

葡萄糖氧化酶 (Glucose Oxidase, GOX) 烘焙酵素：用於麵糰強化、烘焙穩定性與潔淨標示配方

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

葡萄糖氧化酶 (Glucose Oxidase, GOX / GOD) 是烘焙中常用的氧化還原酵素，主要應用於麵包、冷凍麵糰、預拌粉與粉廠麵粉改良，以提升麵糰強度、加工耐受性與成品穩定性。其核心機制是將葡萄糖氧化並產生過氧化氫，進一步促進麩質蛋白與部分穀物多醣的氧化交聯，使麵糰在攪拌、發酵與烘烤前段更能維持結構。相較於直接添加化學氧化劑，GOX 的氧化作用通常較具時間依賴性，適合用於追求製程穩定與潔淨標示方向的烘焙配方設計。^[1]

產品定位：Glucose Oxidase Enzymes For Bakery - Baking Dough Enzymes

葡萄糖氧化酶是一類以黃素腺嘌呤二核苷酸 (FAD) 為輔基的氧化還原酵素，能催化 β -D-葡萄糖在氧氣存在下轉化為葡萄糖酸內酯，後續水解為葡萄糖酸，同時生成過氧化氫。這個反應在食品、生物感測、醫療材料與生物技術領域都有應用；在烘焙中，關鍵不在於「消耗葡萄糖」本身，而在於反應過程產生的溫和氧化環境可改變麵糰高分子網絡。^[2]

在烘焙配方中，GOX 通常被歸類為 baking dough enzymes 或麵糰改良酵素，主要服務對象包括商用麵包廠、冷凍麵糰生產線、預拌粉品牌與粉廠應用。Enzymes.bio 作為酵素供應商，提供以 1 kg 單位在線上直接銷售的葡萄糖氧化酶產品；CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，以利客戶進行內部品質、倉儲與安全管理文件建檔。

為什麼烘焙會使用葡萄糖氧化酶？

強化麵筋網絡，提高麵糰加工耐受性

小麥麵糰的機械穩定性主要來自麩質蛋白形成的連續網絡。當攪拌、分割、整形、長時間發酵或冷凍解凍造成網絡受壓時，麵糰可能出現延展過度、黏手、保氣性下降或發酵後塌陷。GOX 透過生成過氧化氫，促進蛋白質巯基 (-SH) 氧化形成二硫鍵 (-S-S-)，使麩質網絡更緊密、彈性與抗變形能力提高；近年的烘焙酵素綜述也將 GOX 列為改善麵糰強度與加工穩定性的代表性氧化酵素之一。^[3]

這種作用對高含水、長時間發酵、高速攪拌或連續式生產線尤其有意義。工業烘焙的挑戰通常不是單一配方在實驗室條件下能否成功，而是每天面對麵粉批次差異、吸水率波動、發酵時間與產線溫度變化時，仍能維持可預期的麵糰手感、體積與外觀。GOX 的價值在於將部分結構強化反應整合進麵糰發展過程，而不是一開始就以劇烈方式改變麵糰。[4]

支援潔淨標示與減少化學氧化劑依賴

烘焙工業過去常利用化學氧化劑改善麵粉與麵糰強度，但不同市場對特定化學氧化劑的法規、消費者接受度與標示要求不一致。GOX 作為酵素型加工助劑，常被用於降低對直接化學氧化劑的依賴，協助配方往較簡潔的標示方向調整；不過它並非所有化學氧化劑的一對一替代品，因為其反應速率受底物、氧氣、pH、水分與配方組成影響。[3]

在實務上，GOX 的優勢是「逐步生成」氧化效果。化學氧化劑加入後可立即參與反應，而 GOX 需要葡萄糖與氧氣，且反應發生在攪拌與發酵的時間軸上。因此，它更適合用於調整麵糰發展曲線、提高耐受性與穩定性，而不是單純追求瞬間強化。這也是為什麼同一種 GOX 在不同麵粉、不同攪拌條件與不同酵母活性下，可能呈現不同程度的麵糰增強效果。[1]

