

# Glucose Isomerase trong sản xuất syrup fructose: cơ chế, ứng dụng và vai trò của enzyme cố định

Nhóm Nghiên cứu Enzymes.bio · Wellington, New Zealand · June 20, 2026

**Glucose isomerase là enzyme xúc tác phản ứng thuận nghịch chuyển D-glucose thành D-fructose, vì vậy nó là mắt xích trung tâm trong sản xuất syrup fructose từ tinh bột.** Trong công nghiệp, dạng **immobilized glucose isomerase** được dùng rộng rãi vì enzyme có thể được giữ trong hệ phản ứng, giúp dòng syrup glucose đi qua và được isomer hóa thành syrup chứa fructose theo cách dễ kiểm soát hơn <sup>[1]</sup>.

## Glucose Isomerase là gì?

Glucose isomerase, thường được gọi trong tài liệu kỹ thuật là xylose isomerase hoặc D-xylose isomerase, thuộc nhóm enzyme xúc tác phản ứng isomer hóa đường. Tên gọi “xylose isomerase” phản ánh cơ chất sinh học quan trọng là D-xylose, trong khi tên “glucose isomerase” phổ biến hơn trong công nghiệp thực phẩm do vai trò chuyển D-glucose thành D-fructose để tạo syrup fructose <sup>[2]</sup>.

Về bản chất hóa học, enzyme này không cắt mạch tinh bột, không thủy phân liên kết glycosidic và cũng không tạo thêm nguyên tử mới cho phân tử đường. Nó xúc tác sự tái sắp xếp nội phân tử giữa dạng aldose và ketose: D-glucose là aldose, còn D-fructose là ketose; tương tự, D-xylose có thể được chuyển thành D-xylulose <sup>[3]</sup>.

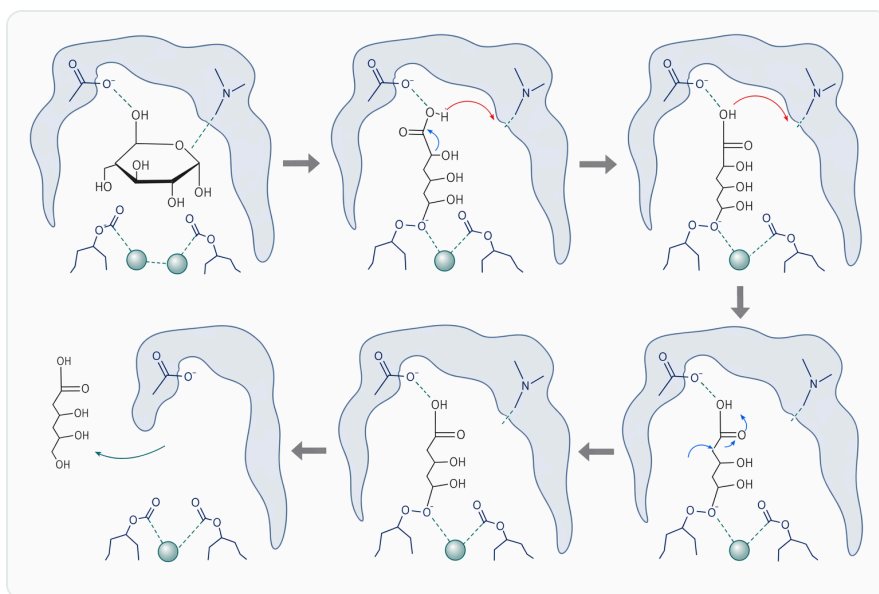
Điểm làm glucose isomerase trở nên đặc biệt trong chế biến carbohydrate là phản ứng của nó nằm sau các bước thủy phân tinh bột. Tinh bột từ bắp, sắn hoặc nguồn giàu starch khác thường được chuyển trước thành syrup glucose, sau đó glucose isomerase thực hiện bước isomer hóa để nâng tỷ lệ fructose trong syrup <sup>[4]</sup>.

