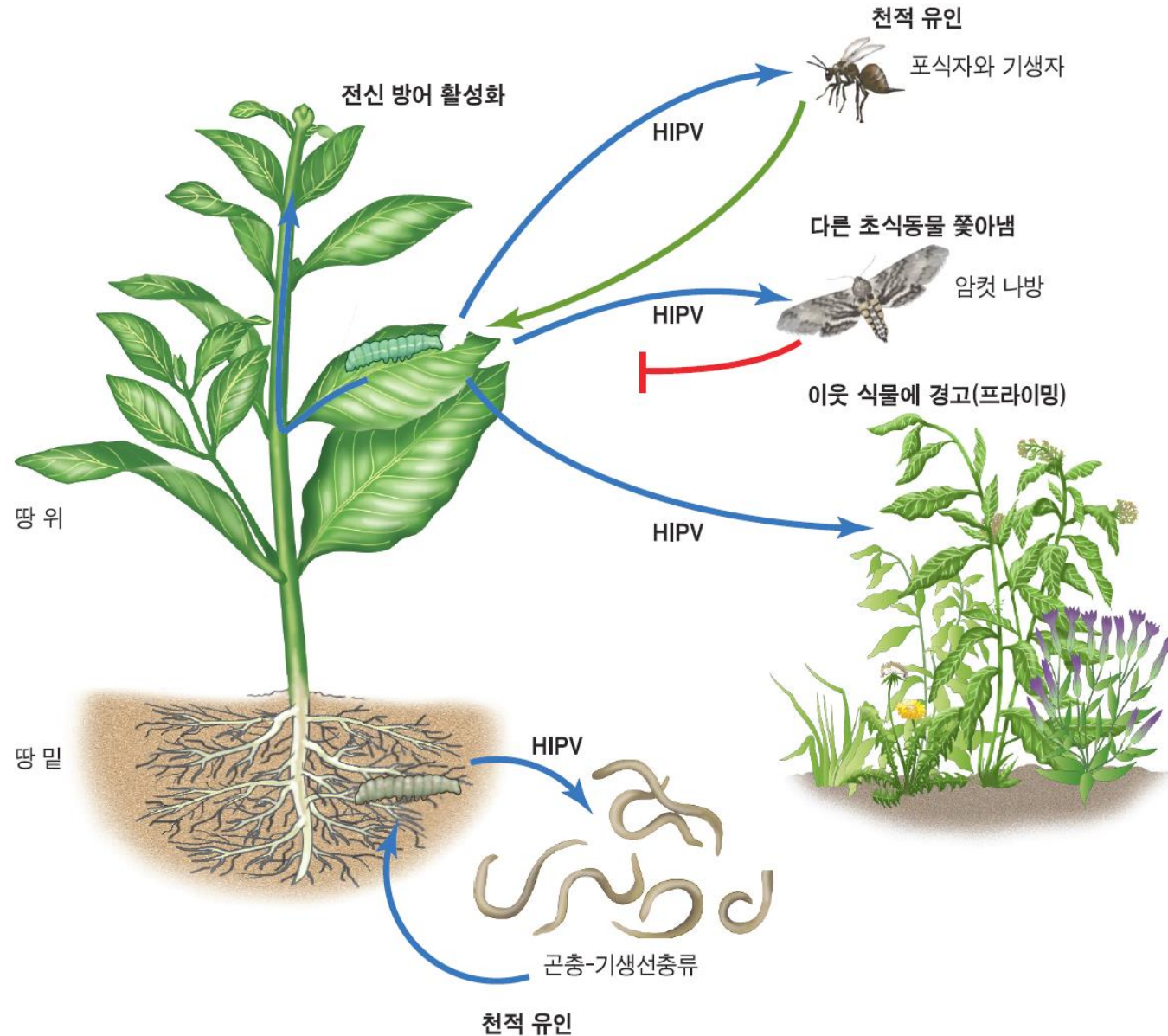


계통공생발생(Phylosymbiogenesis)



