

# Superoxide Dismutase ( SOD / 超氧歧化酶 ) 中文技術指南：食品、保養品、飼料與研究配方中的抗氧化應用

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 21, 2026

Superoxide dismutase ( SOD , 中文常譯為超氧歧化酶或超氧化物歧化酶 ) 是一類以金屬中心催化超氧陰離子歧化反應的抗氧化酵素，主要功能是將  $O_2^{\cdot-}$  轉換為氧氣與過氧化氫。在 B2B 應用上，SOD 常被納入保養品、功能性食品概念、飼料、農業壓力研究、分析系統與氧化還原材料設計中，但實際效果高度取決於來源型態、配方穩定性、給予路徑與下游過氧化氫處理策略。

Enzymes.bio 供應 Superoxide Dismutase 供企業線上以 1 kg 單位購買；CoA 與 SDS 會隨訂單提供，用於客戶內部文件與合規流程。

## Superoxide Dismutase 是什麼：中文名稱、發音與核心功能

Superoxide dismutase 中文常見譯名包括「超氧歧化酶」與「超氧化物歧化酶」；英文發音可近似理解為 *soo-per-OX-ide dis-MYOO-tase*，中文技術文件通常直接使用縮寫 SOD。若使用者搜尋「superoxide dismutase wiki」，通常會看到它被定義為一群金屬酵素，而在產品開發語境中，更重要的是理解其**反應對象**、**金屬型態**、**定位與配方限制**，而不只是把它歸類為一般抗氧化劑。SOD 的共同功能是催化超氧陰離子自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 歧化，這也是 superoxide dismutase function 最核心的生化意義；綜述文獻將其視為細胞抗氧化防禦網路的關鍵第一步之一 [1]。

其基本反應可簡化為：兩個超氧陰離子在質子參與下轉換為氧氣 ( $O_2$ ) 與過氧化氫 ( $H_2O_2$ )。這一點對配方設計很重要：SOD 不是把所有活性氧「一次清除」，而是專一處理超氧；反應產物  $H_2O_2$  仍需由 catalase、peroxidase、穀胱甘肽系統或其他抗氧化網路進一步管理。換言之，SOD 的價值在於把高反應性的超氧導入較可控的氧化還原路徑，而不是單獨完成所有抗氧化任務 [1]。

在產業語境中，「superoxide dismutase activity」通常指材料或酵素樣品催化超氧歧化反應的能力；本文不列出活性單位、等級或分析方法，因為這些屬於批次文件與產品規格範圍。對配方開發者而言，比單一數字更值得關注的是：SOD 是否能在目標 pH、溫度、水活性、界面活性劑、金屬離子與儲存條件下保持功能，以及是否能與產品中其他抗氧化成分協同而非互相干擾。近年對耐受型 SOD、極端環境來源 SOD 與蛋白工程改造 SOD 的研究，正是為了改善這類穩定性與應用限制 [2]。

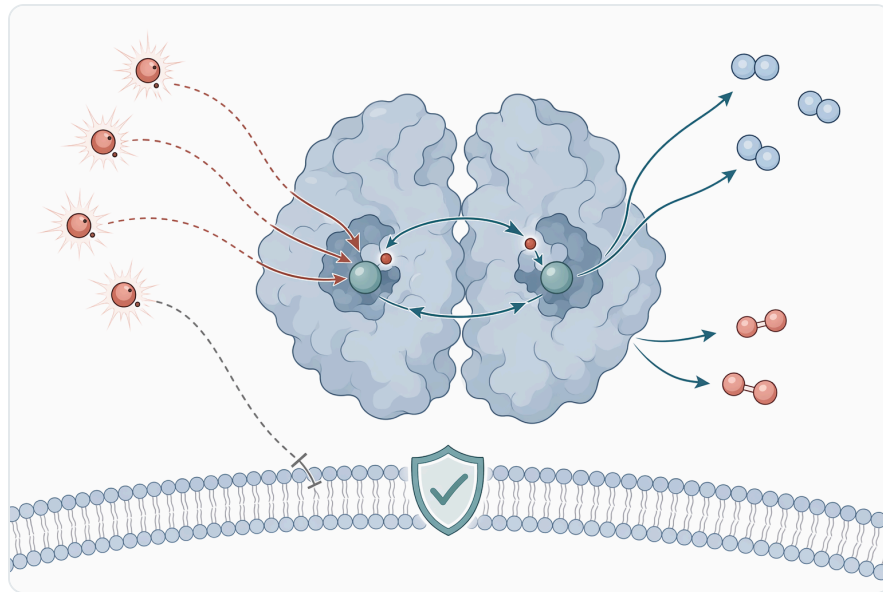
## SOD 1、2、3 與 iron superoxide dismutase：型態差異為何重要

