

Glucose Isomerase (葡萄糖異構酶) : 高果糖糖漿、葡萄糖轉果糖與碳水化合物異構化應用

Enzymes.bio 研究團隊 · 紐西蘭威靈頓 · June 22, 2026

Glucose Isomerase (葡萄糖異構酶) 是一種用於碳水化合物轉換的工業酵素，最典型功能是可逆催化 D-glucose (葡萄糖) 與 D-fructose (果糖) 之間的異構化，並與 D-xylose (木糖) 轉 D-xylulose (木酮糖) 的反應能力密切相關^[1]。在食品與澱粉糖加工中，它的主要應用是將葡萄糖糖漿部分轉換為果糖型糖漿，是高果糖糖漿 (HFCS) 製程中最具代表性的酵素之一。需要注意的是，glucose isomerase 與 glucose-6-phosphate isomerase (又寫作 glucose 6-phosphate isomerase、glucose 6 phosphate isomerase) 並不是同一個應用語境：前者處理游離糖，後者是糖解作用中轉換磷酸化糖的酵素。

Glucose Isomerase 是什麼？主要應用在哪裡？

Glucose Isomerase 常被稱為葡萄糖異構酶，在許多文獻與產業語境中也與 Xylose Isomerase (木糖異構酶) 高度重疊，因為同一類酵素通常能催化 D-xylose 與 D-xylulose 的可逆異構化，也能催化 D-glucose 與 D-fructose 的可逆異構化；這種「一個活性位點處理多種醣類異構化」的特性，是它能從基礎酵素學走向食品與生物加工應用的原因^[1]。

在食品、飲料與糖漿產業中，Glucose Isomerase 最成熟的用途，是接在澱粉液化與糖化之後，將已形成的葡萄糖糖漿進一步轉換為含果糖的糖漿。由於果糖在甜味表現、溶解性與配方行為上與葡萄糖不同，葡萄糖—果糖比例的調整可以改變糖漿的甜味輪廓與加工用途；這也是高果糖糖漿能成為飲料、烘焙、乳品與加工食品甜味系統重要原料的基礎。

對 B2B 使用者而言，Glucose Isomerase 的價值不在於宣稱「完全把葡萄糖變成果糖」，而在於提供一個可控制、選擇性較高、適合導入水相糖液系統的生物催化步驟。相較於非選擇性的化學處理，酵素異構化的重點是讓反應集中在特定醣類結構轉換上，降低不必要的副反應風險，並支援連續式或批次式糖漿處理流程。

Enzymes.bio 供應的 Glucose Isomerase 面向專業碳水化合物加工、食品原料開發、糖漿處理與研發試驗用途；Enzymes.bio 是酵素供應商，不是製造商或實驗室。產品以 1 kg 單位在線上直接銷售，訂單完成後安排出貨，CoA (Certificate of Analysis, 檢驗成績書) 與 SDS (Safety Data Sheet, 安