緩衝小麥原料與粉體系統差異

粉廠與預拌粉系統常面臨小麥品種、產地、收成季節與蛋白品質差異。即使蛋白質總量相近，麵筋品質、可萃取多醣、受損澱粉與內源酵素活性也會影響下游烘焙表現。研究指出，不同春小麥品種對化學氧化劑與酵素處理的烘焙反應並不完全相同，這說明 GOX 更應被視為「配方與製程調整工具」，而非固定效果的單一添加物。[4]

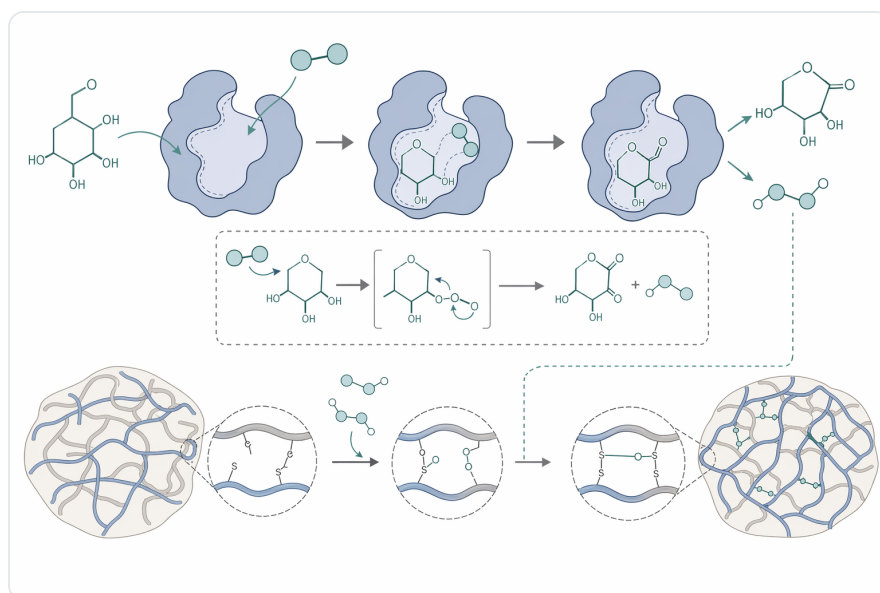


Figure 1. 葡萄糖氧化酶會將葡萄糖和氧氣轉化為葡萄糖酸與過氧化氫，進而促進麵團的氧化強化。

對粉廠或預拌粉開發者而言，GOX 可用於提升麵粉或粉體系統的耐加工性，使下游客戶在不同批次間取得較一致的麵糰表現。尤其在工業麵包、漢堡胚、吐司、冷凍麵糰與半成品系統中，麵糰強度不足會放大成品體積、組織均勻度與生產良率的波動；GOX 的應用目的正是降低這些批次間的不確定性。^[3]

作用機制：從葡萄糖氧化到麵糰結構建立

GOX 的基本反應路徑

GOX 的催化循環可分為還原與再氧化兩個階段。首先，葡萄糖將電子轉移給酵素中的 FAD 輔基，使 FAD 還原；接著，還原態 FAD 將電子轉移給氧氣，生成過氧化氫，酵素回到可再次反應的氧化態。結構與功能研究顯示，GOX 的催化效率與活性位點微環境、FAD 結合狀態及蛋白構形密切相關，這也是不同來源或不同製程取得的 GOX 可能在穩定性與應用表現上有所差異的原因之一。^[2]

在麵糰中，葡萄糖可來自麵粉本身，也可由澱粉酶作用於澱粉或糊精後逐步釋放。氧氣則主要來自混合時捲入的空氣，以及麵糰表層與工藝環境的接觸。這代表 GOX 的反應不是孤立事件，而是與攪拌強度、攪拌時間、配方含水量、糖源釋放速率及發酵條件一起決定最終效果。^[1]