SOD 不是單一分子，而是一個功能相近、金屬中心與生物定位不同的酵素家族。常見分類包括 Cu/Zn-SOD、Mn-SOD、Fe-SOD，另有 Ni-SOD 等較少見型態；在人類生物學中，常被討論的 superoxide dismutase 1 2 3 分別對應 SOD1、SOD2 與 SOD3。SOD1 主要為 Cu/Zn-SOD，與細胞質及部分胞器環境相關；SOD2 是 superoxide dismutase mitochondria 搜尋意圖中最常見的主題，因為它位於線粒體並處理呼吸鏈附近產生的超氧；SOD3 則是胞外型 Cu/Zn-SOD，與組織外基質及胞外氧化還原環境有關 [3]。

類型 / 常見名稱	金屬中心與定位	應用理解重點	產業或研究關聯
Cu/Zn-SOD，常與 SOD1、SOD3 相關	銅 / 鋅中心；可見於細胞質或胞外環境	對超氧具有高專一性；結構完整性與金屬結合狀態會影響功能	保養品、研究試劑、氧化還原模型與感測研究常討論此類型
Mn-SOD，常與 SOD2 相關	錳中心；典型定位為線粒體	與粒線體氧化壓力、呼吸鏈超氧處理密切相關	生醫、保養品概念與蛋白工程研究常以其穩定性與抗氧化潛力為焦點
Fe-SOD / iron superoxide dismutase	鐵中心；常見於植物、細菌與部分微生物系統	與環境壓力、金屬營養狀態與植物防禦網路相關	農業、植物逆境、微生物來源酵素開發可見相關研究
SOD mimetics / SOD 模擬物	非天然蛋白或人工材料；可含金屬錯合物、奈米材料等	模擬 SOD 反應，但穩定性、選擇性與生物相容性需分別評估	生醫材料、神經介面、奈米酵素與工業催化研究興起

SOD1 的研究也提醒產業文件必須避免把「抗氧化」簡化成單向好處。與家族性 ALS 相關的 SOD1 突變研究顯示，蛋白金屬化狀態、摺疊穩定性與聚集行為會深刻影響其生物後果；金屬缺失或錯誤摺疊的 SOD1 可形成可溶性寡聚體，並被提出與疾病機制相關 [4]。這些資料不表示配方用 SOD 會造成相同風險，但說明 SOD 是結構敏感的蛋白質，討論時應重視來源、狀態與使用情境，而不是僅以「天然抗氧化」概括。

SOD2 則是理解 superoxide dismutase mitochondria 的關鍵。線粒體電子傳遞鏈在能量代謝中可能產生超氧，Mn-SOD 將其轉換為  $H_2O_2$ ，再由後續系統處理；因此 Mn-SOD 經常被用來討論粒線體紅氧平衡、發炎路徑與細胞壓力反應。近年也有蛋白語言模型輔助工程化 Mn-SOD 的研究，目標是改善熱穩定性與活性特徵，並探討其在抗氧化、抗發炎與皮膚應用中的可能性 [5]。