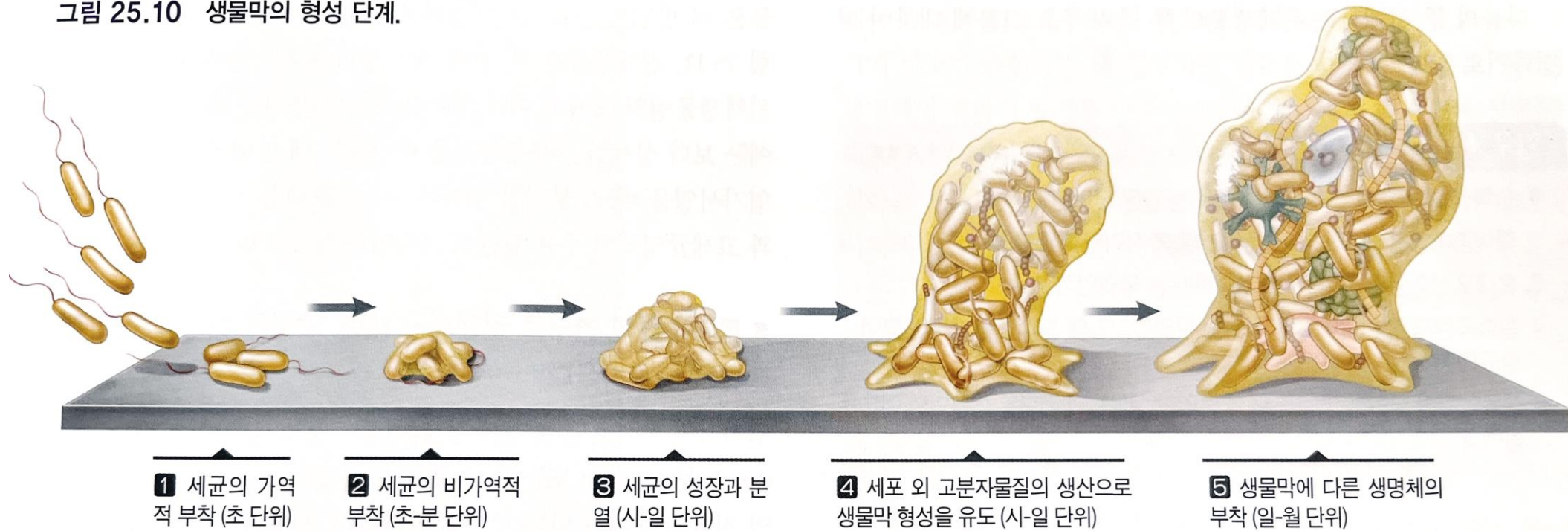
- 2007년, Sebastian Fraune는 담수 폴립인 히드라 *Hydra vulgaris*와 *Hydra oligactis* 두 종의 마이크로바이옴을 조사했다. 그는 곧 이 두 동일한 환경에서 배양한 히드라가 다른 마이크로바이옴을 형성하고 있고, 갓 채집된 동일한 히드라 종의 미생물군과 매우 유사한 군집을 보였다는 점이였다. 이 관찰은 히드라 숙주가 연관된 미생물군에 대해 강력한 선택 압력을 가하고 있다는 것을 의미한다.
- 유사한 관찰은 *Nasonia* 말벌과 포유류에서도 확인되어 동일한 식단으로 사육된 숙주 종 사이에서도 장내 마이크로바이옴이 서로 다르며, 각 종에서의 박테리아 군집의 구성과 조성이 숙주 종의 유전체 관계와 평행적으로 변화한다는 사실을 발견했다. (Brucker & Bordenstein, 2012)

그림 23.22 초식 곤충-유도성 식물 휘발성물질(HIPV)의 생태적 기능. 많은 식물은 초식 곤충에게 공격받을 때 특정 휘발성 유기화합물들을 방출한다. 이러한 휘발성물질은 테르페노이드(모노- 및 세스퀴테르펜), 알칼로이드(인돌) 및 페닐프로판(메틸살리실레이트)뿐만 아니라 녹색 휘발성물질을 포함한 2차 대사물질의 모든 주요 경로의 화합물로 구성될 수 있다. 이러한 휘발성물질은 초식 곤충의 천적(예를 들어, 기생 말벌)을 끌어들이는 역할을 할 수 있다. 식물의 지하부에서도 초식동물에게 공격당했을 때 휘발성물질을 방출할 수 있다. 이 휘발성물질은 곤충에 기생하는 선충류를 유인하여 초식동물을 공격하는 것으로 나타났다. 휘발성물질은 또한 암컷 나방에 대한 방충제 역할을 하여, 암컷 나방이 더이상 식물의 잎에 알을 낳지 않도록 만든다. 가장 최근에, 휘발성물질은 단절된 관다발 연결을 가진 고도의 분절 식물에서, 그리고 근거리의 식물들 사이에서도 체계적인 방어 신호로 작용하는 것으로 밝혀졌다. 거기에서, 이러한 휘발성 신호는 방어 반응들을 점화(준비)하여 곧 있을 곤충의 공격에 대비해, 실제로 공격받을 때 더욱 강력하고 신속하게 대응하도록 해 준다.