過氧化氫如何影響麵筋與穀物多醣？

GOX 生成的過氧化氫可氧化麩質蛋白中的巰基，使蛋白鏈之間形成更多二硫鍵。二硫鍵增加後，麵筋網絡通常更具彈性與抗變形能力，能在發酵產氣時維持氣室結構，減少過度擴張或塌陷。若氧化程度適中，成品可能表現為體積穩定、組織較均勻、外形較立體；若氧化過度，則可能導致麵糰過緊、延展性不足或口感偏硬，因此配方平衡非常重要。^[3]

除了麩質蛋白，麵粉中的阿拉伯木聚糖等穀物細胞壁多醣也可能參與結構變化。水不可萃取阿拉伯木聚糖會影響麵糰吸水、黏彈性、氣體保持與烘焙品質，而其酚酸側鏈在氧化條件下可參與交聯，改變水分分布與網絡結構。這說明 GOX 的效果不只來自「讓麩質變強」，也可能透過多醣與蛋白質網絡的間接交互作用影響麵糰流變。^[5]

為什麼 GOX 的效果具有時間依賴性？

GOX 必須同時具備底物葡萄糖與氧氣，才能逐步產生過氧化氫；而過氧化氫又會被麵糰中多種成分消耗或轉化。因此，GOX 的結構強化作用通常沿著攪拌、靜置與發酵過程逐步發展，不像直接添加強氧化劑那樣立即釋放全部氧化能力。這種時間依賴性可帶來較溫和的操作窗口，但也意味著製程變化會直接影響表現。^[1]

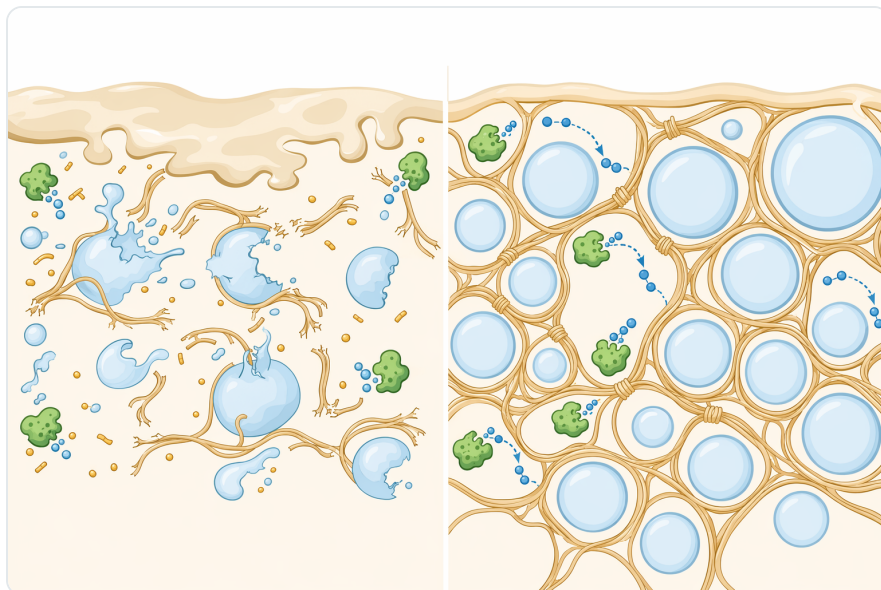


Figure 2. 麵團中生成的過氧化氫會促進麩質交聯，在氣泡周圍形成更具凝聚力的網絡結構。

例如，攪拌不足可能導致氧氣導入有限，GOX 生成過氧化氫的速率較低；攪拌過強則可能在機械能與氧化作用疊加下使麵糰偏緊。高糖配方、全麥配方、添加膳食纖維或使用不同澱粉酶系統時，可得葡萄糖與水分競爭也會改變 GOX 的實際作用。這些因素使 GOX 更接近「需要整合到配方邏輯中的功能性工具」，而不是單純增加或減少即可解決所有問題的添加物。^[6]

烘焙應用情境與可預期改善方向

商用麵包與吐司生產

在商用麵包與吐司產線中，GOX 常被用於提升麵糰在高速攪拌、機械分割、滾圓與模具發酵中的耐受性。理想狀態下，麵糰會更能承受產線剪切與拉伸，發酵時保氣性提高，烤後外形較穩定、側邊塌陷與頂部皺縮機率降低。烘焙酵素應用綜述指出，氧化類酵素可從麵糰發展到貨架期管理的不同階段提供功能，但其效果須與其他配方因子共同評估。^[3]