**Figure 1.** 超氧化物歧化酶會催化兩個超氧自由基與兩個質子轉化為氧氣和過氧化氫。

iron superoxide dismutase 在植物與微生物領域尤其重要。以阿拉伯芥為例，FeSOD1 被報導在銅依賴的調控背景下保護 ARGONAUTE 1，顯示 Fe-SOD 不只是「另一種金屬版本」，而可能與植物 RNA 調控、金屬穩態和逆境反應交織 [6]。對農業配方或植物壓力研究而言，這意味著 SOD 指標可作為氧化壓力網路的一部分，但不宜單獨解讀為作物表現的唯一原因。

## 催化機制：SOD 如何把超氧導入可控的氧化還原路徑

SOD 的催化核心是可逆金屬氧化還原循環。以 Cu/Zn-SOD 為例，銅中心在不同氧化態之間轉換，分別接受與提供電子；Mn-SOD 與 Fe-SOD 則透過錳或鐵中心完成類似的電子轉移。蛋白質本體不只是金屬載體，它會透過活性位點幾何、電荷分布與通道設計，使帶負電的超氧更容易接近正確位置，進而降低非目標反應的機率 [1]。

這種機制與一般小分子抗氧化劑不同。維生素 C、維生素 E、多酚或穀胱甘肽等成分多半透過還原、自由基終止或氧化還原循環參與廣泛抗氧化反應；SOD 則專注於超氧這個特定反應物。因此在配方語言中，較精準的描述是「支援超氧歧化」或「提供超氧專一的酵素型抗氧化機制」，而不是宣稱它可全面取代所有抗氧化成分。SOD 與 catalase、peroxidase 或小分子抗氧化劑的互補，通常比單獨提高 SOD 概念更接近實際生化網路 [1]。

值得注意的是，SOD 生成的  $H_2O_2$  在低濃度下可參與訊號傳遞，但累積過多仍可能造成氧化壓力。這就是為何在細胞中，SOD 往往與過氧化氫清除系統共同存在；在體外配方、食品基質或材料表面中，若只強調超氧轉換而忽略  $H_2O_2$  去向，可能導致機制設計不完整。對 B2B 技術文件而言，這個限制應明確說明，才符合可信的科學敘事 [3]。

## 主要應用一：保養品與皮膚相關配方

在保養品領域，SOD 的吸引力來自其明確的抗氧化機制。皮膚暴露於紫外線、空氣污染、發炎刺激與代謝壓力時，會牽涉多種活性氧；SOD 針對其中的超氧提供酵素型處理路徑，因此常被定位為抗氧化、防護、舒緩概念或高端活性成分系統的一部分。角質形成細胞研究中，也有文獻探討人參皂苷 Re 透過提升 glutathione 與 superoxide dismutase 來支持細胞紅氧恆定，顯示 SOD 常被用作皮膚細胞抗氧化狀態的生物指標之一 [7]。

不過，外用 SOD 的關鍵挑戰是蛋白質穩定性與作用位置。SOD 分子需在乳化系統、界面活性劑、防腐系統、pH 與儲存溫度下維持構形；若要在皮膚表面或角質層附近發揮功能，還要考量蛋白大小、配方載體與停留時間。近期 Mn-SOD 工程化研究將「保養品與抗發炎應用」列為可能方向，反映產業對穩定型 SOD 的需求，但這不等同於任何 SOD 原料都可在所有乳霜、精華或凝膠中保有相同效果 [5]。

