

Superoxide Dismutase (SOD) — 食品・化粧品・研究開発向け酸化ストレス制御酵素原料

Enzymes.bio リサーチチーム・ニュージーランド・ウェリントン・June 18, 2026

Superoxide Dismutase (SOD、スーパーオキシドディスムターゼ) は、スーパーオキシドアニオンを酸素と過酸化水素へ不均化する抗酸化酵素で、酸化ストレス制御の初期段階に参与します。食品・サプリメント、化粧品、バイオ研究、材料・分析用途では、「総抗酸化」ではなくスーパーオキシドという特定の活性酸素種を標的にできる点が実務上の価値になります。Enzymes.bioは製造業者・研究機関ではなく、Superoxide Dismutaseを1 kg単位でオンライン直接販売する酵素原料供給業者であり、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

Superoxide Dismutase とは何か：スーパーオキシドを起点で制御する酵素

Superoxide Dismutaseは、酸素を利用する生物に広く存在する抗酸化酵素群です。ミトコンドリア呼吸、金属イオンを介した酸化還元反応、炎症性細胞応答、紫外線や環境ストレスなどでは、スーパーオキシドアニオンが発生します。スーパーオキシドはそれ自体が反応性を持つだけでなく、他の活性酸素種や酸化的連鎖反応の起点にもなり得るため、SODは酸化ストレス防御の「入口」を制御する酵素として扱われます^[1]。

SODの基本反応は、2分子のスーパーオキシドを酸素と過酸化水素へ変換する不均化反応です。一般に次の式で表されます。



この反応で重要なのは、SODが単に「抗酸化物質」として還元力を提供するのではなく、金属中心を用いて電子移動を触媒する酵素である点です。Cu/Zn-SOD、Mn-SOD、Fe-SODなどは金属中心の種類が異なり、細胞内局在や生物種、酸化ストレス応答における役割も異なります。Cu-Zn Superoxide Dismutaseを用いた研究では、スーパーオキシドラジカルの不均化に基づく反応が金ナノ粒子の局在表面プラズモン共鳴変化として観察されており、SOD反応が分析・材料系でも利用可能な化学現象であることを示しています^[2]。

「superoxide dismutase wiki」のような検索では、SODはしばしばSOD1、SOD2、SOD3というヒトの主要アイソフォームとして説明されます。SOD1 Superoxide Dismutaseは一般に銅・亜鉛型、SOD2はマンガン型、SOD3は細胞外型として扱われ、研究文脈では“cu zn superoxide dismutase”“manganese superoxide dismutase”“extracellular superoxide dismutase”といった関連語で検索されます。B2B原料としてのSODを理解する際にも、このアイソフォーム差は「どの活性酸素環境を想定するか」を考えるための基礎になります^[1]。

SODの反応機序：金属中心が電子を受け渡す

SODの触媒機構は、スーパーオキシドの酸化と還元を同じ酵素サイクル内で進める点に特徴があります。金属中心はまずスーパーオキシドから電子を受け取り、続いて別のスーパーオキシドへ電子を渡すことで、酸素と過酸化水素を生成します。Fe-SODに関する理論研究では、鉄中心を持つSODがスーパーオキシドラジカルアニオンとアスコルビン酸の反応に関与する機構が検討されており、金属中心の酸化還元状態がSOD様反応の理解に重要であることが示されています^[3]。

実務上は、SOD反応の生成物である過酸化水素も考慮する必要があります。過酸化水素はスーパーオキシドより寿命が長く、膜透過性や二次的な酸化反応への関与が異なります。そのため、食品、化粧品、細胞研究、発酵・バイオプロセスでは、SODを「酸化ストレスをゼロにする酵素」と見るのではなく、「スーパーオキシドを過酸化水素へ変換し、その後のカタラーゼ、ペルオキシダーゼ、グルタチオン系などの処理へつなぐ酵素」と捉える方が正確です^[1]。