對大量生產者來說，這類改善不只影響外觀，也影響分切、包裝與運輸過程。若麵包內部組織過弱，成品在冷卻、切片或堆疊時容易變形；若麵糰過度強化，則可能出現體積受限或咀嚼感過韌。因此 GOX 在商用麵包中的應用目標通常是建立「足夠強、但不過硬」的麵糰骨架。^[4]

冷凍麵糰與半成品

冷凍麵糰會承受冰晶形成、酵母壓力、蛋白網絡破壞與解凍後水分重新分布等挑戰。GOX 在冷凍前建立較穩定的麵糰網絡，有助於減少解凍與後續發酵時的結構衰退。雖然具體效果仍取決於冷凍速率、儲存條件、酵母系統與配方含水量，但從機制上看，較完整的蛋白與多醣網絡通常有利於維持氣體保持能力。^[3]

在這類應用中，GOX 常與乳化劑、澱粉酶、木聚醣酶或抗凍酵母策略一併考量。若只強化麵筋而忽略澱粉老化、酵母活性或水分遷移，成品仍可能在烘烤後出現體積不足或口感乾硬。因此，GOX 的角色應定位為冷凍麵糰穩定系統的一部分，而非單一解決方案。^[7]

預拌粉、麵粉改良與粉廠應用

在預拌粉與粉廠應用中，GOX 的主要價值是提高粉體系統的一致性。粉廠可能面對不同小麥混配造成的麵筋品質波動，預拌粉品牌則需要讓終端客戶在不同場地、不同設備與不同操作人員下仍能取得接近的產品表現。GOX 可協助提升麵糰強度與保氣性，降低原料差異對終端烘焙品質的放大效應。^[4]

這類應用通常更重視穩定性與可重現性，而非追求單次測試的最大體積。對 B2B 客戶而言，評估重點包括麵糰手感是否更穩、發酵容忍度是否提高、成品外觀波動是否縮小，以及配方是否能支援較簡潔的標示方向。GOX 的作用若與麵粉蛋白品質、吸水率及其他酵素系統匹配，通常更容易展現商業價值。^[3]