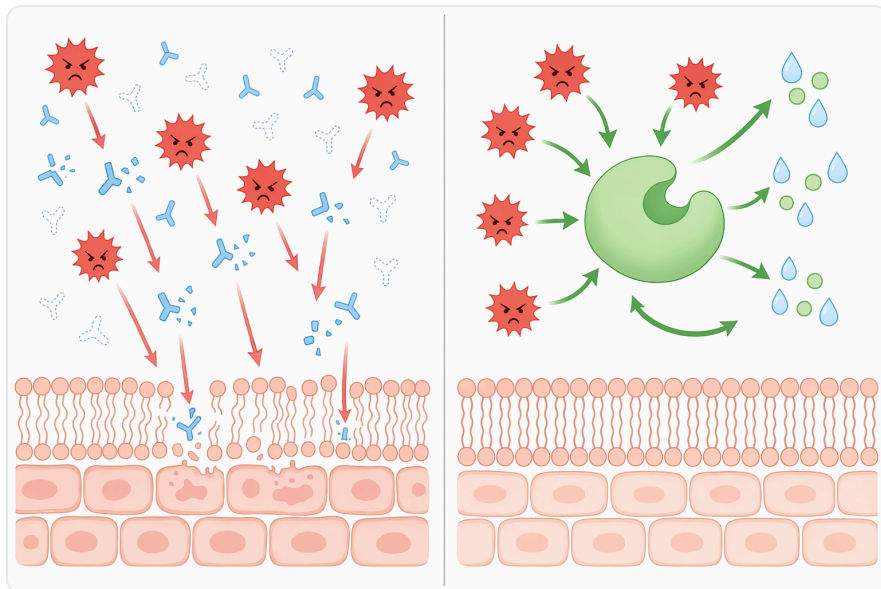


Figure 2. 主要的 SOD 家族與同工型在金屬輔因子與生物學位置上有所不同，但都執行相同的超氧化物歧化功能。

在宣稱上，較穩健的文字是「協助處理超氧自由基」、「支援配方的酵素型抗氧化概念」或「作為抗氧化網路的一部分」。不宜將 SOD 描述為可治療皮膚疾病、逆轉老化或保證修復特定組織損傷，除非成品有相應法規分類與證據支持。對客戶而言，SOD 的商業價值通常不是誇大療效，而是提供與一般多酚、維生素或植物萃取物不同的機制差異化 [1]。

## 主要應用二：superoxide dismutase food、機能食品與「SOD 食物」概念

---

搜尋「superoxide dismutase food」或「superoxide dismutase食物」時，常見內容會提到某些植物、穀物、發酵物或營養補充成分與 SOD 活性相關。文獻中確實有研究評估胡桃 ( *Juglans regia* ) 與黑醋栗 ( *Ribes nigrum* ) 作為可能的 nutraceutical 來源，並討論其熱穩定 SOD 酵素潛力 [8]。這類資料支持 SOD 可作為食品與營養概念中的抗氧化指標，但不能直接推論所有含 SOD 的食物都會在人體內產生同等生理效果。

食品與口服應用最大的技術限制，是蛋白質在胃酸、消化酵素與腸道環境中的穩定性。天然 SOD 若未經保護，可能在消化過程中失去原有構形或活性；因此業界才會討論包埋、載體、發酵來源、植物基質保護或耐受型酵素等策略。產業生產綜述也指出，SOD 來源可涉及動物、植物、微生物與重組系統，不同來源在成本、穩定性、純化與應用定位上各有差異 [9]。

機能食品或營養補充品若使用 SOD，較適合以「配方含有 SOD」與「支援抗氧化營養設計」等語句描述，而非承諾疾病治療或全身性抗氧化療效。若成品鎖定飲品、粉包、膠囊、錠劑或發酵食品，配方端需要考量水分、熱加工、pH、糖鹽濃度與貨架期。近年利用計算挖掘與蛋白再設計改善 SOD 活性與熱穩定性的研究，顯示食品工業對更耐加工條件 SOD 的需求仍在增加 [10]。

## 主要應用三：飼料、農業與環境逆境研究

---

在農業與飼料領域，SOD 常被用作氧化壓力與逆境反應的指標，也可能作為抗氧化配方概念的一部分。乾旱、鹽分、重金屬、病原壓力與高密度飼養都可能改變生物體內的活性氧平衡；SOD 的變化可反映超氧處理能力與抗氧化系統被啟動的程度。以小黑麥研究為例，SOD 被納入乾旱壓力下穀粒產量選拔標準的綜合研究，結合基因體、表現量、生物資訊與表型變異分析 [11]。

植物鹽害研究也顯示，SOD 常與 catalase、peroxidase、脯胺酸與光合作用指標一同被追蹤，用來理解處理措施如何改善逆境耐受。菠菜研究中，*Trichoderma harzianum* 與 biochar 的整合使用被用來緩解鹽害，並評估植物抗氧化狀態的變化；這類研究支持 SOD 可作為農業逆境管理的生理指標，但不代表單一添加 SOD 即可解決所有鹽害問題 [12]。