全資料表) 會隨訂單一併提供。

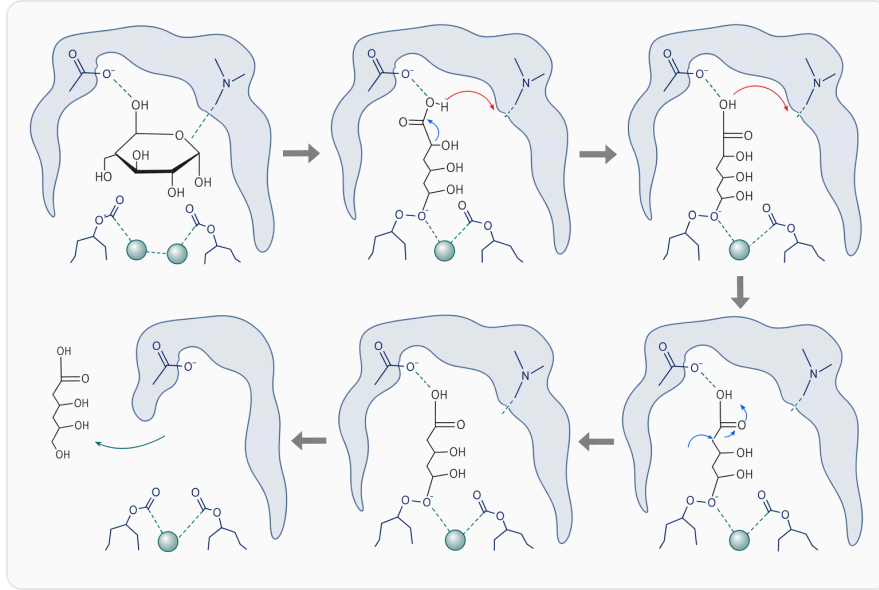


Figure 1. 葡萄糖異構酶透過金屬輔助的醛糖 - 酮糖重排，催化 D-葡萄糖與 D-果糖之間的可逆異構化反應。

反應機制：為什麼葡萄糖能被轉成果糖？

Glucose Isomerase 催化的是「異構化」反應，而不是水解、氧化、還原或聚合。D-glucose 與 D-fructose 的分子式相同，但官能基位置與立體結構不同：葡萄糖是醛糖，果糖是酮糖；Glucose Isomerase 的任務，是在酵素活性位點內協助糖分子完成內部分子重排，使醛糖形式與酮糖形式之間達到可逆轉換^[1]。

在水溶液中，葡萄糖大多以環狀形式存在，真正能進入異構化路徑的通常是開鏈型糖分子。酵素的活性位點會透過金屬離子配位、氫鍵網絡與立體定位，把糖分子固定在適合反應的構型；研究對 Glucose Isomerase 結構與配體結合的分析顯示，活性位點內的金屬結合位置與底物通道構型會影響糖或糖醇分子如何進入、定位與誘發構形變化^[2]。

機制上，Glucose Isomerase 常被描述為金屬輔助的醛糖—酮糖異構化酵素。簡化來說，糖分子在活性位點中先被定位，接著透過質子轉移、氫負離子轉移或相近的電子重排路徑，使羰基位置改變，最後釋放為果糖或反向釋放為葡萄糖；不同來源酵素的活性位點殘基、金屬需求與熱穩定性可能不同，因此實際反應表現會受到酵素來源與製程條件影響^[3]。

這個反應最重要的限制是「可逆」與「平衡受限」。Glucose Isomerase 會加快葡萄糖與果糖之間達到平衡的速度，但不會讓所有葡萄糖單向、完全轉換成果糖；最終糖組成取決於溫度、pH、糖濃度、水活性、反應時間、酵素狀態、是否固定化，以及系統是否有後續分離或濃縮步驟。

