



문의 : 담당자 연락처(02-880-6632)
연구단장/연구책임자 심민섭 교수(02-880-6632) / 교신저자

25억 년 이전 무산소 지구의 미생물 생태 밝혀

- 호흡에 산소 대신 황산염을 이용한 미생물의 기록 -

- 서울대학교 심민섭 교수(지구환경과학부)가 주관하고 동경공업대학의 손 맥 글린 교수 등이 참여한 국제공동연구팀은 황산염을 이용한 무산소 호흡의 필수 효소가 남기는 화학적인 기록을 최초로 규명했다.
- * 광합성이나 화학합성 생물을 제외한 대부분 생물은 생활에 필요한 에너지를 호흡을 통해 확보
- * 인류를 비롯한 동물은 호흡을 통해 유기물을 산화시키고 산소 환원시키는 반면, 미생물은 산소 대신 황산염이나, 질산염, 산화철 등의 물질을 환원시키는 무산소 호흡도 가능
- 미생물 활동이 남기는 화학적인 화석 중 하나는 같은 성질을 지니지만 질량에 미세한 차이가 있는 동위원소 사이의 비율 변화이며 (동위원소 분별작용), 황산염환원을 통한 무산소 호흡 또한 황 동위원소 조성을 변화시킨다.
- * 지구 형성 이후 무산소 환경이 지속되었던 20억년 동안 미생물은 생명과 지구의 진화에 매우 중요한 역할을 담당
- * 삼엽충이나 공룡과 같이 물리적인 화석기록을 남기기 어려워 이들의 활동은 주로 화학적인 기록을 통해 연구
- 심교수 연구팀은 황산염환원에 참여하는 개별 효소들의 역할에 주목해, 첫

번째 환원효소(APS 환원효소)의 반응속도가 가벼운 동위원소(³²S)의 경우 무거운 동위원소(³⁴S)와 비교해 2% 빠른 것을 확인하였고, 이를 기준으로 미생물의 활동이 동위원소 비율 변화에 미치는 영향을 새롭게 제안하였다.

- 현재 생물에 의해 일어나는 황 동위원소 조성 변화는 대부분 이번 연구결과보다 큰 경향을 보이지만, 25억 보다 오래된 퇴적암의 황 동위원소 조성은 이보다 작은 값을 지시한다. 이는 당시 해양환경에서 황산염환원 미생물이 유기물을 호흡에 현재보다 쉽게 이용할 수 있었음을 의미하며, 대기 중 산소 농도가 현재의 0.001% 미만에 불과했던 25억년 이전의 지구에서는 산소를 이용해 호흡하는 생명체들의 활동이 어려웠고, 그 결과 황산염환원 미생물들이 현재보다는 유리한 생태적 지위를 확보할 수 있었기 때문이다.

- 심교수는 “동위원소를 기반으로 한 미생물 활동의 이해는 과거의 생명 활동뿐만 아니라, 암석권 깊은 곳에서 황을 기반으로 한 미생물의 활동을 확인하고 나아가 외계행성 물질에서 생명 활동을 추적하는 데도 이용될 수 있을 것으로 기대된다” 며 연구의 의의를 밝혔다. 본 연구결과는 네이처의 자매지인 네이처 커뮤니케이션스 (Nature Communications) 온라인판에 2019년 1월 10일(목) 게재됐다.

- [붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명
4. 연구진 이력사항

연구결과

Role of APS reductase in biogeochemical sulfur isotope fractionation

Min Sub Sim, Hideaki Ogata, Wolfgang Lubitz, Jess F Adkins, Alex L Sessions, Victoria J Orphan, Shawn E McGlynn

(Nature Communications, 2019)