**Figure 3.** SOD 與補充品、化妝品、食品飲料及研究等概念相關，因為各領域都能以不同方式運用針對性的超氧化物控制。

動物與昆蟲方面，蜜蜂暴露於銅、鉛與鎘等亞致死濃度重金屬時，研究觀察其氧化還原狀態、SOD 與 catalase 的變化，說明 SOD 可用於評估環境毒性與抗氧化壓力反應 [13]。對飼料配方而言，SOD 可被視為抗氧化網路中的功能性成分之一；但動物種別、腸胃穩定性、載體與飼料加工條件都會影響其實際表現，因此不宜以單一成分推導整體健康結果。

## 主要應用四：研究試劑、分析系統與 SOD mimetics

SOD 在研究與分析上的價值，是它能相對專一地改變超氧相關反應。舉例而言，Cu-Zn SOD 催化超氧自由基歧化可影響金奈米粒子的蝕刻反應，並造成局部表面電漿共振變化，顯示 SOD 可被整合到光學與奈米材料分析設計中 [14]。這類應用不一定等同於一般保養品或食品配方，但能說明 SOD 機制在材料與感測領域的可轉譯性。

SOD mimetics 與 nanozymes 是近年快速發展的方向。天然 SOD 具有高催化效率與生物相容性優勢，但也面臨蛋白質穩定性、成本、儲存與作用環境限制；模擬物則希望以金屬錯合物、表面材料或奈米結構模仿 SOD 反應。綜述指出，superoxide dismutase-mimetic nanozymes 被視為天然 SOD 在生醫與工業應用中的潛在替代方案，但其反應選擇性、安全性與長期行為仍需依材料逐一驗證 [15]。

神經介面材料研究也曾開發 SOD 模擬表面，以降低活性氧累積，反映 SOD 概念可延伸到植入材料與界面工程 [16]。此外，錳 SOD 模擬物的細胞命運研究利用螢光標記、X 光吸收光譜與 X 光螢光顯微技術追蹤其分布，顯示人工 SOD 類材料的評估不只是「有沒有 SOD-like activity」，還包括細胞定位、金屬狀態與材料安全性 [17]。

## 配方與製程考量：穩定性、相容性與下游氧化物管理

SOD 是蛋白質，對熱、極端 pH、剪切、溶劑、界面、金屬螯合劑、防腐系統與水分環境可能敏感。不同來源 SOD 的耐受性不同；來自極端環境微生物的 SOD 被研究作為潛在工業應用來源，正是因為產業條件往往比細胞內環境更嚴苛 [2]。因此，在食品熱加工、乳化保養品、乾粉混合、飼料製粒或水性配方中，SOD 的保存與製程條件應被視為設計變因，而不是事後才補上的成分。