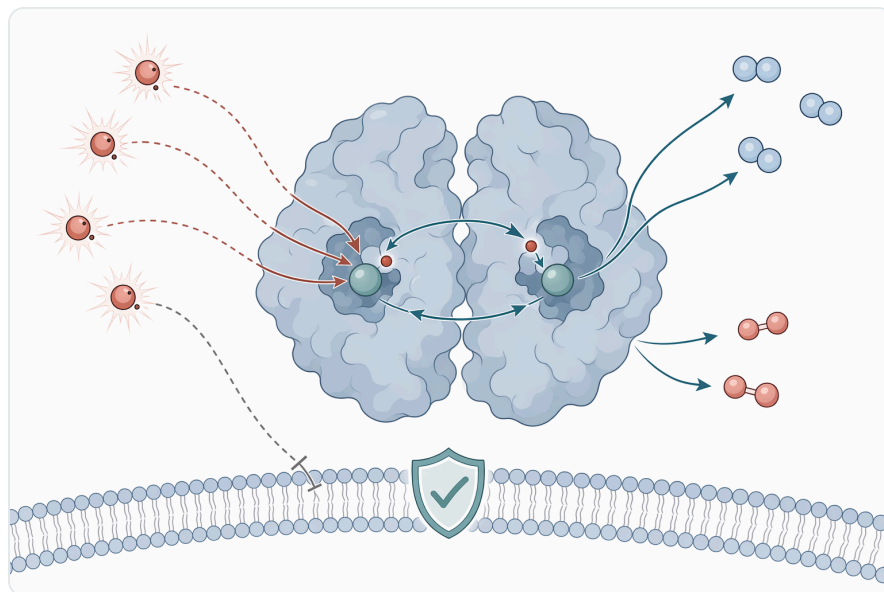


Figure 1. 슈퍼옥사이드 디스뮤타아제는 두 개의 슈퍼옥사이드 라디칼과 두 개의 양성자를 산소와 과산화수소로 전환하는 반응을 촉매한다.

SOD1に関連する疾患研究は、SODの構造安定性と金属結合の重要性を示す代表例です。金属を欠いたSOD1が生理的条件下で可溶性オリゴマーを形成し得ることが報告され、家族性ALSとの関連機序として議論されています^[4]。また、ALS関連SOD1変異体の凝集産物がミトコンドリア膜を障害する可能性も検討されており、SODは「抗酸化酵素」であると同時に、構造状態や局在が生物学的影響を左右するタンパク質でもあります^[5]。

主要なSODタイプと用途上の見方

SODには複数のタイプがあり、金属中心、局在、想定される酸化ストレス環境が異なります。製品設計では、名称だけでなく、cu zn superoxide dismutase、copper zinc superoxide dismutase、manganese superoxide dismutase、extracellular superoxide dismutase などの違いを理解しておく、処方・研究モデルでの説明が明確になります。

SODタイプ・検索語	主な金属中心	代表的な生物学的位置づけ	用途上の意味
Cu/Zn-SOD、copper zinc superoxide dismutase、superoxide dismutase cu zn	銅・亜鉛	細胞質型SOD1として説明されることが多い	酵素反応の説明性が高く、抗酸化酵素原料として一般的に理解されやすい
Mn-SOD、manganese superoxide dismutase、superoxide dismutase 2	マンガン	ミトコンドリア型SOD2として説明されることが多い	ミトコンドリア由来スーパーオキシド、細胞ストレス、炎症研究との関連が強い
EC-SOD、extracellular superoxide dismutase	銅・亜鉛型に分類される細胞外SOD	細胞外マトリックスや組織外環境の酸化ストレス制御	外用、組織環境、細胞外酸化ストレスの説明に使いやすい
Fe-SOD	鉄	細菌、植物、藻類などで報告される	微生物・植物ストレス応答や工業酵素研究で重要
SOD様ミメティック、ナノザイム	金属錯体・無機材料など	天然酵素ではなくSOD様活性を持つ設計材料	安定性、材料表面、分析デバイス用途で研究されるが、天然SODとは区別が必要

細胞外SODに関しては、Fusarium oxysporum由来のSod5が外部刺激に応答して局在し、真菌病原性に寄与することが報告されています。これはヒトSOD3そのもの話ではありませんが、細胞外でスーパーオキシド制御に関与するSODが微生物の環境応答や宿主相互作用にも関わり得ることを示す例です^[6]。

植物では、FeSOD1が銅依存的にARGONAUTE 1を保護することがArabidopsis thalianaで報告されており、SODが単なる酸化損傷防御にとどまらず、植物細胞内のタンパク質機能維持やストレス応答ネットワークにも関与することが示唆されています^[7]。このような知見は、食品原料や植物由来素材におけるSODを理解するうえで有用です。

科学的根拠の強さ：確立した酵素機能と、用途ごとの制約

SODがスーパーオキシドを不均化する酵素であることは、酵素学的には確立した知見です。一方で、外因性SODを食品、サプリメント、化粧品、研究材料として使用した場合の性能は、処方、加工条件、送達、安定性、周辺の酸化還元系に強く依存します。SOD投与に関するレビューでは、ヒト利用として提案されてきた用途が整理されている一方、効果の解釈には投与形態や対象条件を区別する必要があることが示されています^[1]。

食品・サプリメント用途で注意すべき点は、SODがタンパク質酵素であることです。低分子抗酸化成分とは異なり、熱、pH、消化酵素、酸化剤、界面環境によって立体構造や金属中心の状態が変化すると、酵素としての機能が低下する可能性があります。したがって「superoxide dismutase food」や「how to increase superoxide dismutase」という検索意図に対しては、摂取や配合だけでなく、内因性抗酸化酵素の発現、食品マトリックス、安定化設計を切り分けて説明する必要があります^[1]。