이번 연구에서는 지질학적, 생물학적 황 순환에 중요한 역할을 담당하는 황산염환원 미생물이 혐기성 호흡 과정에서 이용하는 APS 환원효소가 발생시키는 동위원소 분별작용을 최초로 측정하였으며, 이를 바탕으로 황 동위원소의 지질기록을 재해석하였다. 미생물의 황 동위원소 분별작용은 APS 환원효소를 비롯한 여러 효소 활동의 결과물로서, 작은 동위원소 분별작용은 낮은 황산이온 농도와 빠른 호흡 속도의 결과로 해석된다. 하지만, APS 환원효소의 동위원소 분별작용보다 큰 동위원소 분별작용은 APS 환원과정이 전자가 부족한 환경에서 가역적으로 일어나는 경우에만 나타날 수 있다. 25억 년 이전의 퇴적암에서는 이번 연구에서 측정된 APS 환원효소의 동위원소 분별작용보다 작은 수준의 분별작용만이 보고되는데, 이는 황산염환원 미생물이 전자의 공급원인 유기물이나 분자상태의 수소에 접근이 쉬운 생태적 위치를 점유하고 있었음을 지시한다. 25억 년 이후로는 더 큰 동위원소 분별작용이 흔히 관찰되는데, 대기 중 산소 농도 증가로 에너지 관점에서 더욱 우수한 경쟁자인 산소를 이용하는 미생물이 등장해 황산염환원 미생물의 생태적 지위에 변화가 생긴 결과로 이해된다.

용 어 설 명

1. 미생물에 의한 황산염환원 (microbial sulfate reduction)

- 산소를 이용해 호흡하는 동식물과는 달리, 미생물은 황이나, 질소, 철 등의 다양한 원소를 이용해 호흡하고 에너지를 생산한다. 황산염환원은 산소(O_2) 대신 황산이온(SO_4^{2-})을 환원시켜 물(H_2O) 대신 황화수소(H_2S)를 발생시키는 혐기성 호흡 과정이다. 분자생물학, 지구화학적 연구결과는 황산염 환원과정이 매우 오래된 대사과정으로 35억 년 이상의 역사를 지니고 있음을 지시한다.

2. 아데노신 5'-포스포 황산염 (Adenosine 5'-phosphosulfate, APS)

- 황산이온 투과효소의 작용으로 세포 내로 전달된 황산이온은 ATP 황산화효소의 작용을 통해 반응에 참여하기 쉬운 형태로 변화하게 된다. 그 변화 산물이 아데노신 5'-포스포 황산염(APS)이며, ATP에서 인산이온 둘이 떨어져 나간 자리에 황산이온이 대신 위치한 구조를 지닌다. 이 물질은 황산이온보다 화학적으로 불안한 성질을 지니고 있으며 환원효소인 APS 환원효소의 기질로 작용하게 된다.

3. 동위원소와 동위원소 분별작용 (isotope & isotope fractionation)

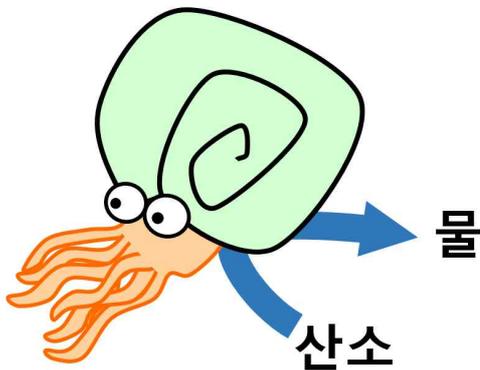
- 동위원소는 양성자와 전자의 개수는 같지만, 중성자의 수에서 차이가 나는 원소를 일컫는다. 본 연구에서 이용된 ^{32}S 와 ^{34}S 는 중성자 수에서 2만큼 차이가 존재하는 동위원소 관계이다. 원소의 화학적인 성질은 전자의 수에 의해서 결정되기 때문에 동위원소들은 거의 동일한 화학적인 성질을 지니지만 질량수의 차이로 인해 미세한 에너지 수준의 차이를 보이고, 그 결과 서로 다른 화합물 간의 동위원소 분포에 차이가 발생하게 되는데, 이를 동위원소 분별작용이라 한다.