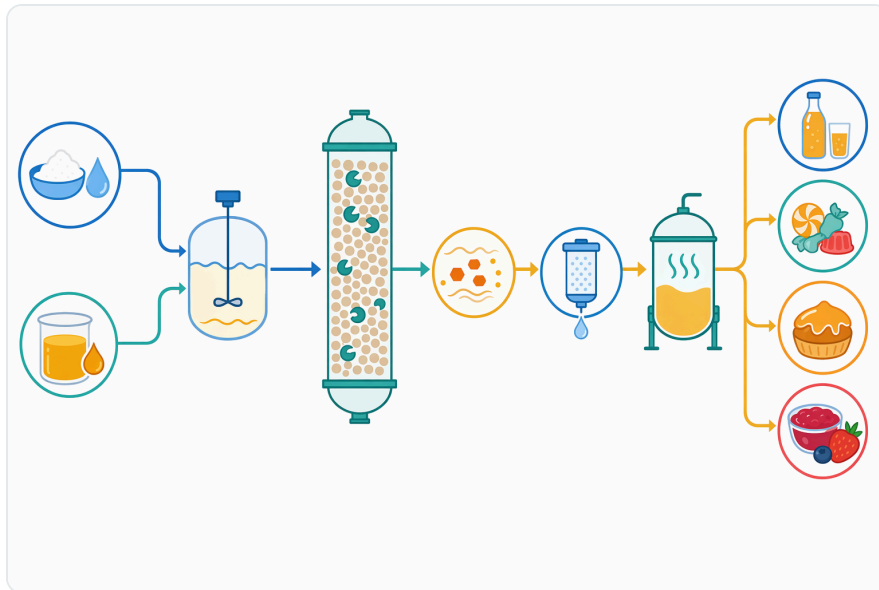


Figure 2. 工業用葡萄糖異構酶通常用於固定化填充床反應器，將葡萄糖糖漿製成果糖含量較高的糖漿。

不要混淆：Glucose Isomerase 與 Glucose-6-Phosphate Isomerase

搜尋 glucose isomerase 時，常會一起出現 glucose 6-phosphate isomerase、glucose-6-phosphate isomerase 或 glucose 6 phosphate isomerase。這些名稱看似相近，但在酵素功能與應用上必須區分：Glucose Isomerase 通常指用於游離葡萄糖與果糖之間異構化的工業酵素；Glucose-6-Phosphate Isomerase 則是糖解作用與糖質新生路徑中的代謝酵素，催化 glucose-6-phosphate 與 fructose-6-phosphate 之間的轉換^[4]。

這個差異不只是命名問題，也會影響應用判斷。Glucose-6-phosphate isomerase 的底物是帶有磷酸基的細胞內代謝中間物，與食品糖漿中的游離葡萄糖不是同一個基質；臨床文獻中也會看到 glucose phosphate isomerase deficiency 與先天性非球形紅血球溶血性貧血等疾病相關討論，但這類內容屬於人體代謝與醫學酵素學，不能直接套用到食品加工用 Glucose Isomerase^[5]。

因此，若目標是澱粉糖加工、高果糖糖漿、葡萄糖轉果糖或木糖轉木酮糖，本文所討論的是 Glucose Isomerase / Xylose Isomerase 類工業酵素。若目標是細胞糖解作用、腫瘤代謝、酵素缺陷症或 glucose-6-phosphate isomerase 相關疾病，則屬於另一個研究領域，不應把兩者混用。

主要產業應用

高果糖糖漿與果糖型糖漿製程

Glucose Isomerase 最具代表性的商業應用，是高果糖糖漿製造。典型概念是先將澱粉經由液化與糖化轉成高葡萄糖糖漿，再利用 Glucose Isomerase 把其中一部分葡萄糖異構化為果糖，形成葡萄糖與果糖並存的糖漿系統；這個步驟使糖漿從單純葡萄糖型原料，轉為更適合甜味調整與食品配方的果糖

型糖漿。



Figure 3. 葡萄糖異構酶的主要商業用途是生產果糖糖漿，並且在甜食、飲料與碳水化合物生物加工中也具有相關應用。

在飲料與加工食品中，糖漿不只是甜味來源，也會影響黏度、固形物、褐變反應、保水性、冰點與口感。Glucose Isomerase 的應用價值在於，它讓加工者能在澱粉來源糖漿的基礎上調整葡萄糖與果糖比例，而不是完全改用蔗糖或單一糖；這種彈性對大型食品配方與供應鏈成本管理具有實際意義。

澱粉糖加工的末端異構化步驟

在澱粉糖產業中，Glucose Isomerase 通常不是第一個使用的酵素。澱粉原料需先經液化酵素把長鏈澱粉切成糊精，再經糖化酵素產生葡萄糖；Glucose Isomerase 的角色是在後段把已生成的葡萄糖進行部分異構化。也就是說，它處理的是「已經被水解成可溶性糖」的系統，而不是直接分解澱粉顆粒。

這種末端定位使 Glucose Isomerase 的效果高度依賴前段糖化品質。如果糖液中含有較多未完全水解的寡糖、雜質、鹽類或抑制性成分，異構化行為可能與純葡萄糖模型液不同。對實務使用者而言，理解它在流程中的位置，比單純把它視為「甜味提升酵素」更重要。

木糖、木酮糖與生物加工研究

Glucose Isomerase 與 Xylose Isomerase 的重疊也讓它在木質纖維素轉化與生物燃料研究中受到關注。木糖是半纖維素的重要組成糖，若能有效轉為木酮糖，便可與特定微生物代謝路徑連接，用於發酵與生物轉換研究；Xylose Isomerase 的基礎研究到應用技術發展，正是此領域的重要主題之一^[1]。