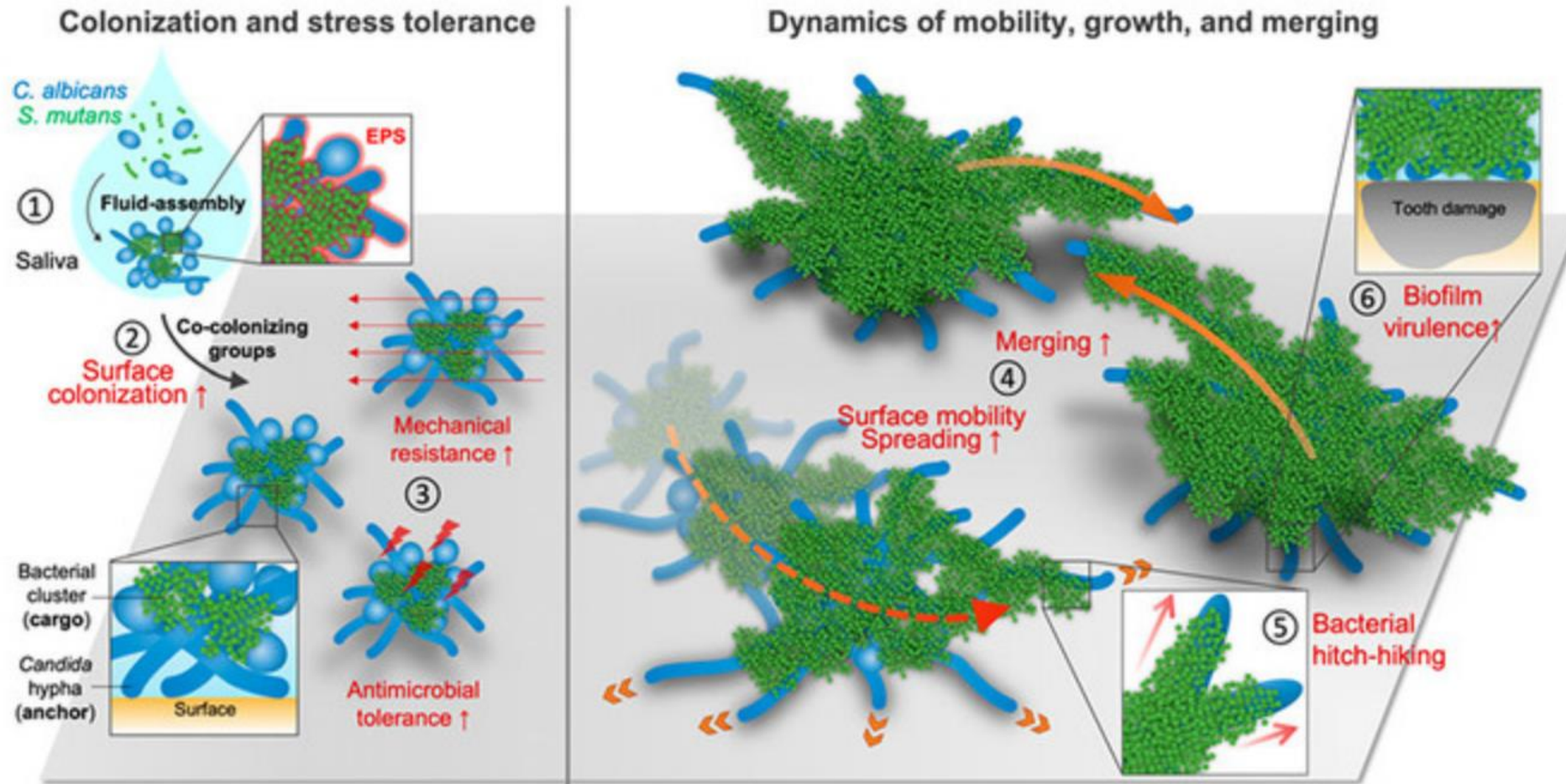
Biofilm 형성

그림 25.10 생물막의 형성 단계.