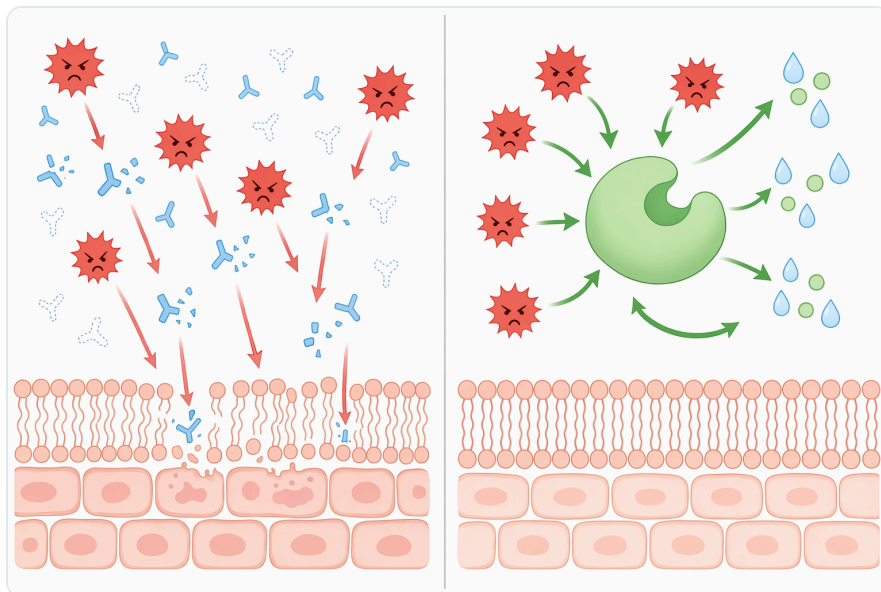


Figure 2. 주요 SOD 계열과 동형 효소는 금속 보조인자와 생물학적 위치가 서로 다르지만, 슈퍼옥사이드를 불균등화하는 동일한 핵심 기능을 수행한다.

一方、SODの活性や安定性を高める研究も進んでいます。クルミとクロスグリを潜在的なニュートラシューティカル素材として評価した研究では、耐熱性を持つSOD酵素源としての可能性が報告されています^[8]。また、計算科学によるSODの探索・再設計では、活性と耐熱性の改善を狙った酵素

工学的アプローチが示されており、天然由来SODだけでなく設計型SODへの関心も高まっています[9]。

食品・機能性食品でのSOD：酸化ストレス訴求と安定性の両立

食品・機能性食品分野では、SODは「抗酸化酵素」というわかりやすい訴求を持つ一方、実際の価値はスーパーオキシドに対する酵素的反応にあります。植物、穀類、果実、微生物由来素材などは、SOD活性や酸化ストレス応答の観点から研究されており、農作物の耐性や栄養素材としての評価にも関連します。トリチケールの乾燥ストレス研究では、SODが収量選抜指標として検討され、ゲノム、発現、遺伝率、表現型変動の観点から総合的に解析されています[10]。

植物ストレス研究では、SODは塩ストレス、乾燥ストレス、浸透圧ストレスへの応答指標として頻繁に扱われます。たとえば、*Trichoderma harzianum*とバイオチャーを組み合わせたハウレンソウの塩ストレス緩和研究では、植物のストレス応答と抗酸化酵素系が評価されています[11]。ヒマの種子・実生に関する研究でも、NaClやPEGによるストレス条件下で、遺伝子型にあらかじめ備わったSOD活性が発芽性や初期生育と関連することが報告されています[12]。

食品設計でSODを扱う場合、SODそのものの添加と、体内または植物組織内でSODを増やす発想は区別されます。前者は酵素原料としての配合設計であり、後者は栄養成分、植物抽出物、発酵素材などが内因性抗酸化酵素系に与える影響を扱う研究文脈です。ジンセノシドReがHaCaTケラチノサイトにおいてグルタチオンとSODを上方制御し、細胞の酸化還元恒常性に関与することを示した研究は、外因性SOD添加とは異なる「SODを増やす」方向の例です[13]。

化粧品・パーソナルケアでのSOD：皮膚表面の酸化ストレス説明に適した酵素

化粧品分野でSODが注目される理由は、紫外線、都市型汚染、炎症性刺激、金属イオン、皮脂酸化などに関連する活性酸素種を、機序に基づいて説明しやすいからです。SODは「total superoxide dismutase」という総量的な抗酸化指標としてではなく、スーパーオキシドを標的とする酵素として位置づけると、ビタミン、ポリフェノール、キレート剤、保湿成分、バリアサポート成分との差別化が明確になります[1]。