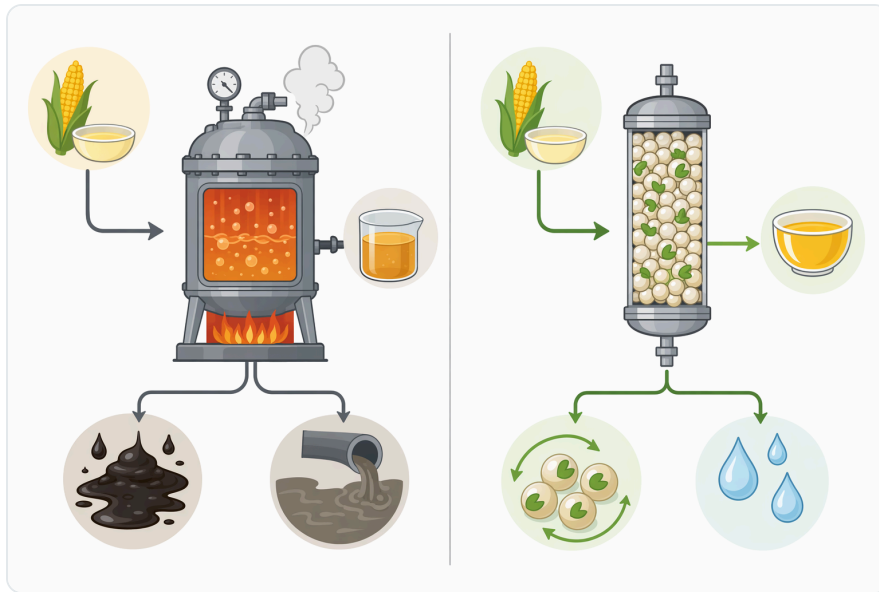


Figure 4. 與非酶促糖類異構化相比，葡萄糖異構酶能在較溫和的條件下選擇性生產果糖，並產生較少的降解副產物。

不過，木糖相關應用比高果糖糖漿更依賴系統設計，包括菌株代謝能力、基質來源、抑制物、轉運效率、酵素表達量與反應環境。換言之，Glucose Isomerase 可作為木糖轉換工具，但不能單獨保證整體發酵或生物燃料製程效率。

特殊糖與多酵素串聯轉換

近年研究也把 Glucose Isomerase 放入多酵素或重組微生物系統中，用來製備特殊糖。例如有研究透過在大腸桿菌中共同表達 D-glucose isomerase 與 D-lyxose isomerase，探索由 D-glucose 生產 D-mannose 的路徑，顯示 Glucose Isomerase 可成為稀有糖轉換網絡中的一個節點^[6]。

這類應用應被視為研究與開發導向，而不是傳統糖漿加工的直接替代。特殊糖轉換通常牽涉多個平衡反應、底物競爭、產物抑制與分離難題；Glucose Isomerase 能提供特定異構化步驟，但整體產率與經濟性仍需依具體系統評估。