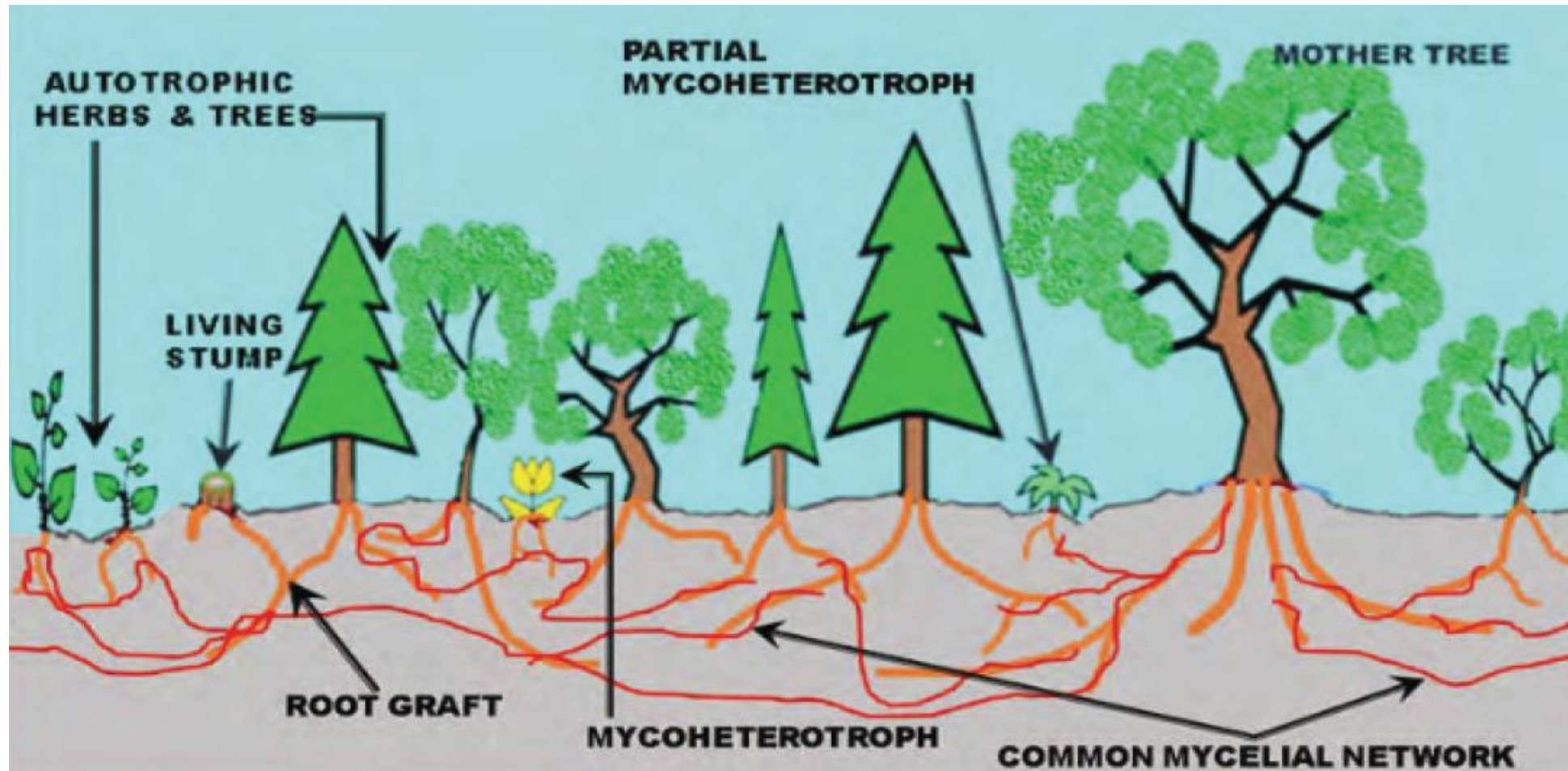


초유기체

Interkingdom Supraorganism



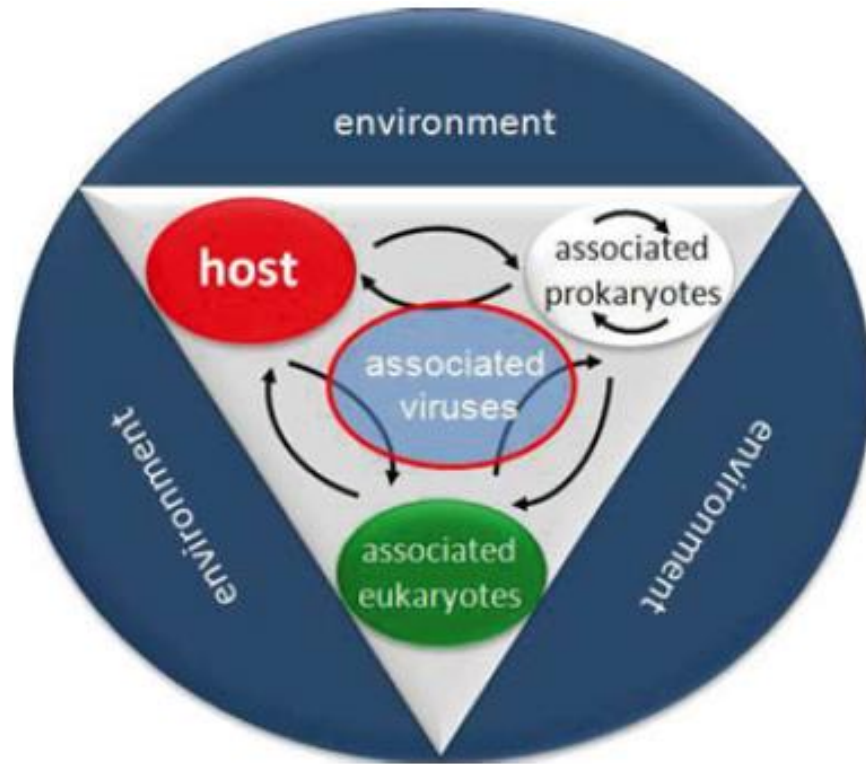
Wood-Wide Web



사회성 곤충

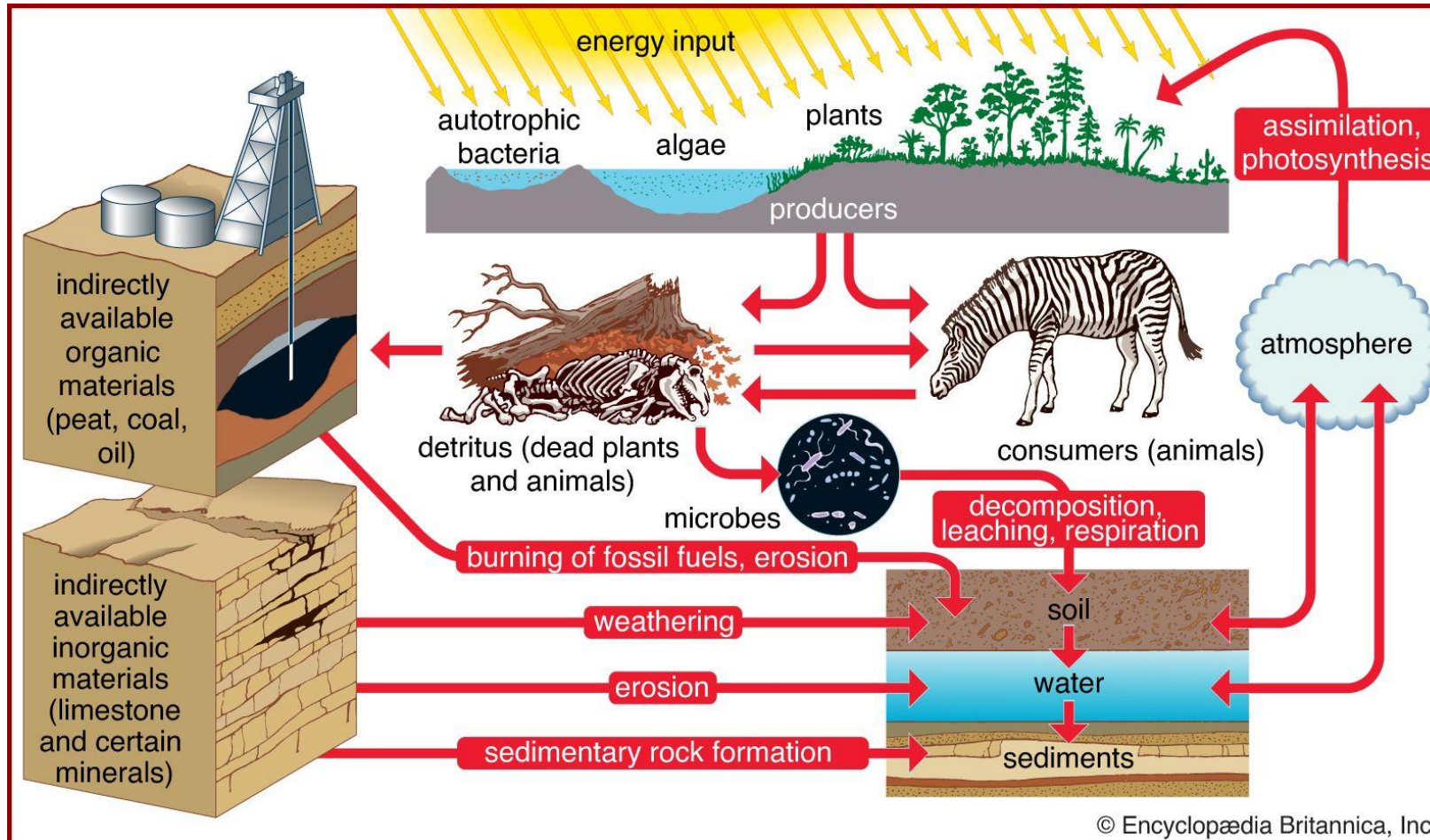


유기체



- 유기체의 정의에는 고유성과 개체성이 포함되어야 한다.
 - 고유성-무엇이 어떤 생명체를 다른 모든 생명체들과 다르게 만드는가?
 - 개체성-무엇이 하나의 생명체로 간주될 수 있는가?