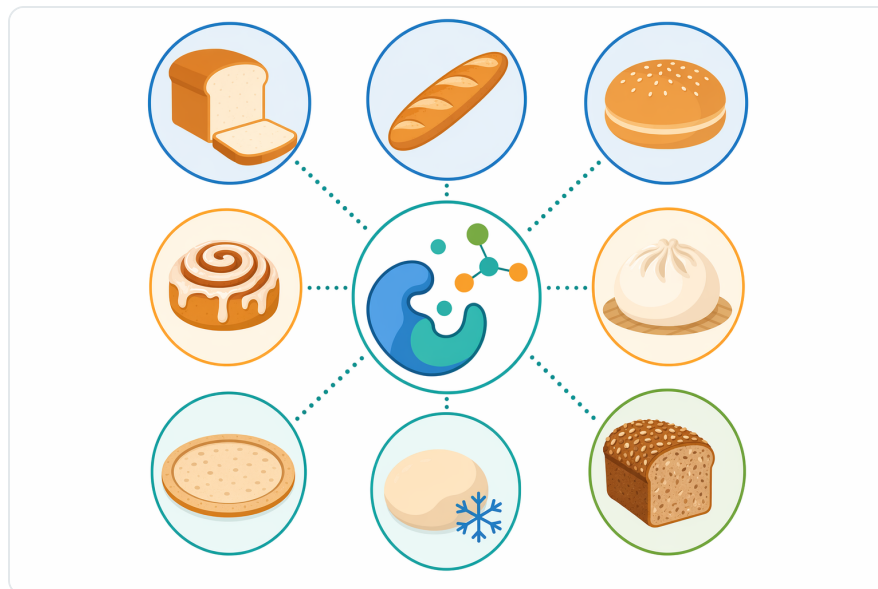


Figure 3. 葡萄糖氧化酶最適用於麵團筋性不足、操作時發黏、保氣性差、發酵穩定性不佳，以及麵粉品質波動等情況。

與其他烘焙酵素與配方因子的搭配

GOX 與木聚醣酶

木聚醣酶主要作用於麵粉中的阿拉伯木聚醣，改善水分分布、麵糰黏彈性與氣體保持；GOX 則偏向透過氧化交聯提高結構強度。兩者搭配時，可能同時改善麵糰的延展、保氣與支撐，但平衡點取決於麵粉中阿拉伯木聚醣型態、含水量與攪拌條件。近期研究也探討將木聚醣酶與 GOX 包埋於纖維素奈米晶體穩定的多層微膠囊中，反映出產業與學術界對「控制釋放」與多酵素協同的關注。^[7]

若木聚醣酶作用過強，麵糰可能變得過軟或黏性提高；若 GOX 氧化過強，麵糰可能過緊而影響膨脹。因此，兩者並不是簡單相加，而是需要依成品目標調整結構強化與流變改善之間的比例。對全麥、高纖或添加麩皮的產品，阿拉伯木聚醣與纖維對水分競爭更明顯，GOX 與木聚醣酶的配伍更需考慮水分管理。^[5]

GOX 與澱粉酶

澱粉酶可分解澱粉或糊精，釋放可發酵糖並影響酵母產氣、上色與麵包柔軟度。GOX 需要葡萄糖作為底物，因此澱粉酶系統可能間接影響 GOX 的作用環境。不過，澱粉酶帶來的糖源釋放、酵母發酵與澱粉老化管理，與 GOX 的氧化強化作用屬於不同功能軸線，不能互相取代。^[3]

在配方設計上，澱粉酶偏向改善發酵供糖、烤色與組織柔軟，GOX 偏向改善麵糰強度與加工耐受性。若兩者搭配得當，可能同時支援產氣、保氣與結構穩定；若糖源釋放過快或麵糰氧化過強，則可能造成發酵節奏與麵糰彈性不匹配。這也是商用配方通常採多因素平衡，而不是單獨依賴某一種酵素的原因。^[6]

GOX 與水分、纖維及無麩質系統

GOX 最常見的烘焙應用是在含小麥麩質的麵糰中，但研究也探討其在玉米基無麩質麵包中的影響。無麩質系統缺乏傳統麵筋網絡，結構主要依賴澱粉糊化、水膠體、纖維與其他蛋白來源；因此 GOX 的效果可能與小麥麵糰不同，更容易受到膳食纖維、水分與配方基質影響。Aprodu 等人的研究即以玉米基無麩質麵包探討膳食纖維、水與 GOX 對流變與烘焙性質的影響，顯示此類應用需以基質條件解讀，而非直接套用小麥麵糰經驗。^[6]

對高纖、雜糧或無麩質產品而言，GOX 可能參與蛋白或多酚相關氧化交聯，也可能因底物與氧氣條件不同而效果有限。實務上，這些系統更需要同時管理水分、黏度、凝膠結構與烘焙失水，GOX 只能作為其中一個結構調整選項。^[5]

GOX 與常見麵糰改良工具比較

工具類型	主要作用方向	優點	可能限制	適合情境
葡萄糖氧化酶 (GOX)	逐步生成過氧化氫，促進蛋白與部分多醣氧化交聯	可提升麵糰強度、保氣性與加工耐受性；支援潔淨標示方向	受葡萄糖、氧氣、pH、水分與製程時間影響；過量或不平衡可能使麵糰偏緊	商用麵包、吐司、冷凍麵糰、預拌粉、粉廠麵粉改良
化學氧化劑	直接提供氧化能力	作用快速、效果明確	法規與標示接受度依市場不同；可能較難精細配合發酵時間軸	傳統麵粉改良或特定法規允許市場