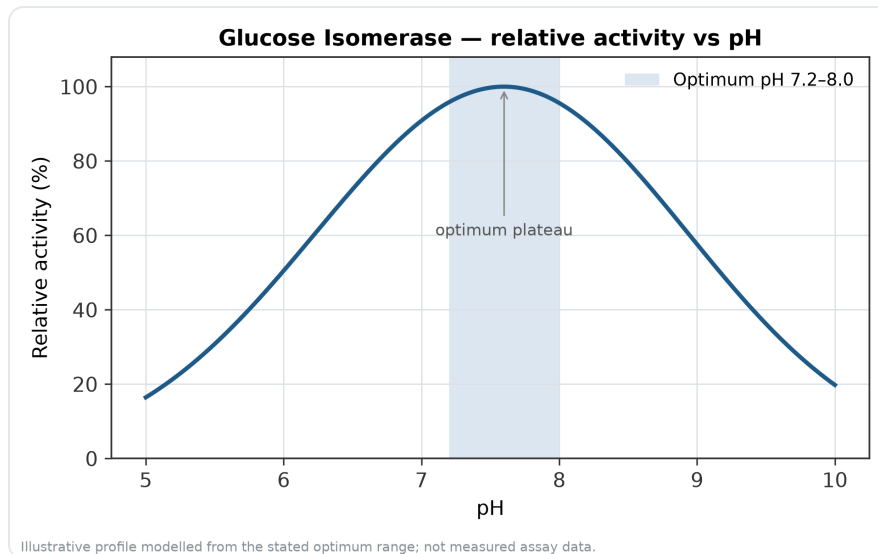


Figure 5. 葡萄糖異構酶相對活性隨 pH 值變化的關係，顯示其最適平台區位於 pH 7.2–8.0。

固定化與連續處理：為什麼它常被放在反應器中使用？

Glucose Isomerase 在工業上常與固定化技術一起討論。固定化是把酵素限制在固體載體或微環境中，使糖液通過時發生反應，而酵素不隨產物流失；這種策略有利於連續式操作、重複使用與反應器管理。固定化 Glucose Isomerase 的研究包括離子結合、共價固定與不同載體材料，目的在於改善操作穩定性與循環使用表現^[7]。

固定化不只是「把酵素黏住」那麼簡單。載體表面電荷、孔徑、擴散阻力、酵素取向與微環境 pH 都可能影響反應速率；若糖液黏度高或固形物濃度高，底物擴散到活性位點的速度也可能成為限制。這也是為什麼同一種 Glucose Isomerase 在溶液中、固定床中或複合材料中可能呈現不同表現。

材料科學也正在擴展 Glucose Isomerase 的固定化形式。例如以 ZIF-8 等金屬有機框架材料包覆或裝飾酵素與細胞的研究，曾被用於建構可重複使用的生物催化系統，並用於海藻糖與果糖共同生產的概念驗證^[8]。這類研究說明固定化不只是傳統糖漿產業的工程手段，也逐漸成為多酵素系統、細胞催化與功能材料交會的研究方向。

影響反應表現的主要因素

溫度與熱穩定性

溫度同時影響糖液流動性、底物擴散、反應速率與酵素穩定性。較高溫度可能使高濃度糖液更容易處理，也可能提高反應速率，但酵素本身是蛋白質，超過耐受範圍後可能產生構形變化與活性下降。因此，提升熱穩定性一直是 Glucose Isomerase 改造研究的重點；例如針對 *Thermoanaerobacter ethanolicus* 來源 Glucose Isomerase 的定點突變研究，即以提升催化效率與熱穩定性為目標^[3]。

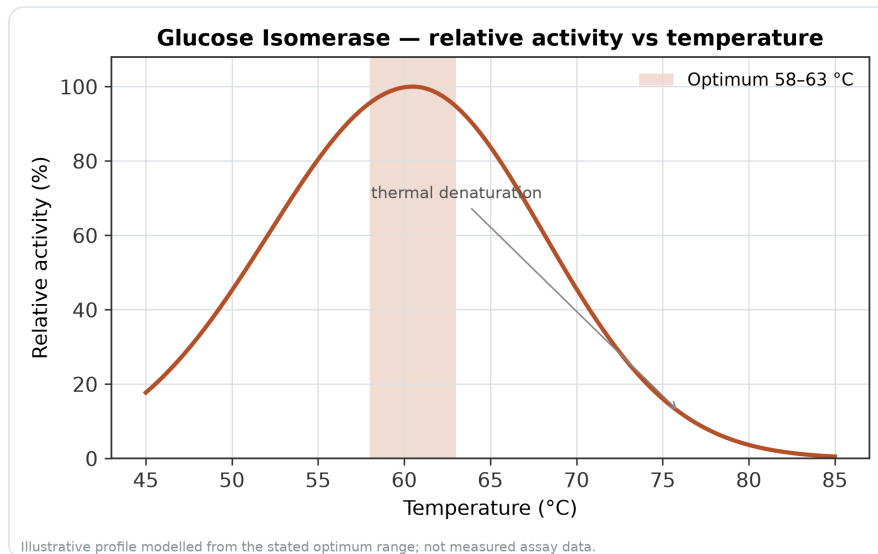


Figure 6. 葡萄糖異構酶相對活性隨溫度變化的關係，最適溫度為 58–63 °C，且在超過最適範圍後呈現典型的熱變性下降。

pH、金屬離子與活性位點狀態

Glucose Isomerase 的活性與 pH 密切相關，因為活性位點殘基的質子化狀態、金屬離子配位與底物結合都可能受到 pH 影響。某些研究也聚焦於熱嗜性重組 Glucose Isomerase 的性質改良，反映出產業應用常希望酵素能在更適合糖液處理的條件下保持活性與穩定性^[9]。