- 모든 유기체는 이질적인 존재이지만 면역 수용체들과의 공통된 상호작용에 의해 유기체가 통일된 전체임을 알 수 있다.
- 고유한 면역반응에 의한 유기체의 구분하는 기준은 초유기체에도 적용될 수 있다. 사회성 곤충은 높은 수준의 개체성을 가지며, 따라서 이 집단을 “유기체”, 개별 곤충들을 이 유기체의 “부분” 또는 “기관”으로 간주해야 한다.

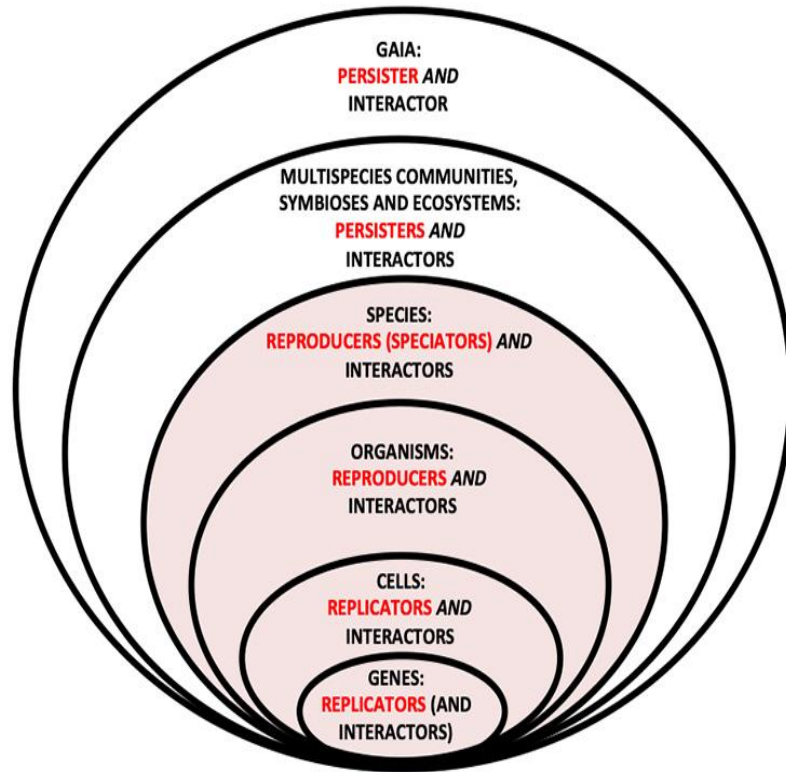
조화로운 생태계와 가이아



Pioneers of Gaia: Lovelock & Margulis



Gaia의 재발견



- James Lovelock이 항상성을 갖는 사이버네틱한 존재로서의 Gaia의 개념을 최초로 주창.
- Lynn Margulis는 Gaia의 유지에 생명체들의 상호 연결성이 중요하다고 강조.
- Donna Haraway는 《사이보그 선언》에서 Gaia를 관계하기.업히기.함께 만들기의 실천이 이루어지는 무대로 규정
- Isabelle Stengers는 침입자로서의 Gaia 개념을 강조.
- Bruno Latour는 임계지대의 역할 강조.
- W. Ford Doolittle은 Gaia는 진화적 존재라고 주장

생물학은 다른 학문과 어떻게 얽히는가?