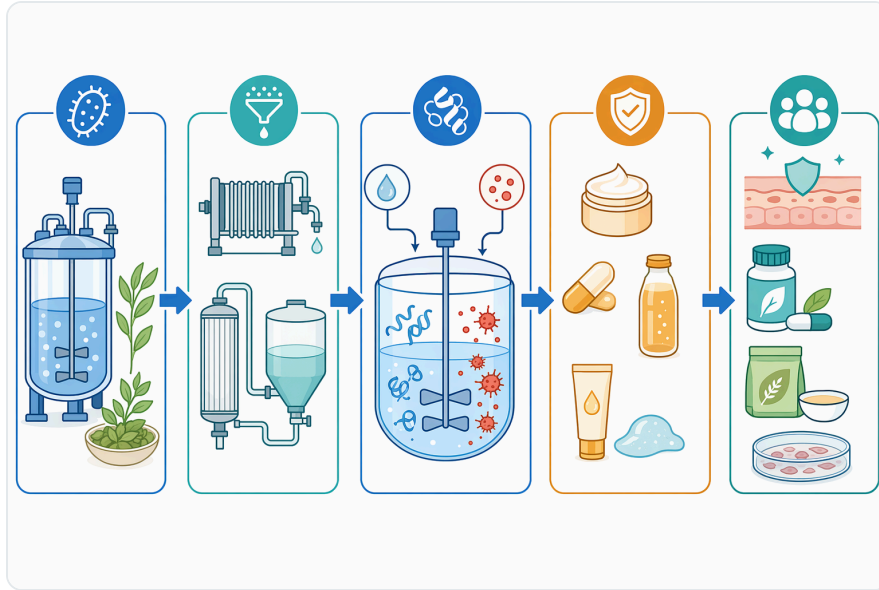


Figure 4. 口服 SOD 概念需要注意蛋白質酵素的穩定性、基質相容性、遞送方式，以及適當且有限的抗氧化支持訴求。

配方相容性也包括金屬與氧化還原成分。Cu/Zn-SOD、Mn-SOD 與 Fe-SOD 的金屬中心不同，若配方中有強螯合劑、還原劑、氧化劑或高濃度金屬鹽，可能改變蛋白結構或反應環境。部分研究針對 *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* 的 SOD 進行建模、突變與結構穩定性分析，顯示即使是微生物來源 SOD，其結構穩定性也需要從胺基酸、金屬中心與整體摺疊共同理解 [18]。

另一個常被忽略的設計點，是 SOD 生成  $H_2O_2$  後的路徑。若配方同時含有過渡金屬、光敏成分或容易氧化的脂質， $H_2O_2$  的後續反應可能影響風味、氣味、顏色或活性成分穩定性。因此，SOD 應被放在「抗氧化網路」中思考：它處理超氧，但不等於完成所有 ROS 管理。產後荔枝研究中，氧化壓力與抗氧化能力的維持涉及多個酵素與指標，而非單一 SOD 指標即可完全說明品質變化 [19]。

## 證據強度：哪些結論穩固，哪些仍需保守表述

最穩固的結論，是 SOD 的基本催化功能與超氧處理角色。跨生物界的研究、工業生產綜述與健康應用回顧均支持 SOD 是重要的抗氧化酵素家族，並在食品、醫藥、化妝品、農業與研究材料中具有廣泛應用潛力 [1]。因此，在技術文件中說明 SOD 的超氧歧化功能、金屬中心差異與抗氧化網路角色，是有充分基礎的。

中等強度的結論，是 SOD 可作為配方差異化與功能性設計元素。保養品、食品、飼料或分析材料中使用 SOD，通常有合理機制與部分研究支持；但成品效果仍受配方、載體、儲存、加工、使用方式與生物可用性影響。SOD 分泌型 *Bacillus amyloliquefaciens* 孢子在肺纖維化模型中的研究，顯示以微生物遞送 SOD 的概念受到探索，但這類結果屬特定模型，不能直接外推到一般口服或吸入產品宣稱 [20]。

需要保守表述的部分，是臨床治療與廣泛口服功效。SOD 與疾病、發炎、缺血再灌流、肺部損傷或神經退化等主題有大量研究，但不同模型、給予方式與製劑差異很大。心肌缺血再灌流損傷中工程化 SOD 的研究說明其具生醫催化潛力，卻不代表一般商業 SOD 原料可宣稱治療心血管疾病 [21]。對 B2B 內容而言，最可信的方式是把 SOD 定位為機制清楚的抗氧化酵素，而非萬能療法。

## 與常見搜尋與採購情境的關聯：SOD、Sigma 型研究試劑與產業配方

搜尋「superoxide dismutase sigma」的使用者，常是在比對研究試劑目錄、文獻用酵素或實驗室規格；而產業配方端更關心的是供應單位、文件、物流與成品相容性。兩種情境都會用到 SOD，但用途不同：研究試劑強調實驗控制與可重現性，保養品或食品配方則更重視法規語言、基質穩定、製程耐受與終端產品定位。土壤宏基因體來源 SOD 的表現、純化與特性研究，也反映研究界持續尋找新來源，以滿足不同穩定性與應用條件 [22]。