皮膚細胞研究では、外部からSODを加えるだけでなく、細胞内のSOD発現やグルタチオン系を調整する成分も評価されます。ジンセノシドReがケラチノサイトの酸化還元恒常性に関わることを示した研究は、SODを含む抗酸化防御が皮膚関連細胞の基礎研究で重要視されていることを示します[13]。この知見は化粧品原料の効能を直接保証するものではありませんが、皮膚酸化ストレスを説明する基礎機序として有用です。

近年は、manganese superoxide dismutaseの耐熱性や活性を高めるタンパク質工学研究も化粧品・抗炎症応用を視野に進められています。タンパク質言語モデルを用いたMnSOD改変研究では、耐熱性と活性向上を狙った設計が報告され、スキンケア用途への展開可能性が言及されています^[14]。ただし、これは特定の改変酵素に関する研究であり、すべての市販SOD原料が同じ安定性を持つことを意味しません。

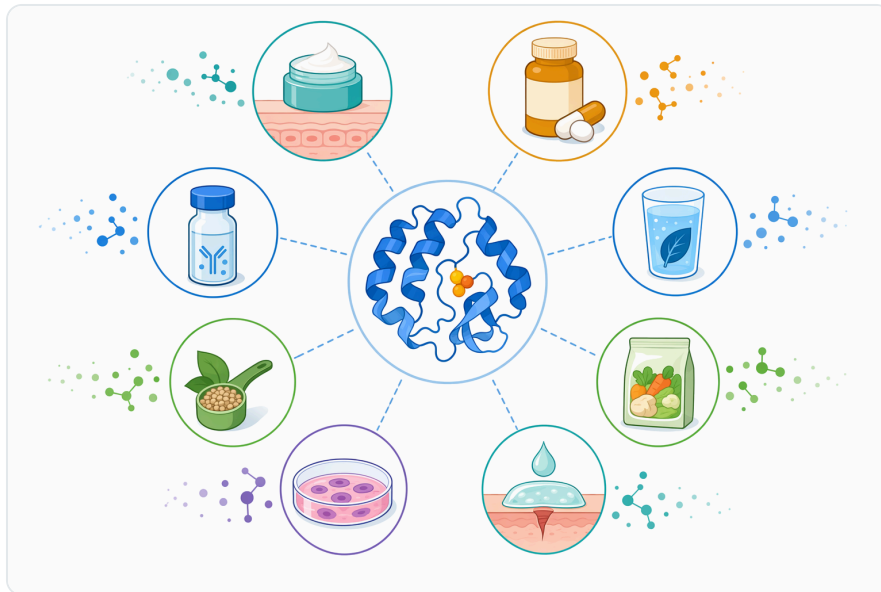


Figure 3. SOD는 보충제, 화장품, 식품 및 음료, 연구 분야와 관련이 있는데, 각 분야에서 슈퍼옥사이드 조절을 서로 다른 방식으로 활용할 수 있기 때문이다.

化粧品処方では、SODは水相、乳化系、ゲル、パウダー、カプセル化素材など複数の形で検討されます。タンパク質酵素であるため、過度な加熱、強酸・強アルカリ、強い酸化剤、金属不純物、界面活性剤、香料、保存料との相互作用により、構造や機能が影響を受ける可能性があります。製品設計では、SODを「添加する」だけでなく、酵素が働く環境を維持できるかが重要です^[1]。

バイオ研究・細胞研究でのSOD：酸化還元モデルの解像度を高める

バイオ研究では、SODはスーパーオキシドの寄与を切り分けるための有用な酵素です。酸化ストレス、炎症、ミトコンドリア機能、細胞死、神経変性、虚血再灌流、組織修復などの研究では、スーパーオキシドと過酸化水素、ヒドロキシラジカル、過酸化脂質を区別する必要があります。SODはこのうちスーパーオキシドを直接処理するため、低分子抗酸化剤とは異なる介入手段として使われます^[1]。

SOD1関連研究は、酸化ストレス研究とタンパク質凝集研究の接点を示します。金属を欠いたSOD1のオリゴマー化、ALS関連変異体の凝集、ミトコンドリア膜への影響は、SOD活性だけでなく、タンパク質の折りたたみ、金属結合、細胞内局在が生物学的結果を左右することを示しています^[4]。

したがって、研究用途でSODを扱う場合も、「SODを加えたから抗酸化」という単純な解釈ではなく、対象系の酸化還元バランスとタンパク質状態を併せて考える必要があります。

生体サンプルの酸化ストレス指標としても、SODはカタラーゼやグルタチオンペルオキシダーゼと並んで測定対象になります。唾液中のSOD、グルタチオンペルオキシダーゼ、カタラーゼを、たばこ習慣の有無で比較した研究では、口腔環境における抗酸化酵素群が酸化ストレス評価に使われています^[15]。これはSOD原料の用途を直接示すものではありませんが、SODが酸化還元状態の実務的な指標として広く扱われることを示します。