- 나는 현대 사상에 있어 들뢰즈 사유가 차지하는 위상을 밝히는 것이 지난한 작업이라고 생각한다. 그의 철학적 사유가 너무나도 독특하기 때문에, 그리고 그의 생물학과 행동학을 이해하는 것이 필수적이기 때문이다. _Keith Ansell Pearson, *싹트는 생명* (11)



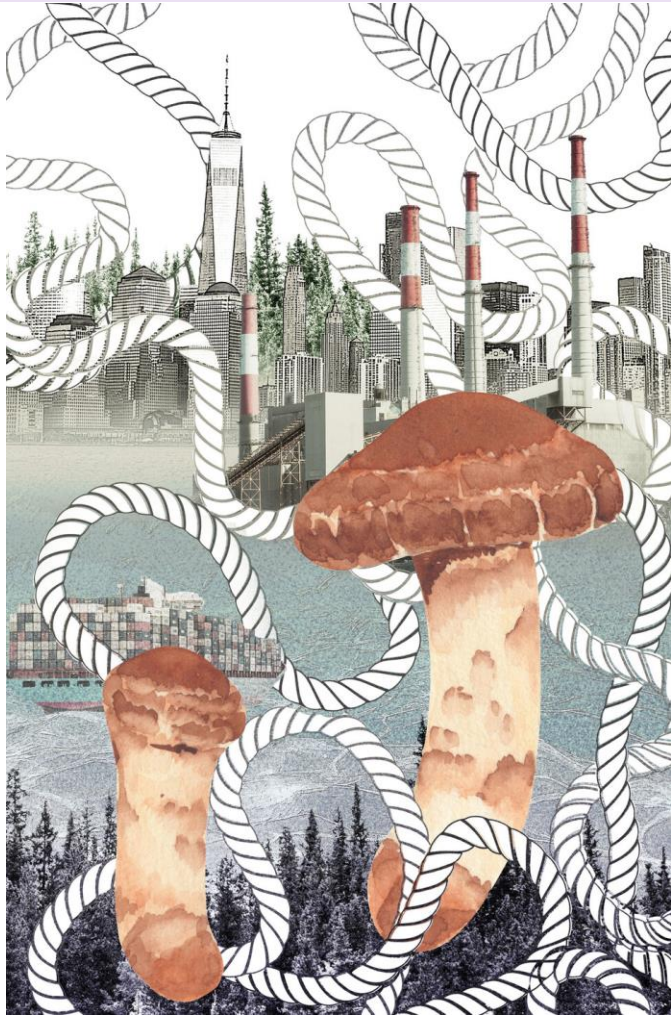
- 사회학자가 사회를 하나의 유기체라고 주장하는 동일한 근거 위에서, 생물학자는 유기체가 하나의 사회라고 선언한다. - C. O. Whitman (1891)
- 사회 이론과 생물학은 서로 반대 방향으로 나아가면서도 분야들을 가로질러 개념들의 교류가 이루어진다는 사실 자체를 활용하여, 그 교류에 대한 비판적 검토를 심화시킬 수 있는 기회를 갖고 있다.
- 동일한 난제가 여러 학문 분야를 가로막고 있다면, 다양한 분야의 전문가들이 한 자리에 모여 이 공통된 문제를 가시화하고, 각자의 분야 내 지배적 패러다임에 맞서, 같은 질문을 용감하게 제기해 온 이들이 서로 대화하도록 하자. -Bruno Latour