金屬離子對許多 Glucose Isomerase 的催化很重要，因為金屬可參與底物定位與過渡態穩定。實務上，不同來源酵素的金屬需求、抑制敏感性與穩定區間可能不同；這些差異通常由產品隨附文件與既有技術資料協助使用者理解，而不應以未經確認的通用數值替代。

底物濃度、平衡與停留時間

因為 Glucose Isomerase 反應是可逆的，底物濃度與停留時間會影響接近平衡的程度，但不會改變「平衡限制」這一本質。提高停留時間可讓糖液更接近平衡組成，但過長時間也可能降低產能或增加副反應風險；在連續式系統中，流速、床層高度與酵素負載形式都會影響最終糖組成。

底物純度也會影響實際結果。澱粉糖液中若含有鹽類、蛋白殘留、色素、寡糖或前處理副產物，可能影響酵素穩定性、糖液黏度或後續精製。對研發端而言，先用簡化糖液理解反應趨勢，再與實際原料糖液比較，通常比直接把文獻條件套用到商業糖漿更可靠。

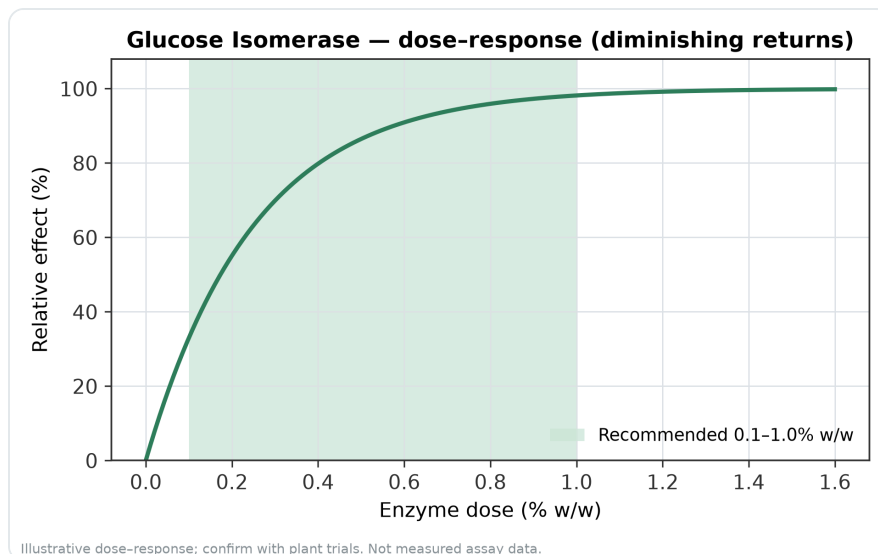


Figure 7. 葡萄糖異構酶在建議使用範圍 (0.1–1.0% w/w) 內的示意性劑量 - 反應關係。

與相近酵素的比較

酵素名稱	主要底物與反應	典型應用語境	與 Glucose Isomerase 的差異
Glucose Isomerase / Xylose Isomerase	D-glucose \rightleftharpoons D-fructose ; D-xylose \rightleftharpoons D-xylulose	高果糖糖漿、澱粉糖加工、木糖轉換、生物加工研究	本文主題；處理游離糖異構化，是 HFCS 製程代表性酵素 [1]
Glucose-6-Phosphate Isomerase	glucose-6-phosphate \rightleftharpoons fructose-6-phosphate	糖解作用、糖質新生、細胞代謝與疾病研究	處理磷酸化糖，不等同於食品糖漿用 glucose isomerase [4]
Sucrose Isomerase	sucrose 轉換為 isomaltulose 等異構蔗糖	低升糖甜味配料、異麥芽酮糖生產	底物是蔗糖，不是葡萄糖；固定化研究常見於異麥芽酮糖製程 [10]
L-Rhamnose Isomerase	L-rhamnose 與相關稀有糖轉換	稀有糖、D-allose 等生物催化研究	更偏稀有糖與特定單醣立體化學轉換，非 HFCS 主流酵素 [11]