工具類型	主要作用方向	優點	可能限制	適合情境
木聚醣酶	調整阿拉伯木聚醣與水分分布	改善麵糰流變、容氣與體積	過度作用可能導致麵糰過軟或黏性上升	高纖、全麥、麵粉流變改善
澱粉酶	釋放糖源、影響發酵、上色與柔軟度	改善酵母供糖、烤色與貨架期口感	與 GOX 功能不同，無法單獨提供麵筋氧化強化	吐司、甜麵包、長貨架期產品
乳化劑 / 水膠體	改善氣泡穩定、水分保持與口感	對組織、柔軟度與加工性有幫助	可能影響標示策略；需與酵素平衡	高含水、冷凍、無麩質或柔軟度需求高的產品

這個比較顯示，GOX 的核心價值是結構強化與加工穩定，而不是取代所有改良劑。最佳應用通常來自對麵粉、製程與成品目標的整體設計：GOX 提供骨架強度，澱粉酶支援糖源與柔軟度，木聚醣酶調整水分與流變，乳化劑或水膠體則協助氣泡與口感穩定。^[3]

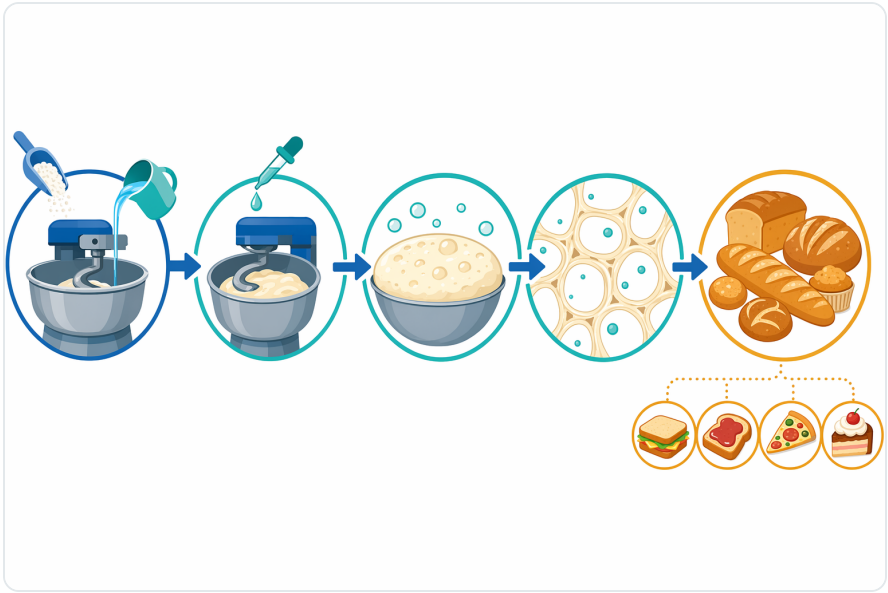


Figure 4. 當麵團處於含水狀態，且具備氧氣、葡萄糖、水分、攪拌能量、作用時間與適中的加工溫度時，該酶便會發揮作用。

影響 GOX 表現的關鍵製程因素

葡萄糖可得性

GOX 的直接底物是葡萄糖，因此麵粉中原有可溶性糖、澱粉酶釋放糖源的速度、配方添加糖類型，以及酵母對糖的競爭消耗，都會影響 GOX 的反應條件。若可得葡萄糖不足，GOX 產生過氧化氫的能力會受到限制；若糖源釋放快速，則需留意氧化、發酵與上色之間的平衡。^[1]

氧氣導入與攪拌條件

氧氣是 GOX 反應的另一個必要參與者。攪拌時導入的空氣、麵糰表面接觸氧氣的程度，以及攪拌能量造成的蛋白展開，都會共同影響反應。氧氣不足時，GOX 難以充分再氧化；氧氣與機械能過強時，麵糰可能因結構建立過快而失去延展性。^[2]

pH、溫度與水分

GOX 作為蛋白質酵素，活性與穩定性受 pH、溫度與水分影響。不同來源的 GOX 可能具有不同的適用條件與穩定性輪廓；食品工業相關研究也持續關注不同微生物來源 GOX 的特性與應用潛力。對烘焙而言，關鍵不是追求單一理想條件，而是理解實際麵糰環境會在攪拌、發酵與烘烤前段持續變化。^[8]