횡단신체성

- ▶ 포스트휴먼 페미니스트들은 숲, 균류, 박테리아, 먼지 그리고 생명-물-태양-기술적 힘들, 쓰레기 및 고급 예술 같은 것을 연구한다. 살아 있는 물질은 물질적으로 서로 얽히고 체현되어 있지만, 다중관계적 존재들을 가로지르며 횡단적으로 흐른다. 모든 흥미로운 사건들은 이행 속에서 일어난다. 즉 횡단성이 곧 생명이다. 생명은 비인간 요소들의 복잡한 체계이다. 생명은 동물이나 식물에서는 조에, 땅과 관련된 혹은 행성적인 관계에서는 지오이며, 기술적으로도 매개되는 경우 테크노이다. 포스트휴먼 신유물론은 상호의존의 일반 생태학, 즉 행성적인 차원을 땅이나 토양에 근거한 자원과 연결할 수 있는 지구적(terrestrial) 유물론을 제안한다.
 - Rosi Braidotti, 포스트휴먼 페미니즘 (213)
 - Brian Masumi - 정동: 신체 간의 상호작용
 - Elizabeth Grosz - 물질적 신체(육체)는 세계의 물질성과 연결
 - Karen Barad - 우리는 진행 중인 내부-작용에서 세계의 일부
 - Nancy Tuana - 점성 다공성: 상호의존성과 흐름
 - Stacy Alaimo - 횡단신체성: 신체는 주객체 구분이 불가능한 열린 체계의 일부

- ▶ 원소적 몸들을 횡단적 집합체로 강조하는 신유물론은 네이마니스가 "페미니즘적 포스트휴먼 현상학" 이라고 정의한 것으로 나아간다. 이 현상학에서 인간의 몸은 식물, 동물, 땅, 기상 체계, 테크놀로지 그리고 다른 종류의 물질들과 상호연결되어 있다. (221)

송이버섯은 세계와 어떻게 연결되는가?



- ▶ 송이버섯은 숲의 특정한 나무와 어울려 지내는 땅 속 곰팡이의 자실체다. 이 곰팡이는 숙주 나무 뿌리와 상리공생 관계를 맺는데, 나무에게 양분을 찾아주고 자신은 나무로부터 탄수화물과 영양분을 얻는다. 송이버섯 덕택에 숙주 나무는 비옥한 부엽토가 없어도 번성할 수 있다. (...) 송이버섯에 게 필요할 것은 숲의 역동적인 다종적 다양성, 그리고 이를 통해 서로를 오염시키는 관계성이다. -Anna Lowenhaupt Tsing, 세계 끝의 버섯 (85)
- ▶ 송이버섯 연구는 우리를 분과학문적 지식 너머로 이끌 뿐 아니라 다양한 언어, 역사, 생태, 문화적 전통이 세상을 형성하는 곳으로 데려간다. -Anna Lowenhaupt Tsing (13)
- ▶ 우리가 '자본주의의 폐허'—어떤 이들은 이를 인류세라고 부른다—에서 살아남아야 한다면, 경제, 문화, 생물학, 생존 전략 사이에 전혀 예상하지 못한 연결이 어떻게 가능한지에 대한 사례가 필요하다. 이 책에서 애나 로웬하우프트 칭은 전혀 어울리지 않을 것 같은 세계화된 버섯이라는 사례를 통해 놀라운 예시를 제시한다. -Bruno Latour

새로운 정치체와 가이아

내가 가이아와 마주하기에서 신기후체제라고 부른 것은 생태학이라는 단어나 인류세라는 개념을 피하면서 생태 위기를 정치화하려는 표현이었다. 이 신기후체제는 정치체 개념을 양쪽 극단에서 새롭게 다루도록 우리를 강제한다. 첫째로 정치를 구성하는 것이 무엇인지는 우리가 고려해야 할 행위자들-비인간 행위자들의 수가 많아졌다는 점에서 엄청나게 변화했다. 둘째로, 생물학과 지구과학 모두에서 ‘몸’이라는 개념 자체도 심오하게 변형되었다. – Bruno Latour



- 우리의 기본 가정은, 정치체에 대한 대부분의 관념이 생물학적 몸에 대한 관념에서 비롯되며 반대로도 그렇다는 것이다. 생물학, 법, 종교, 사회 이론 사이에는 항상 상호 교환의 흐름이 있어 왔기 때문에 사람들이 생태계, 정체성, 유전자, 유기체, 세계화에 대해 이야기할 때, 그것이 인간에 대한 이야기인지 비인간에 대한 이야기인지 구별하기 어려울 지경. Holobiont는 가이아 - Scott F. Gilbert
- 가이아란 각자가 환경을 조작하며 자신의 이익을 추구하는 행위자들로 인해 얽히고 예측 불가능하게 발생하는 모든 결과들의 이름일 뿐이다. - Bruno Latour
- Donna Haraway의 사이버네틱 가이아.
- Isabelle Stengers의 가이아의 침입
- Bruno Latour의 Facing Gaia