Trong phạm vi sử dụng B2B, glucose isomerase nên được hiểu là enzyme xử lý nguyên liệu đường trong hệ quy trình, không phải enzyme tiêu hóa cho người tiêu dùng cuối. Enzyme này phù hợp với các ứng dụng như syrup fructose, chuyển hóa đường trong công nghiệp tinh bột, một số mô hình phản ứng liên tục và các hướng nghiên cứu liên quan đến nền carbohydrate <sup>[5]</sup>.

## Vì sao glucose isomerase quan trọng trong sản xuất syrup fructose?

Nguồn glucose công nghiệp thường đến từ tinh bột vì tinh bột có nguồn cung lớn, chi phí tương đối thuận lợi và có thể được thủy phân bằng enzyme thành syrup glucose. Tuy nhiên, glucose syrup không có cùng hồ sơ độ ngọt và chức năng công thức như syrup chứa fructose, nên bước isomer hóa bằng glucose isomerase giúp chuyển một phần glucose thành fructose mà không phải thay đổi hoàn toàn nguồn nguyên liệu carbohydrate [5].

Trong sản xuất high-fructose syrup hoặc high-fructose corn syrup, glucose isomerase đóng vai trò ở “khâu chuyển cấu trúc đường”. Sau khi tinh bột đã được xử lý thành glucose, enzyme này tạo ra hỗn hợp đường có chứa fructose; hỗn hợp đó có thể được dùng trong đồ uống, bánh kẹo, sản phẩm sữa, thực phẩm chế biến và các hệ công thức cần chất tạo ngọt ổn định [1].



**Figure 1.** Glucose isomerase xúc tác quá trình đồng phân hóa thuận nghịch D-glucose thành D-fructose thông qua sự sắp xếp lại aldose–ketose có hỗ trợ của kim loại.

Lợi thế của phản ứng enzyme là tính chọn lọc. Thay vì sử dụng điều kiện hóa học có thể dẫn tới nhiều sản phẩm phụ hơn, glucose isomerase định hướng cơ chất trong vùng hoạt động để thực hiện phản ứng isomer hóa mong muốn; điều này đặc biệt quan trọng với ngành thực phẩm, nơi hồ sơ đường và tạp phản ứng cần được kiểm soát [6].

Ứng dụng này cũng có ý nghĩa với các nguồn tinh bột ngoài bắp. Nghiên cứu về chuyển hóa tinh bột sản thành glucose và fructose bằng quy trình enzyme cho thấy chuỗi xử lý tinh bột–glucose–fructose không giới hạn ở một nguyên liệu duy nhất, miễn là nền tinh bột được chuẩn bị phù hợp cho các bước enzyme tiếp theo [4].

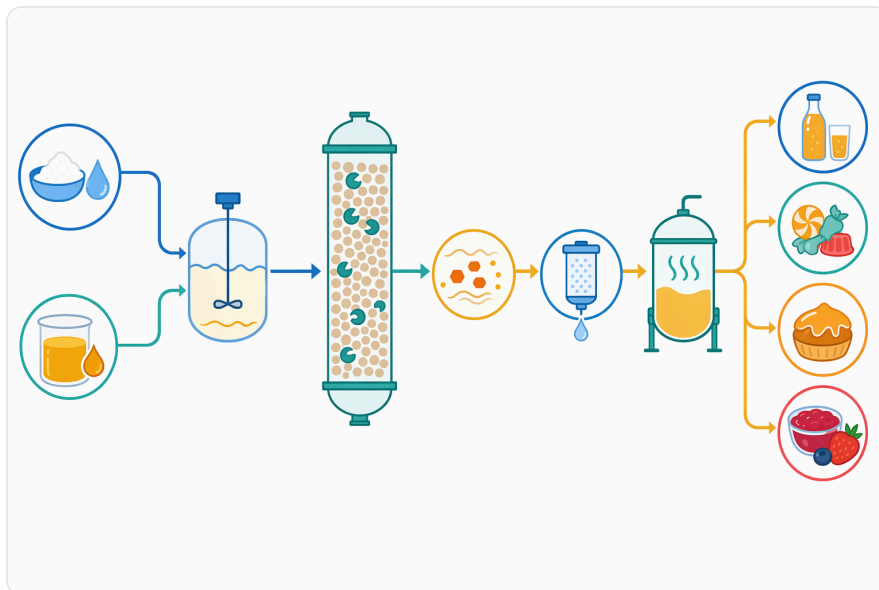
## Cơ chế hoạt động: từ aldose sang ketose