麵粉品種與蛋白品質

同樣的 GOX 在不同小麥品種或麵粉批次中可能產生不同效果，原因包括蛋白質品質、麵筋形成能力、內源酵素、受損澱粉與非澱粉多醣含量差異。Tozatti 等人針對五種加拿大春小麥麵糰比較化學氧化劑與酵素處理對烘焙品質的影響，突顯「原料基質」對反應結果的重要性。^[4]

品質、安全與文件面說明

GOX 是食品加工中常見的酵素類工具，但其允許用途、標示方式與加工助劑定位會依國家或地區法規而不同。烘焙過程的高溫通常會使酵素蛋白失活，且反應中生成的過氧化氫會在麵糰體系中被消耗、分解或與其他成分反應；然而，配方開發仍應以目標市場法規與企業內部食品安全制度為依據。^[3]

對 B2B 使用者而言，CoA 與 SDS 是入廠建檔、倉儲管理與安全操作的重要文件。Enzymes.bio 供應的 GOX 產品以 1 kg 單位在線上銷售，相關 CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供；本文僅作為技術教育與應用說明，不呈現活性單位、等級或分析方法等製造商規格資訊。

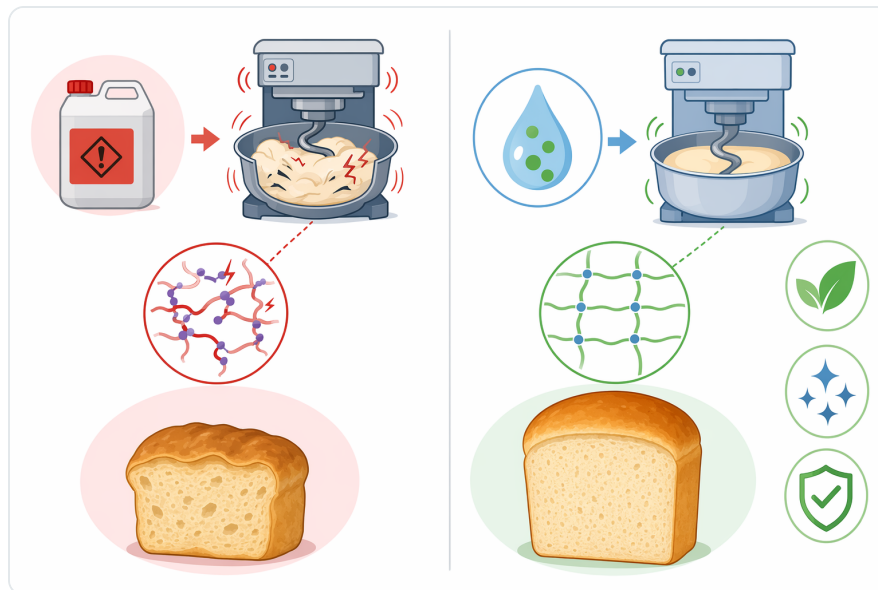


Figure 5. 葡萄糖氧化酶不同於澱粉酶、木聚醣酶、蛋白酶、脂肪酶和轉谷氨醯胺酶，因為它在烘焙中的主要作用是透過氧化來強化麩質。

實務導入時的配方思路

在含小麥麩質的麵包系統中，GOX 通常適合用於麵糰偏弱、發酵容忍度不足、加工中易塌陷或成品體積波動較大的情境。若配方本身已非常強筋、攪拌能量高或產品追求柔軟延展口感，則 GOX 的導入應更重視平衡，避免使麵糰過度收縮或口感偏韌。^[4]

在冷凍麵糰與預拌粉中，GOX 的設計重點是提高穩定性，而不是單純增加強度。冷凍系統需同時考慮酵母活性、冰晶傷害與水分遷移；預拌粉則需兼顧不同終端使用者的設備與操作差異。GOX 若能與澱粉酶、木聚醣酶、乳化劑或水膠體形成合理搭配，通常更能提供穩定、可複製的成品品質。^[7]