그림 설명

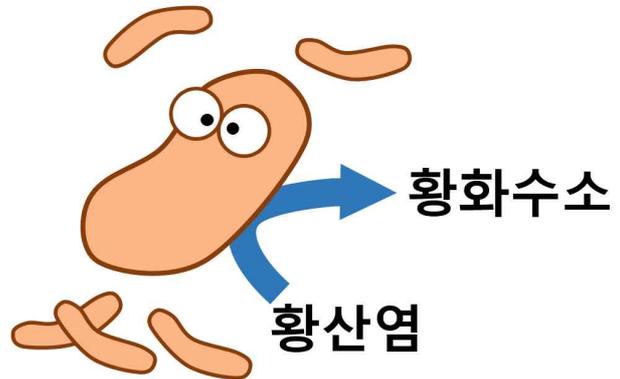
※ 연구성과를 도식화 할 수 있는 그림이나 표, 그래프가 있다면 추가 후 간략히 설명한다

산소를 이용한 호기성 호흡과 황산염을 이용한 혐기성 호흡의 비교

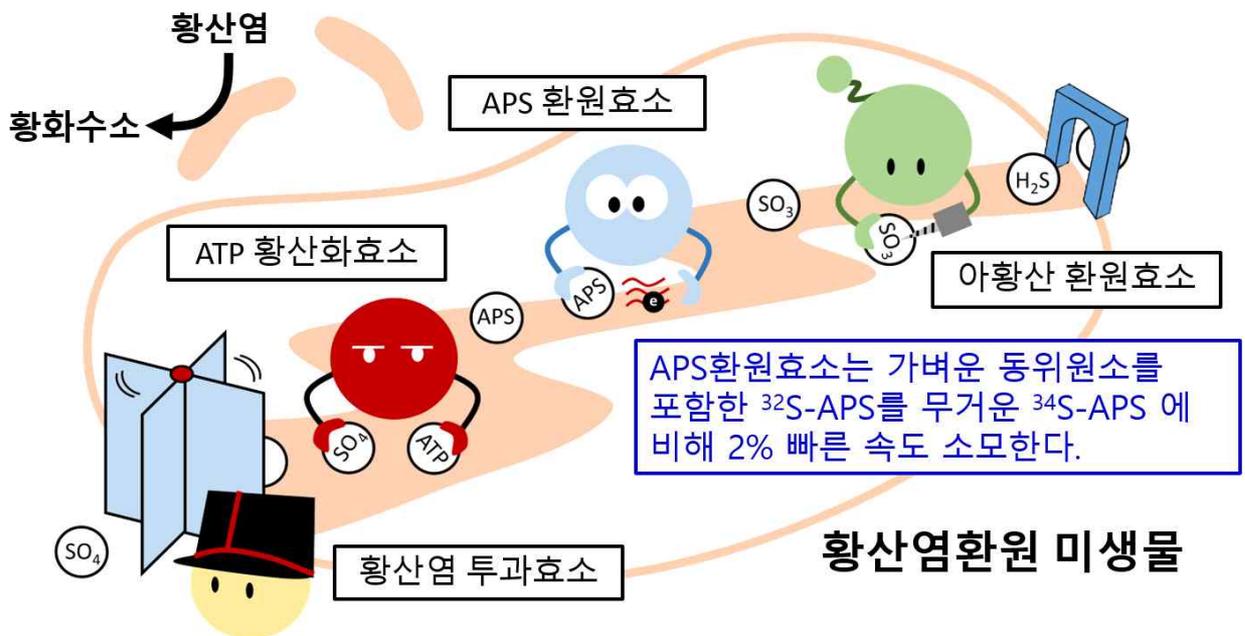
산소를 이용한 호기성 호흡
(동물)



황산염을 이용한 혐기성 호흡
(황산염환원 미생물)



미생물에 의한 동위원소 분별작용에서 APS 환원효소의 역할



연구자 이력사항: 심민섭 교수

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 지구환경과학부 교수
- 전 화 : 02-880-6632
- E-mail : mssim@snu.ac.kr



2. 학력

- 1998 - 2002 서울대학교 학사
- 2002 - 2004 서울대학교 석사
- 2007 - 2012 Massachusetts Institute of Technology (MIT) 박사

3. 경력사항

- 2012 - 2013 Northwestern University 박사후 연구원
- 2013 - 2016 California Institute of Technology (Caltech) 박사후 연구원
- 2016 - 현재 서울대학교 조교수

4. 기타 정보

- 연구논문 "Large sulfur isotope fractionation does not require disproportionation" Science지 게재, 2018년까지 270여 회 피인용 (2011)
- Agouron Geobiology Fellowship (2012-2014)
- 자연과학대학 우수강의상, 서울대학교 (2018)