Ở mức phân tử, glucose và fructose có cùng công thức tổng quát nhưng khác cách sắp xếp nhóm chức. Glucose là aldose, nghĩa là dạng mạch hở của nó có nhóm aldehyde; fructose là ketose, với nhóm ketone ở vị trí khác trong mạch carbon. Glucose isomerase xúc tác sự chuyển vị này mà không làm thay đổi tổng số nguyên tử carbon, hydro và oxy của phân tử đường [2].

Phản ứng isomer hóa thường được mô tả thông qua dạng mạch hở của đường. Trong dung dịch, glucose tồn tại chủ yếu ở dạng vòng nhưng luôn có một phần nhỏ chuyển qua dạng mạch hở; enzyme nhận diện và ổn định trạng thái thích hợp của cơ chất để quá trình tái sắp xếp nhóm chức diễn ra hiệu quả hơn so với phản ứng tự phát trong dung dịch [3].

Nhiều glucose isomerase là metalloenzyme, tức hoạt động xúc tác liên quan đến ion kim loại trong trung tâm hoạt động. Nghiên cứu cấu trúc gần đây về sự gắn xylitol tại vị trí M1 của glucose isomerase cho thấy tương tác tại vùng gắn kim loại có thể gây thay đổi cấu dạng trong kênh gắn cơ chất, nhấn mạnh vai trò của kiến trúc vùng hoạt động đối với khả năng xúc tác [7].

Cần lưu ý phản ứng glucose–fructose là thuận nghịch. Enzyme không “ép” toàn bộ glucose thành fructose theo một chiều tuyệt đối; hệ phản ứng tiến dần tới cân bằng phụ thuộc vào nhiệt độ, pH, nồng độ cơ chất, thời gian lưu, thành phần syrup và cách bố trí reactor [4].



**Figure 2.** Trong công nghiệp, glucose isomerase thường được sử dụng trong các thiết bị phản ứng tầng cố định dạng cột nhồi có enzyme cố định để sản xuất siro giàu fructose từ siro glucose.

Chính vì phản ứng có cân bằng, sản xuất syrup fructose không chỉ là việc thêm enzyme vào glucose syrup. Quy trình cần kiểm soát mức tiếp xúc giữa cơ chất và enzyme, đồng thời xử lý các yếu tố có thể làm giảm hoạt tính biểu kiến, chẳng hạn tạp chất trong syrup, điều kiện pH lệch vùng phù hợp hoặc những thành phần ảnh hưởng đến trạng thái kim loại của enzyme [8].

## Glucose isomerase tự do và immobilized glucose isomerase khác nhau thế nào?

Trong phòng thí nghiệm hoặc một số quy trình mẻ, enzyme có thể được dùng ở dạng hòa tan. Tuy nhiên, trong sản xuất syrup liên tục, dạng cố định — thường được gọi là **immobilized glucose isomerase** — có lợi thế rõ rệt vì enzyme được gắn hoặc giữ trong một pha rắn, còn syrup glucose đi qua lớp xúc tác sinh học [1].

Cố định enzyme giúp tách chức năng xúc tác khỏi dòng sản phẩm. Thay vì enzyme đi theo syrup sau phản ứng, enzyme được giữ lại trong reactor, hỗ trợ vận hành liên tục, tái sử dụng xúc tác sinh học và giảm nhu cầu tách enzyme khỏi syrup thành phẩm [9].