這張比較表的核心目的，是避免把所有「isomerase」視為同一類可互換工具。不同異構酶的底物範圍、立體選擇性與產業定位差異很大；即使都能進行醣類異構化，也不代表能在相同糖液、相同 pH 或相同製程條件下替代使用。

科學證據與應用成熟度

主張	證據成熟度	可合理解讀的範圍
Glucose Isomerase 可催化葡萄糖與果糖互轉	高	這是其食品糖漿應用的核心反應，但反應可逆且受平衡限制 ^[1]
它可用於高果糖糖漿製造	高	適合作為澱粉糖化後的異構化步驟，用於調整果糖比例
固定化有助於連續處理與重複使用	高	固定化可改善操作便利性，但效果受載體、糖液與反應器條件影響 ^[7]
定點突變可改善催化效率或熱穩定性	中至高	已有研究證明可行，但不同酵素來源與突變組合不能直接外推 ^[3]
可用於特殊糖或多酵素轉換	中	具研究潛力，但通常需要多步驟系統與產物分離設計 ^[6]
可等同於 glucose-6-phosphate isomerase	不成立	兩者底物、代謝語境與應用領域不同 ^[5]

從證據角度看，Glucose Isomerase 在高果糖糖漿中的應用屬於成熟領域；在木糖轉換、生物燃料與特殊糖方面則屬於具有研究基礎但更依賴情境的應用。對商業使用者而言，最穩健的理解方式，是把它定位為「游離單醣異構化工具」，而不是通用的糖類轉換萬用酵素。

使用定位與採購資訊

Enzymes.bio 供應的 Glucose Isomerase 適合專業使用者用於碳水化合物轉換、葡萄糖至果糖處理、食品原料開發、糖漿應用評估與相關研發試驗。Enzymes.bio 不以製造商或實驗室身分提供製程設計結論，也不將本文件作為法規、醫療或臨床用途說明。

產品以 1 kg 單位在線上直接銷售；每筆訂單隨附 CoA 與 SDS，供使用者掌握批次文件與安全資訊。本文不提供具體活性單位、分析方法或製程配方，因為這些內容需依產品隨附文件與實際應用條件判讀。

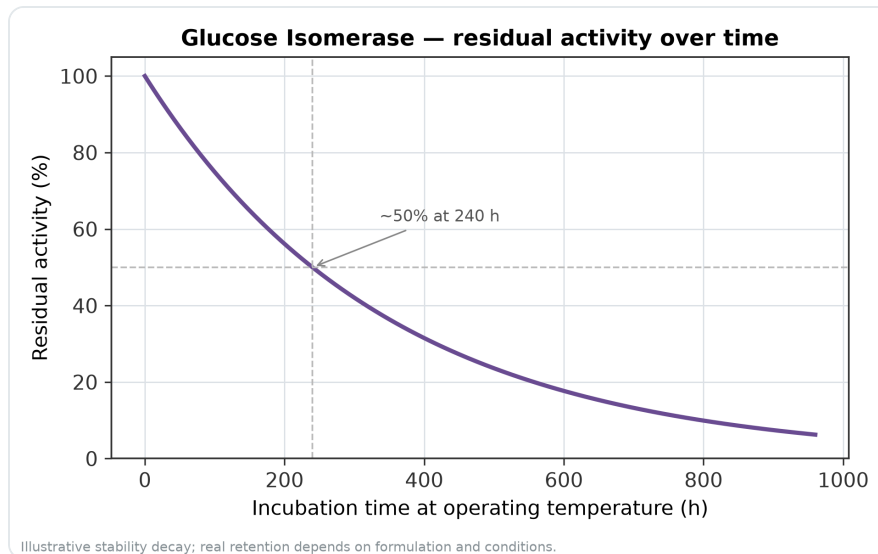


Figure 8. 葡萄糖異構酶的示意性熱穩定性衰減——在操作溫度下，殘餘活性會隨時間下降。

結論：成熟但需要正確理解的碳水化合物異構化酵素

Glucose Isomerase 是食品糖漿與碳水化合物轉換領域中研究基礎扎實、應用歷史明確的酵素。它最重要的功能，是把游離 D-glucose 與 D-fructose 之間的可逆異構化變成可被控制的加工步驟，並延伸到 D-xylose 與 D-xylulose 相關的生物加工研究^[1]。