材料・分析・工業応用：天然SODとSOD様ミメティックを区別する

SODの機能は、生体内だけでなく材料・分析用途にも展開されています。Cu-Zn SODによるスーパーオキシドラジカル不均化を利用して金ナノ粒子をエッチングし、局在表面プラズモン共鳴を大きく変化した研究は、SOD反応が光学応答へ変換できることを示しています^[2]。このような例では、SODは単なる抗酸化成分ではなく、反応選択性を持つバイオ触媒として扱われます。

SOD様活性を持つ無機材料や金属錯体も研究されています。セリア中空球を用いたSOD様の光電気化学バイオセンシング研究では、アスコルビン酸検出のためにSOD様性質が利用されています^[16]。また、蛍光標識されたマンガンSODミメティックの細胞内運命を、X線吸収分光やX線蛍光顕微鏡で調べた研究は、SOD様化合物が細胞内でどのように分布・変化するかを理解する重要性を示しています^[17]。

ただし、SOD様ミメティック、ナノザイム、金属錯体は、天然のenzyme superoxide dismutaseとは同一ではありません。安定性、反応選択性、細胞内移行、安全性、規制上の扱いが異なるため、原料説明では「SOD」と「SOD様活性」を明確に区別する必要があります。SODミメティックであるMnTE-2-PyPCI5の熱安定性や保存性に関する研究は、SOD様治療・研究材料では安定性評価が中心課題になり得ることを示しています^[18]。

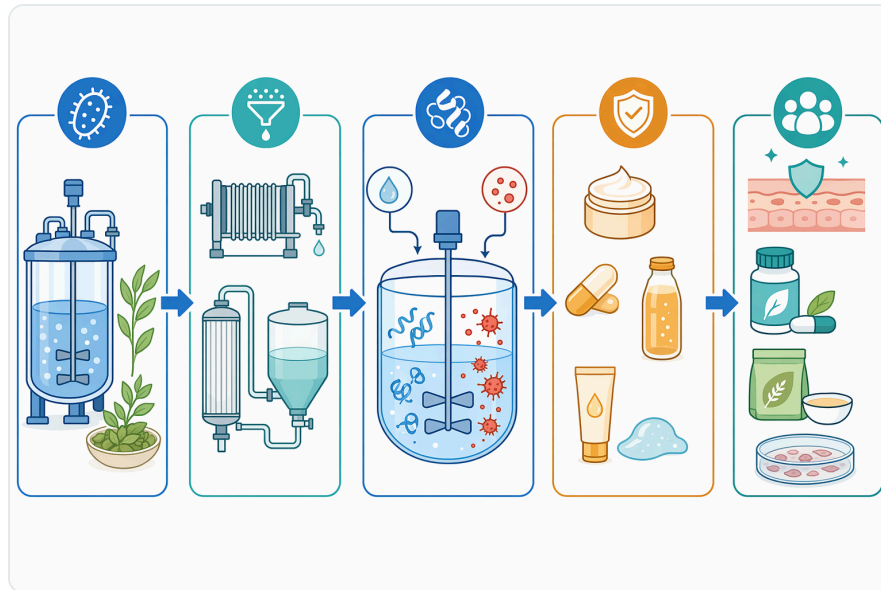


Figure 4. 경구용 SOD 개념에서는 단백질 효소의 안정성, 기질과의 적합성, 전달 방식, 그리고 적절히 제한된 항산화 지원 관련 표시 문구를 고려해야 한다.

安定性と酵素工学：SOD原料で注目される設計課題

SODの実用化では、酵素活性の有無だけでなく、処方・加工・保存・輸送の過程で立体構造を維持できるかが重要です。天然SODは由来により安定性が異なり、植物、微生物、動物、組換え発現系などで性質が変わります。耐熱性SOD源として植物素材を探索する研究や、計算科学でSODの耐熱性と活性を同時に改善する研究は、産業利用において安定性が主要テーマであることを示しています^{[8][9]}。

タンパク質工学の観点では、SODは比較的明確な金属中心と反応機構を持つため、構造改変の対象になりやすい酵素です。Lactococcus lactis subsp. cremoris MG1363由来SODのモデリング、変異導入、in silico構造安定性評価に関する研究は、乳酸菌由来酵素を含む微生物SODでも構造安定性が検討対象になることを示しています^[19]。さらに、心筋虚血再灌流障害の研究を見据えたSOD工学では、心保護的バイオ触媒としての改良が報告されています^[20]。

こうした酵素工学研究は、SODの将来性を示す一方、B2B原料ページでは過度に一般化してはいけません。特定論文で示された高耐熱性、活性向上、疾患モデルでの効果は、その研究で用いられた配列、変異、製剤、投与経路、評価系に依存します。Enzymes.bioのような供給業者が提供するSOD原料については、製造者のように独自改変や臨床効果を主張するのではなく、SODという酵素クラスの機能と用途上の考え方を正確に説明することが重要です。