Các chiến lược cố định có thể khác nhau: hấp phụ ion, liên kết cộng hóa trị, bao gói trong cấu trúc polymer hoặc cố định trên hạt vi nang carbohydrate. Nghiên cứu về cố định glucose isomerase trên DEAE-sepharose đã so sánh hướng cố định ion và cộng hóa trị, trong khi nghiên cứu khác phát triển vi nang carbohydrate được biến tính để gắn cộng hóa trị enzyme cho các ứng dụng thực phẩm và dược phẩm [8].

Tiêu chí so sánh	Glucose isomerase dạng tự do	Immobilized glucose isomerase
Vị trí enzyme trong hệ phản ứng	Phân tán trong dịch phản ứng	Được giữ trên hoặc trong giá thể rắn
Khả năng dùng cho dòng liên tục	Hạn chế hơn vì enzyme đi cùng dòng sản phẩm	Phù hợp hơn với packed-bed hoặc hệ dòng qua
Tách enzyme khỏi sản phẩm	Có thể cần bước xử lý bổ sung	Dễ hơn vì enzyme nằm lại trong reactor
Tái sử dụng xúc tác	Khó hơn trong quy trình lỏng đồng nhất	Có thể tái sử dụng trong nhiều chu kỳ vận hành
Rủi ro khuếch tán cơ chất	Thấp hơn vì enzyme tiếp xúc trực tiếp	Có thể bị ảnh hưởng bởi cấu trúc giá thể và kích thước lỗ
Ứng dụng điển hình	Nghiên cứu phản ứng, xử lý mẻ	HFCS, syrup fructose, mô hình liên tục

Điểm đánh đổi của enzyme cố định là cơ chất phải khuếch tán vào vùng chứa enzyme trên giá thể. Nếu syrup quá nhớt, chứa tạp rắn hoặc được vận hành với thời gian lưu không phù hợp, phản ứng có thể bị giới hạn bởi truyền khối thay vì chỉ bởi hoạt tính nội tại của enzyme [10].

Dù vậy, bằng chứng ứng dụng cho thấy cố định glucose isomerase là một hướng rất quan trọng trong công nghiệp syrup. Nghiên cứu về enzyme tái tổ hợp cố định cho sản xuất high-fructose corn syrup đã tập trung trực tiếp vào mục tiêu nâng hiệu quả sản xuất HFCS, phản ánh sự phù hợp của dạng cố định với hệ quy trình công nghiệp [1].



**Figure 3.** Ứng dụng thương mại chính của glucose isomerase là sản xuất siro fructose, đồng thời enzyme này còn có vai trò trong thực phẩm ngọt, đồ uống và xử lý sinh học carbohydrate.

## Vị trí của glucose isomerase trong chuỗi xử lý tinh bột

Một chuỗi xử lý tinh bột điển hình có thể được hiểu theo ba lớp phản ứng. Trước hết, tinh bột được phá vỡ và thủy phân thành dextrin hoặc oligosaccharide; tiếp theo, các phân tử này được đường hóa thành glucose; cuối cùng, glucose isomerase chuyển một phần glucose thành fructose để tạo syrup chứa fructose [5].

Trong một số thiết kế quy trình, bước đường hóa và isomer hóa có thể được kết hợp để rút ngắn chuỗi xử lý. Nghiên cứu tối ưu hóa đồng thời đường hóa và isomer hóa dextrin thành high-fructose syrup đã sử dụng hỗn hợp amyloglucosidase cố định và glucose isomerase cố định, cho thấy khả năng phối hợp enzyme trong cùng một định hướng công nghệ [10].

Cách tiếp cận kết hợp này có ý nghĩa vì glucose isomerase không tự tạo glucose từ tinh bột. Nó cần cơ chất là glucose hoặc đường phù hợp khác; do đó, chất lượng bước thủy phân tinh bột quyết định trực tiếp đến dòng nguyên liệu mà glucose isomerase nhận được [5].