它的限制也同樣清楚：反應受平衡控制，不能被描述為完全轉換；實際表現會受到溫度、pH、糖液組成、固定化型態、停留時間與反應器條件影響。正確使用 Glucose Isomerase 的關鍵，是把它放在完整糖漿或碳水化合物轉換流程中理解，而不是只看單一酵素名稱。

最後，glucose isomerase、glucose 6-phosphate isomerase、glucose-6-phosphate isomerase 與 glucose 6 phosphate isomerase 雖然在搜尋上容易混在一起，但前者屬於游離糖異構化與工業糖漿應用，後者屬於磷酸化糖代謝與生物醫學語境。對食品、飲料、澱粉糖與 B2B 原料開發使用者而言，這項區分有助於避免技術誤判，也能更準確評估 Glucose Isomerase 在葡萄糖轉果糖與糖漿加工中的實際價值。

線上訂購 Glucose Isomerase

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 Isomerase →](#)

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. Barreto, M. Q., Garbelotti, C., Lopes, D. C. B., Moura Soares, J., & Ward, R. J. (2025). Xylose isomerase: from fundamental research to applied enzyme technology. *Journal of Biotechnology*.
2. Xu, Y., & Nam, K. (2023). Xylitol binding to the M1 site of glucose isomerase induces a conformational change in the substrate binding channel. *Biochemical and Biophysical Research Communications - BBRC*, 682, 21-26 .
3. Jin, L., Jin, Y., Jing-Zhang, Zhi-Liu, & Zheng, Y. (2021). Enhanced catalytic efficiency and thermostability of glucose isomerase from *Thermoanaerobacter ethanolicus* via site-directed mutagenesis. *Enzyme and Microbial Technology*, 152, 109931 .
4. Hong, Z., Wang, J., Hu, B., Tu, X., Yang, J., Sun, W., & Duan, X. (2025). Esculetin inhibits liver cancer by targeting glucose-6-phosphate isomerase mediated glycolysis. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 188, 118118 .
5. Arnold, H., Blume, K., Löhr, G. W., Schröter, W., Koch, H. H., & Wonneberger, B. (1974). Glucose Phosphate Isomerase Deficiency with Congenital Nonspherocytic Hemolytic Anemia: A New Variant (Type Nordhorn). II. Purification and Biochemical Properties of the Defective Enzyme. *Pediatric Research*, 8, 26-30.
6. Huang, J., Yu, L., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C., & Mu, W. (2018). Production of d-mannose from d-glucose by co-expression of d-glucose isomerase and d-xylose isomerase in *Escherichia coli*. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98 13, 4895-4902 .
7. Akpınar, Z., YILDIRIM, M. K., & Karaoglu, H. (2022). Ionic and covalent immobilization of glucose isomerase of thermophilic *Anoxybacillus gonensis* on DEAE-sepharose. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
8. Zhu, L., Shen, B., Song, Z., & Jiang, L. (2020). Permeabilized TreS-expressing *Bacillus subtilis* cells decorated with glucose isomerase and a shell of ZIF-8 as a reusable biocatalyst for the co-production of trehalose and fructose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
9. Dokuzparmak, C., Colak, A., Kolcuoğlu, Y., Akatin, M. Y., Ertunga, N. S., & Tuncay, F. O. (2020). Development of Some Properties of a Thermophilic Recombinant Glucose Isomerase by Mutation. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56, 164-172.
10. Jing, W., Hou, F., Wu, X., Zheng, M., Zheng, Y., Lu, F., & Liu, F. (2024). A Critical Review on Immobilized Sucrose Isomerase and Cells for Producing Isomaltulose. *Foods*, 13.
11. Yoshida, H., Izumori, K., & Yoshihara, A. (2024). L-rhamnose isomerase: a crucial enzyme for rhamnose catabolism and conversion of rare sugars. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108.

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。