



嫌気性菌に特有の抗酸化酵素

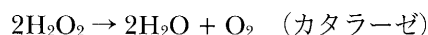
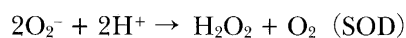
川崎 信治

嫌気性菌は環境浄化やバイオエネルギー生産、ヘルスケアなど、各種バイオ産業での活躍が期待されている。しかし酸素存在下で生育が阻害されることから、取り扱いの難しい菌として一般に認識されている。ではなぜ酸素に感受性を示すのか？という疑問については明確な回答に乏しい。微生物学の教科書には、「カタラーゼやSODなどの抗酸化酵素活性が弱い、もしくは欠如することが主な原因で、酸素に対して致死性を示す」とあり¹⁾。研究論文や学会でも、この論理は主流となっており、いわば、嫌気性菌は抗酸化力に弱いから酸素下で死滅する、というのが古くからの通説である。

しかし、人類が分離した嫌気性菌は、ほぼすべてが酸素に容易に接しうる環境に生息している。温泉、汚泥、動物の腸内など、嫌気性菌が好む環境にも酸素は頻繁に入ってくる。嫌気性菌は本当に抗酸化力に弱いのだろうか。本稿では、近年解明が進んできた嫌気性菌の抗酸化機構や酸素応答機構について紹介したい。

嫌気性菌という言葉の範疇には多くの菌属菌種が含まれる。メタン生成菌や硫酸還元菌などのアーキアをはじめ、クロストリジウムやビフィズス菌などの発酵菌は身近な代表例である。その多くは20世紀初頭には嫌気性菌としての立場を確立している。分離・同定に関する論文には抗酸化酵素に関する記述も多く、その多くはカタラーゼやSODなどの抗酸化酵素活性に乏しいことを報告している。しかし、嫌気性菌の酸素応答に関する研究やゲノム解読が進むにつれ、嫌気性菌に特有の抗酸化酵素の存在や、酸素に対するすぐれた分子応答機構の存在が徐々に明らかとなってきた。以下に具体例を紹介する。

酸素は還元されるとスーパーオキシドアニオン(O_2^-)、過酸化水素(H_2O_2)、そして水(H_2O)になる。酸素毒性は、 O_2^- や H_2O_2 などの活性酸素が生体分子と高い反応性を示すことから引き起こされる。酸素を好む生物では活性酸素を消去するためにSODやカタラーゼが活発に働いている(反応式)。



ここで注目すべきことは、いずれの反応も反応産物として酸素(O_2)を生じることだ。活性酸素を防御するために再び O_2 を生み出す反応は O_2 分子そのものに対しては無防備である。これに対してJenneyらは1999年、硫酸還元菌に O_2^- を還元するsuperoxide reductase (SOR)の存在を報告した²⁾。SORはNAD(P)Hの還元力を間接的に利用して $O_2^- \rightarrow H_2O_2$ の反応を触媒する。以来、多くの嫌気性菌にSORの存在が報告され、 O_2 を生じないことから嫌気性菌にとって有利な酵素反応であると推定されている。また H_2O_2 に対しては1999年にCoulterらが、rubrerythrinがNADHの還元力を間接的に利用して $H_2O_2 \rightarrow H_2O$ の反応を触媒することを報告した³⁾。Rubrerythrinも嫌気性菌に広く分布する鉄含有タンパク質で、本反応も O_2 を生じない。代表的な偏性嫌気性菌クロストリジウムは、生育途中に酸素が混入すると、これら抗酸化酵素だけでなく O_2 を H_2O に直接還元する酵素や他の機能未知酵素をコードする遺伝子群を数分以内に大量誘導し、その後は低酸素濃度下であれば活発に有酸素生育を行うことができる⁴⁾。嫌気性菌は酸素の存在を敏感に感知し、かつ酸素や活性酸素を還元的に消去する優秀な能力を有していたのである。

嫌気性菌がカタラーゼやSOD活性に乏しいのは当然なのかもしれない。酸素は正常な嫌気発酵代謝を狂わす強い酸化力をもつ。嫌気性菌は抗酸化力に弱いというよりは、むしろ“文字通り”酸素が嫌いで、「常に酸素を意識して生活している」という新しい姿が見えてきた。

- 1) スタニエラ：微生物学，培風館，Brock 微生物学 オーム社など。
- 2) Jenney Jr., F. E. *et al.*: *Science*, **286**, 306 (1999).
- 3) Coulter, E. D. *et al.*: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **255**, 317 (1999).
- 4) Kawasaki, S. *et al.*: *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 8442 (2005).