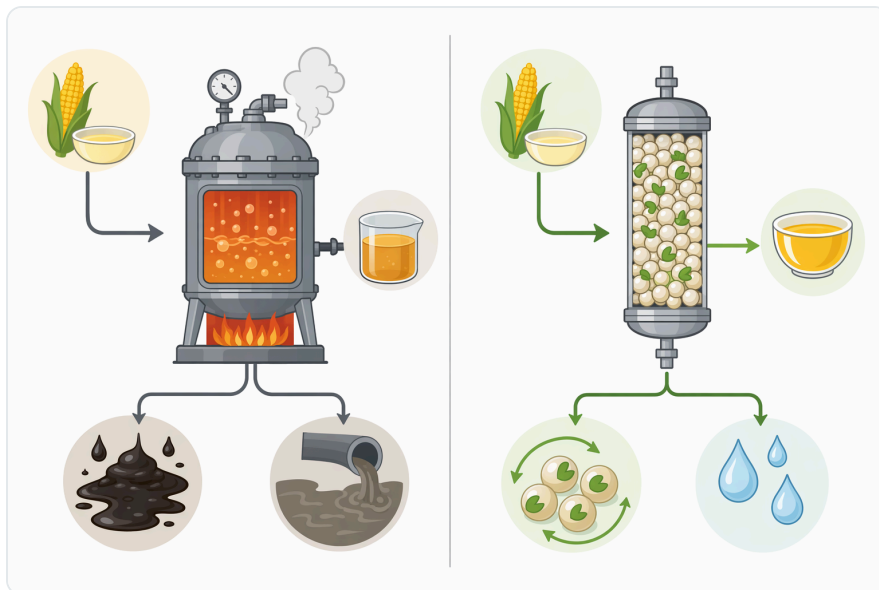
Với tinh bột sẵn, nghiên cứu chuyển tinh bột sẵn thành glucose và fructose bằng quy trình enzyme có gia nhiệt vi sóng cho thấy nguồn starch phi bắp có thể được đưa vào chuỗi sản xuất đường giá trị cao. Điều này quan trọng đối với các khu vực có nguồn sẵn dồi dào hoặc muốn đa dạng hóa nguyên liệu cho syrup fructose [4].

## Các ứng dụng công nghiệp và hướng nghiên cứu liên quan

### Sản xuất syrup fructose và HFCS

Ứng dụng trưởng thành nhất của glucose isomerase là chuyển glucose syrup thành syrup chứa fructose. Trong hệ này, enzyme không đóng vai trò tạo ngọt trực tiếp mà là công cụ biến đổi thành phần đường, giúp nhà sản xuất điều chỉnh tỷ lệ glucose–fructose theo mục tiêu công thức và yêu cầu chế biến [1].

HFCS đặc biệt gắn liền với immobilized glucose isomerase vì vận hành liên tục giúp duy trì dòng syrup ổn định. Packed-bed reactor hoặc các cấu hình tương tự cho phép syrup đi qua lớp enzyme cố định, trong khi enzyme được giữ lại để tiếp tục xúc tác cho các dòng cơ chất tiếp theo [1].



**Figure 4.** So với quá trình đồng phân hóa đường không dùng enzyme, glucose isomerase cho phép tạo fructose có tính chọn lọc trong điều kiện ôn hòa hơn và tạo ít sản phẩm phân hủy phụ hơn.

## Syrup fructose từ nguồn tinh bột không truyền thống

Các nguồn tinh bột không truyền thống, bao gồm nguyên liệu giàu starch địa phương hoặc phụ phẩm nông nghiệp phù hợp, đang được quan tâm để sản xuất glucose syrup. Khi glucose syrup đã được tạo ra, glucose isomerase có thể trở thành bước tiếp theo để nâng giá trị sản phẩm thành syrup chứa fructose [5].