用途別に見たSODの利点と限界

SODの利点は、抗酸化機序が明確であることです。一般的な抗酸化成分は複数のラジカルや酸化還元反応に広く作用しますが、SODはスーパーオキシド不均化という特定反応を触媒します。このため、処方説明、研究設計、製品コンセプトにおいて「どの酸化種を制御したいのか」を明確化しやすくなります^[1]。

一方で、SODには限界もあります。第一に、過酸化水素を生成するため、過酸化水素処理系を含めた酸化還元バランスを考える必要があります。第二に、タンパク質酵素であるため、熱、pH、溶媒、界面、酸化剤、消化環境に影響されます。第三に、食品や化粧品における体感価値、臨床的有用性、疾患予防効果は、SOD原料単体の性質だけでは説明できません^[1]。

用途領域	SODが担いやすい役割	実務上の注意点
食品・機能性食品	酸化ストレス、抗酸化酵素、植物・発酵素材の機能説明	加工熱、pH、消化環境、食品マトリックスによる影響
化粧品・パーソナルケア	紫外線・汚染・皮脂酸化に関連するスーパーオキシド対策の説明	水相安定性、保存料・香料・界面活性剤との相性、光・酸素曝露
バイオ研究	スーパーオキシド寄与の切り分け、細胞酸化還元モデルの制御	過酸化水素生成、他の抗酸化酵素系とのバランス
材料・分析	SOD反応を光学・電気化学・表面反応へ変換	天然SODとSOD様ミメティックの区別
農業・植物研究	乾燥、塩、金属ストレス応答の指標	SOD活性は多くのストレス応答因子の一部にすぎない

重金属ストレスや環境ストレスでもSODは重要な指標になります。ミツバチを用いた研究では、銅、鉛、カドミウムの亜致死濃度がレドックス状態、SOD、カタラーゼに与える影響が検討されており、生物が環境負荷に応答する際の抗酸化酵素系の変化が示されています^[21]。このような研究は、SODが食品・化粧品に限定されず、環境毒性や生物ストレス評価にも関わることを示します。

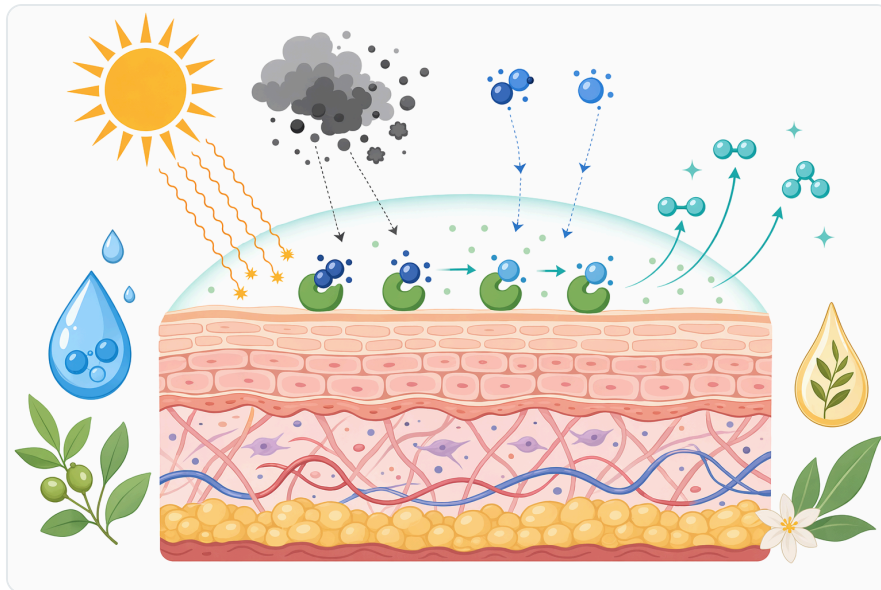


Figure 5. 국소용 SOD 개념은 피부와 관련된 산화 환경에서 슈퍼옥사이드 라디칼을 표적으로 하는 데 기반하며, 최종 성능은 제형과 시험 결과에 따라 달라진다.

Enzymes.bioにおけるSuperoxide Dismutaseの位置づけ

Enzymes.bioは、Superoxide Dismutaseを1 kg単位でオンライン直接販売する酵素原料供給業者です。製造業者や研究所ではないため、独自製造、独自試験、臨床的有効性、特定疾患への効果を主張する立場ではありません。本ページでの情報は、SODの作用機序、科学的背景、用途上の考え方を整理し、食品、化粧品、研究開発、材料・産業用途の担当者が原料の役割を理解しやすくなるための技術解説です。

製品はオンラインで1 kg単位にて購入でき、オンライン決済後に注文処理と配送が進みます。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。サンプル、見積、卸売、大量注文を前提とする販売導線ではなく、必要数量を明確に選択して購入する企業ユーザー向けのオンライン販売形態です。