對高纖、全麥或無麩質系統，GOX 的效果更依賴基質。纖維會改變水分分布與麵糰黏彈性，無麩質系統則缺少傳統麵筋網絡，因此 GOX 的強化路徑可能不如小麥麵糰直接。相關研究顯示，水分、膳食纖維與 GOX 對玉米基無麩質麵包的流變與烘焙性質具有交互影響，說明此類產品需要以整體配方結構來評估。^[6]

結論：GOX 是麵糰結構管理工具，而非單一萬用改良劑

葡萄糖氧化酶在烘焙中的核心功能，是透過葡萄糖氧化反應產生過氧化氫，進而促進麩質蛋白與部分穀物多醣的氧化交聯，提升麵糰強度、保氣性與加工穩定性。它特別適合用於商用麵包、吐司、冷凍麵糰、預拌粉與粉廠麵粉改良等需要批次一致性與產線耐受性的應用。^[3]

不過，GOX 的實際效果受葡萄糖供應、氧氣導入、攪拌條件、pH、溫度、水分、麵粉品種與其他酵素系統共同影響。良好的應用不是把 GOX 視為單一強化劑，而是把它納入麵糰結構、發酵節奏與成品口感的整體設計中；在這個定位下，GOX 能成為支援潔淨標示、穩定烘焙品質與降低原料波動風險的實用烘焙酵素。^[1]

Enzymes.bio 供應的 Glucose Oxidase Enzymes For Bakery - Baking Dough Enzymes 以 1 kg 單位在線上直接銷售，適合需要建立或調整烘焙酵素系統的 B2B 使用者。CoA 與 SDS 會隨訂單一併提供，協助客戶完成內部品質文件與安全管理流程。

線上訂購 Glucose Oxidase Enzymes For Bakery - Baking Dough Enzymes

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 Glucose Oxidase Enzymes For Bakery - Baking Dough Enzymes →](#)

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. Khatami, S. H., Vakili, O., Ahmadi, N., Fard, E. S., Mousavi, P., Khalvati, B., Maleksabet, A., ... et al. (2021). Glucose oxidase: Applications, sources, and recombinant production. *Biotechnology and applied biochemistry*, 69, 939 - 950.
2. Bauer, J. A., Zámocká, M., Majtán, J., & Bauerová-Hlinková, V. (2022). Glucose Oxidase, an Enzyme "Ferrari" : Its Structure, Function, Production and Properties in the Light of Various Industrial and Biotechnological Applications. *Biomolecules*, 12.
3. Chowdhury, M. A. H., Sarkar, F., Reem, C. S. A., Rahman, S. M., Mahamud, A. U., Rahman, M., & Ashrafudoulla, M. (2024). Enzyme applications in baking: From dough development to shelf-life extension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137020 .
4. Tozatti, P., Hopkins, E. J., Briggs, C., Hucl, P., & Nickerson, M. (2020). Effect of chemical oxidizers and enzymatic treatments on the baking quality of doughs formulated with five Canadian spring wheat cultivars. *Food science and technology international = Ciencia y tecnologia de los alimentos internacional*, 26, 614 - 628.
5. Huang, M., Bai, J., Buccato, D. G., Zhang, J., He, Y., Zhu, Y., Yang, Z., ... et al. (2024). Cereal-Derived Water-Unextractable Arabinoxylans: Structure Feature, Effects on Baking Products and Human Health. *Foods*, 13.
6. Aprodu, I., & Banu, I. (2015). Influence of dietary fiber, water, and glucose oxidase on rheological and baking properties of maize based gluten-free bread. *Food Science and Biotechnology*, 24, 1301-1307.

7. Yang, S., Feng, M., Xu, J., Deng, Z., & Zhang, H. (2024). Encapsulation, characterization and in vitro releasing of xylanase and glucose oxidase (GOD) into cellulose nanocrystals stabilized three-layer microcapsules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135515 .
8. Paloyan, A., Dukova, K. G., & Hambardzumyan, A. (2023). Characterization of glucose Oxidase from Penicillium chrysogenum MDC 8358: Prospects for application in food industry. *Functional Foods in Health and Disease*.

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

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。