Điểm cần nhấn mạnh là glucose isomerase không khắc phục được mọi vấn đề của nguyên liệu thô. Nếu bước tiền xử lý tinh bột tạo nhiều tạp chất, chất màu, ion không mong muốn hoặc các thành phần ức chế, hiệu quả isomer hóa có thể bị ảnh hưởng; vì vậy chất lượng glucose syrup đầu vào vẫn là yếu tố quy trình quan trọng [4].

## Quy trình một nồi và tích hợp xúc tác

Một hướng phát triển đáng chú ý là tích hợp glucose isomerase với các hệ xúc tác khác trong cùng chuỗi phản ứng. Nghiên cứu về sản xuất fructose một nồi từ glucose đã kết hợp xúc tác enzyme và xúc tác dị thể, minh họa cách phản ứng isomer hóa có thể được tích hợp vào hệ chuyển hóa carbohydrate phức tạp hơn [6].

Cách tiếp cận tích hợp có tiềm năng giảm số bước tách trung gian, nhưng cũng làm tăng độ khó kiểm soát. Mỗi xúc tác có vùng điều kiện phù hợp riêng; khi ghép enzyme với xúc tác dị thể, cần cân bằng giữa điều kiện thuận lợi cho protein enzyme và điều kiện cần cho xúc tác hóa học [6].

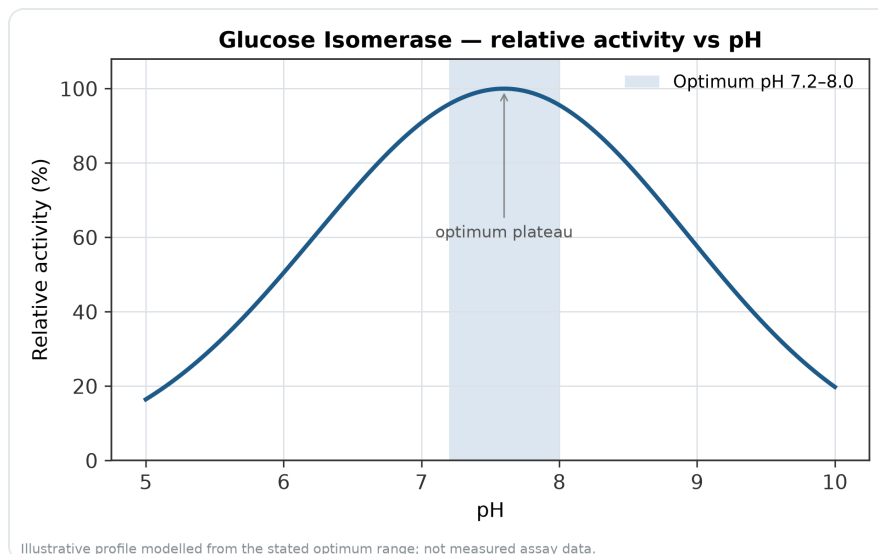
## Sản xuất fructose syrup từ lactose bằng hệ enzyme phối hợp

Glucose isomerase cũng có thể tham gia các hệ enzyme phối hợp ngoài nền tinh bột. Nghiên cứu về combi-CLEAs của  $\beta$ -galactosidase và glucose isomerase đã hướng tới sản xuất fructose syrup một nồi từ lactose, trong đó  $\beta$ -galactosidase xử lý lactose còn glucose isomerase chuyển phần glucose sinh ra thành fructose [11].

Ứng dụng này cho thấy giá trị của glucose isomerase không chỉ nằm ở HFCS truyền thống. Khi một quy trình sinh ra glucose như chất trung gian, enzyme này có thể được xem như công cụ chuyển đổi tiếp theo để thay đổi hồ sơ đường của hệ sản phẩm [11].