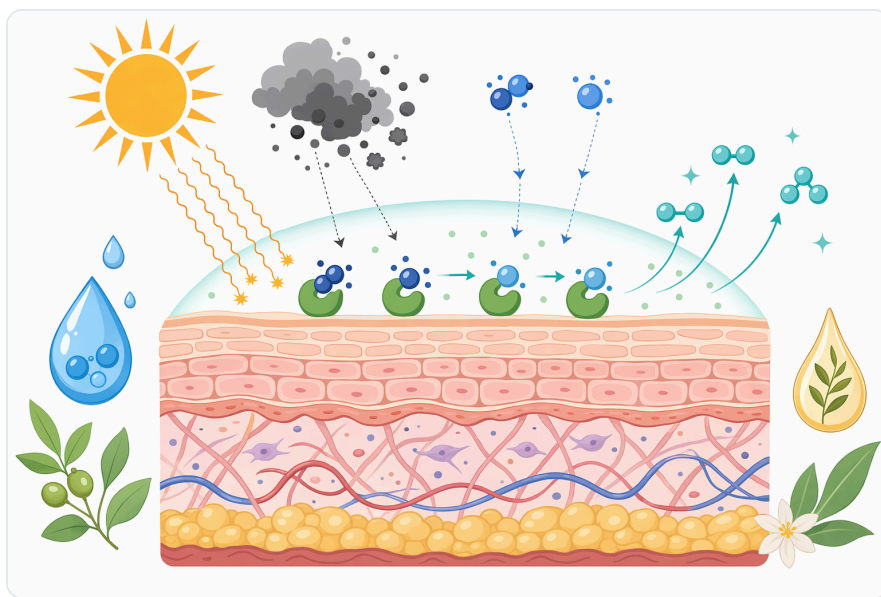


Figure 5. 外用 SOD 概念是以針對皮膚相關氧化環境中的超氧自由基為基礎，但最終產品表現取決於配方與測試。

對企業使用者而言，SOD 的選用不應只看「是否為 SOD」，而應理解目標應用：若是保養品，重點是外用穩定性與宣稱合規；若是 superoxide dismutase food 或營養概念，重點是加工與消化環境；若是飼料或農業，重點是物種、逆境模型與整體抗氧化指標；若是分析與材料，重點則是反應專一性

與系統可控性。SOD 模擬物、天然 SOD 與工程化 SOD 各自有優勢與限制，近年 nanozyme 綜述也強調天然酵素與人工材料之間並非單純替代，而是依應用條件選擇 [15]。

## Enzymes.bio 供應資訊與文件定位

Enzymes.bio 供應 Superoxide Dismutase，並以 1 kg 單位在線上直接銷售。Enzymes.bio 不是製造商，也不是實驗室；本文作為產品頁支援的中文技術說明，目的在於整理 SOD 的機制、應用與限制，而不是替代客戶內部的配方開發、法規判定或成品驗證。訂單隨附 CoA 與 SDS，可用於客戶內部品質文件、安全資料與合規流程；本文不列出具體活性單位、等級、分析方法或單位定義，以避免把教育內容誤讀為批次規格。

在產品開發上，SOD 最適合被視為「超氧專一的酵素型抗氧化元件」。它可提升配方故事的科學精準度，並與維生素、多酚、穀胱甘肽系統、catalase 或其他抗氧化策略形成互補；但它不是所有氧化問題的單一答案。若成品涉及食品、保養品、飼料或研究用途，客戶仍需依自身市場、法規分類與產品條件建立適當的內部評估流程。

## 結論：SOD 的價值在於明確機制，而非泛化抗氧化口號

Superoxide dismutase ( SOD / 超氧歧化酶 ) 的核心價值，是以金屬中心催化超氧陰離子歧化，把高反應性的  $O_2^{\cdot-}$  導入較可控的氧化還原路徑。這個機制使它在保養品、superoxide dismutase food、飼料、農業逆境研究、分析系統與 SOD mimetics 材料中具有明確應用邏輯；同時也要求配方端重視蛋白穩定性、金屬中心、 $H_2O_2$  後續處理與法規宣稱邊界 [1]。