SODを製品設計に組み込む際は、「抗酸化」という広い表現だけでなく、スーパーオキシド不均化、過酸化水素生成、周辺の抗酸化酵素系、タンパク質としての安定性を含めて説明することで、技術文書としての説得力が高まります。特に、superoxide dismutase 1、superoxide dismutase 2、cu zn superoxide dismutase、manganese superoxide dismutase、extracellular superoxide dismutase といった関連検索語は、単なるSEO語ではなく、SODの種類と用途理解を深めるための実質的な分類語です^[1]。

まとめ：SODは「総抗酸化」ではなくスーパーオキシド制御酵素として扱う

Superoxide Dismutaseは、スーパーオキシドを酸素と過酸化水素へ変換する酵素であり、酸化ストレス制御の初期段階を担います。Cu/Zn-SOD、Mn-SOD、Fe-SOD、細胞外SODなどの違いは、金属中心、局在、用途説明に関わるため、B2B文書では「SOD」と一括りにするだけでなく、想定用途に応じた説明が有効です^[2]。

食品・機能性食品、化粧品、バイオ研究、植物ストレス研究、材料・分析用途では、SODの機序の明確さが利点になります。一方で、SODはタンパク質酵素であり、安定性、加工条件、処方環境、過酸化水素処理系に左右されます。疾患治療、老化防止、完全な酸化損傷防御といった過度な表現ではなく、スーパーオキシド制御を目的とした酵素原料として位置づけることが、科学的にも商業文書としても適切です^[1]。

Enzymes.bioのSuperoxide Dismutaseは、1 kg単位でオンライン購入できる酵素原料です。注文時にはCoAとSDSが併せて提供され、食品・化粧品・研究開発・産業用途での社内検討や製品設計において、SODの明確な反応機序を活かした酸化ストレス制御コンセプトの構築に利用できます。

Superoxide Dismutaseをオンライン注文

1 kg単位で販売、在庫あり・即出荷可能です。オンラインストアで直接ご注文・決済いただければ、当社で注文を処理します。すべてのご注文に試験成績書（CoA）と安全データシート（SDS）が付属します。

[Superoxide Dismutaseを購入 →](#)

参考文献

初出引用順に番号を付けています。各出典はオープンアクセスで、公開時にアクセス可能であることを確認済みです。本文中の引用番号からこちらにリンクしています。

1. Rosa, A. C., Corsi, D., Cavi, N., Bruni, N., & Dosio, F. (2021). Superoxide Dismutase Administration: A Review of Proposed Human Uses. *Molecules*, 26.
2. Eghtedari, M., Porzani, S. J., Javanmardi, M., Ganjali, M., & Hosseinkhani, S. (2021). Etching of AuNPs Through Superoxide Radical Dismutation by Cu-Zn Superoxide Dismutase Resulted in Remarkable Changes of its Localized Surface Plasmon Resonance. *Iranian Journal of Biotechnology*, 19, e2741 - e2741.

3. Tiwari, M., & Mishra, P. C. (2016). Catalytic role of iron-superoxide dismutase in hydrogen abstraction by super oxide radical anion from ascorbic acid. *RSC Advances*, 6, 86650-86662.
4. Banci, L., Bertini, I., Durazo, A., Girotto, S., Gralla, E. B., Martinelli, M., Valentine, J., ... et al. (2007). Metal-free superoxide dismutase forms soluble oligomers under physiological conditions: A possible general mechanism for familial ALS. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 11263 - 11267.
5. Salehi, M., Nikkhah, M., Ghasemi, A., & Arab, S. (2015). Mitochondrial membrane disruption by aggregation products of ALS-causing superoxide dismutase-1 mutants. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 290-7 .
6. Wang, Q., Pokhrel, A., & Coleman, J. J. (2021). The Extracellular Superoxide Dismutase Sod5 From *Fusarium oxysporum* Is Localized in Response to External Stimuli and Contributes to Fungal Pathogenicity. *Frontiers in Plant Science*, 12.
7. Tomassi, A. H., Perea-García, A., Rodrigo, G., Sánchez-Vicente, J., Cisneros, A. E., Olmos, M., Andrés-Bordería, A., ... et al. (2025). Arabidopsis thaliana iron superoxide dismutase FeSOD1 protects ARGONAUTE 1 in a copper-dependent manner. *bioRxiv*, 76, 5465 - 5480.
8. Selvaraj, K., Katare, D., Kumar, P., & Chaudhary, N. (2019). Juglans regia and Ribes nigrum as potential nutraceuticals: Source of thermostable superoxide dismutase enzyme. *Journal of food biochemistry*, 43 5, e12823 .
9. Meng, G., Li, L., Wang, L., Zhang, Y., Zhang, L., Ji, J., Chen, S., ... et al. (2025). Computational mining and redesign of superoxide dismutase with activity-thermostability improvement. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141871 .
10. S., A., Sohrabi, F., Fasihfar, E., Bani-Asadi, F., Riasat, M., & Mozafari, A. (2021). Superoxide dismutase (SOD) as a selection criterion for triticale grain yield under drought stress: a comprehensive study on genomics and expression profiling, bioinformatics, heritability, and phenotypic variability. *BMC Plant Biology*, 21.
11. Sofy, M., Mohamed, H., Dawood, M., Abu-Elsaoud, A., & Soliman, M. (2021). Integrated usage of *Trichoderma harzianum* and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68, 2005 - 2026.
12. Cunha, D. P., Neto, V. G., Santos, I. D., Andrade, M., Takahashi, D., Loureiro, M., Fernandez, L. G., ... et al. (2024). Castor (*Ricinus communis* L.) differential cell cycle and metabolism reactivation, germinability, and seedling performance under NaCl and PEG osmoticum: Stress tolerance related to genotype-preestablished superoxide dismutase activity. *Plant physiology and biochemistry : PPB*, 207, 108372 .
13. Lim, H., Kim, K., & Lim, C. (2016). Contribution of ginsenoside Re to cellular redox homeostasis via upregulating glutathione and superoxide dismutase in HaCaT keratinocytes under normal conditions. *Pharmazie*, 71 7, 413-419 .
14. Zhang, N., Deng, Y., Li, R., Liu, F., Wei, D., Ren, Z., Jin, X., ... et al. (2025). Engineering a Manganese Superoxide Dismutase with Enhanced Thermostability and Activity via Protein Language Models:

Toward Antioxidant and Anti-inflammatory Applications in Biomedicine and Skincare. *Free Radical Biology & Medicine*.

15. Azeemuddin, S., Godavarthy, D., Kumar, K., Poosarla, C., Reddy, G., & Reddy, B. (2021). Estimation of salivary superoxide dismutase, glutathione peroxidase, catalase individuals with and without tobacco habits. *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*, 10, 27 - 32.
16. Mao, A., Zhang, Y., Xu, Q., Li, J., & Li, H. (2023). Superoxide dismutase-like cerium dioxide hollow sphere-based highly specific photoelectrochemical biosensing for ascorbic acid. *Talanta: The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*, 269, 125472 .
17. Weekley, C., Kenkel, I., Lippert, R., Wei, S., Lieb, D., Cranwell, T., Wedding, J. L., ... et al. (2017). Cellular Fates of Manganese(II) Pentaazamacrocyclic Superoxide Dismutase (SOD) Mimetics: Fluorescently Labeled MnSOD Mimetics, X-ray Absorption Spectroscopy, and X-ray Fluorescence Microscopy Studies. *Inorganic Chemistry*, 56 11, 6076-6093 .
18. Maia, C. G. C., Araujo, B. C. R., Freitas-Marques, M. D., Costa, I. F., Yoshida, M., Nova Mussel, W., Sebastião, R., ... et al. (2021). Thermal Stability Kinetics and Shelf Life Estimation of the Redox-Active Therapeutic and Mimic of Superoxide Dismutase Enzyme, Mn(III) meso-Tetrakis(N-ethylpyridinium-2-yl)porphyrin Chloride (MnTE-2-PyPCI5, BMX-010). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021.
19. Gholampour-Faraji, N., Monir-Shakeri, Hemmat, J., Rastegar-Moghadam, M., & Haddad-Mashadrizeh, A. (2020). Modeling, Mutagenesis and In-silico Structural Stability Assay of the Model of Superoxide Dismutase of Lactococcus Lactis Subsp. Cremoris MG1363. *Iranian Journal of Biotechnology*, 18, e2256 - e2256.
20. Zhao, B., Peng, J., Chen, C., Fan, Y., Zhang, K., Zhang, Y., & Huang, X. (2024). Innovative engineering of superoxide dismutase for enhanced cardioprotective biocatalysis in myocardial ischemia-reperfusion injury. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137656 .
21. Nikolić, T. V., Kojić, D., Orčić, S., Batinić, D., Vukašinić, E. L., Blagojević, D., & Purać, J. (2016). The impact of sublethal concentrations of Cu, Pb and Cd on honey bee redox status, superoxide dismutase and catalase in laboratory conditions. *Chemosphere*, 164, 98-105 .


Enzymes.bioへお問い合わせ

ご注文に関するご質問は、当社チームが喜んでサポートします。

メール wholesale@enzymes.bio

電話（米国） **+1 (507) 428-6057**

[お問い合わせ →](#)

 **400+** B2B顧客

 **60+** 大学研究パートナー

 **54** 世界各国に供給

© 2026 Enzymes.bio · 産業用 · 食品加工用酵素の供給 · 人の摂取用または小売販売用ではありません。