對 B2B 客戶而言，可信的 SOD 文件應同時說明功能與限制：SOD 不是一般自由基吸收劑，也不是能單獨解決所有氧化壓力的成分；它是抗氧化網路中針對超氧的高專一性酵素。Enzymes.bio 以 1 kg 單位供應 Superoxide Dismutase，並隨訂單提供 CoA 與 SDS，適合需要將 SOD 納入配方、研究或工業應用設計的企業使用者進一步納入內部評估。

### 線上訂購 Superoxide Dismutase

以 1 kg 單位販售，現貨供應，可立即出貨。請直接於我們的線上商店下單並付款，我們將為您處理訂單。每筆訂單皆附分析證明書與安全資料表。

[購買 Superoxide Dismutase →](#)

## 參考文獻

依首次引用順序編號。所有來源皆為開放取用資料，並於發布時確認可連線；正文中的引用編號會連結至此。

1. Islam, M., Rauf, A., Fahad, F., Emran, T., Mitra, S., Olatunde, A., Shariati, M., ... et al. (2021). Superoxide dismutase: an updated review on its health benefits and industrial applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62, 7282 - 7300.
2. Zhang, N., Ren, Z., Wei, D., Meng-Yang, Niu, M., Shen, C., Jin, X., ... et al. (2025). Discovery, expression, and characterization of highly tolerant superoxide dismutases from extremophiles for potential industrial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145272 .
3. Anwar, S., Sarwar, T., Khan, A. A., & Rahmani, A. (2025). Therapeutic Applications and Mechanisms of Superoxide Dismutase (SOD) in Different Pathogenesis. *Biomolecules*, 15.
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. 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*.
6. 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.
7. 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 .
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. Gopal, R., & Elumalai, S. (2017). Industrial Production of Superoxide Dismutase (SOD): A Mini Review. *Journal of Probiotics & Health*, 5, 1-5.
10. 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 .
11. 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.

12. 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.
13. Nikolić, T. V., Kojić, D., Orčić, S., Batinić, D., Vukašinović, 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 .
14. 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.
15. Dastmalchi, H. Z., Dashtestani, F., & Ghourchian, H. (2025). Superoxide dismutase-mimetic nanozymes: A promising alternative to natural superoxide dismutases for biomedical and industrial applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 257, 115138 .
16. Potter-Baker, K. A., Nguyen, J. K., Kovach, K. M., Gitomer, M. M., Srail, T. W., Stewart, W. G., Skousen, J., ... et al. (2014). Development of Superoxide Dismutase Mimetic Surfaces to Reduce Accumulation of Reactive Oxygen Species for Neural Interfacing Applications. *Journal of materials chemistry. B*, 2, 2248 - 2258.
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. 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.
19. Guo, X., Li, Q., Luo, T., Xu, D., Zhu, D., Li, J., Han, D., ... et al. (2024). Zinc Oxide Nanoparticles Treatment Maintains the Postharvest Quality of Litchi Fruit by Inducing Antioxidant Capacity. *Foods*, 13.
20. Kim, N., Kim, H., Lee, J. H., Chang, I., Heo, S., Kim, J., Kim, J. H., ... et al. (2023). Superoxide dismutase secreting Bacillus amyloliquefaciens spores attenuate pulmonary fibrosis. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 168, 115647 .
21. 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 .
22. Nancy, Lakhawat, S., Kumar, R., & Sharma, P. K. (2025). Cloning, Expression, Purification, and Characterization of Superoxide Dismutase from the Soil Metagenome. *Protein Peptide Letters*.


## 聯絡 Enzymes.bio

對訂單有疑問嗎？我們的團隊很樂意協助。


電子郵件 [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

電話 ( 美國 ) **+1 (507) 428-6057**

[聯絡我們 →](#)

 **400+** B2B 客戶

 **60+** 大學研究合作夥伴

 **54** 服務遍及全球

© 2026 Enzymes.bio · 工業與食品加工用酵素供應 · 非供人體食用或零售銷售。