## Chuyển hóa xylose và nền sinh học

Vì glucose isomerase cũng là xylose isomerase, enzyme này có liên quan đến chuyển hóa D-xylose thành D-xylulose. Trong bối cảnh sinh học công nghiệp, phản ứng này được chú ý vì xylose là đường pentose phổ biến trong biomass lignocellulose, còn khả năng chuyển hóa pentose hiệu quả là một vấn đề lớn của các quy trình sinh học [3].



**Figure 5.** Hoạt tính tương đối của glucose isomerase theo pH, cho thấy vùng tối ưu ở pH 7,2–8,0.

Tuy nhiên, ứng dụng xylose không nên được diễn giải như bản sao đơn giản của sản xuất syrup fructose. Nền nguyên liệu, vi sinh vật sử dụng tiếp theo, mục tiêu sản phẩm và cân bằng phản ứng đều khác; vì vậy vai trò của glucose isomerase trong hệ xylose cần được đánh giá theo từng quy trình sinh học cụ thể [12].

### Nền tảng cho 5-hydroxymethylfurfural và hóa chất sinh học

Fructose là cơ chất thuận lợi hơn glucose trong nhiều tuyến tạo 5-hydroxymethylfurfural, một hóa chất nền sinh học quan trọng. Vì glucose isomerase có thể chuyển glucose thành fructose, enzyme này xuất hiện trong các chiến lược chemo-enzymatic nhằm biến glucose thành sản phẩm giá trị cao hơn trước khi tiếp tục khử nước hoặc chuyển hóa hóa học [13].

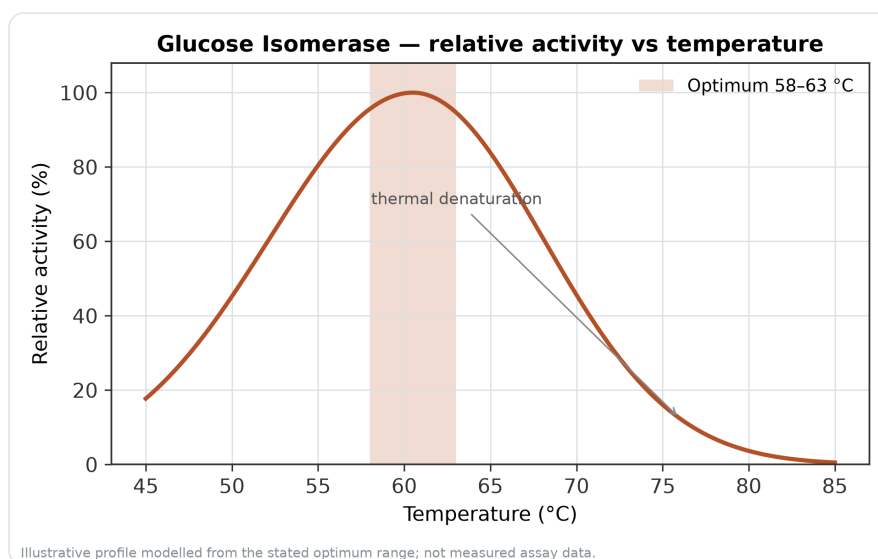
Các nghiên cứu về dung môi ion, siêu âm và hệ xúc tác cho chuyển glucose thành 5-hydroxymethylfurfural cho thấy phản ứng isomer hóa có thể là một bước trong chuỗi chuyển hóa rộng hơn. Tuy vậy, những điều kiện như dung môi đặc biệt hoặc xúc tác hóa học mạnh cần được xem xét cẩn thận vì enzyme protein có giới hạn ổn định riêng [14].

### Yếu tố quy trình ảnh hưởng đến hiệu quả isomer hóa

pH là một yếu tố trung tâm vì nó ảnh hưởng đến trạng thái ion hóa của acid amin trong vùng hoạt động, trạng thái cơ chất và độ bền cấu trúc của enzyme. Nếu pH lệch khỏi vùng phù hợp của enzyme cụ thể, khả năng gắn cơ chất và tốc độ isomer hóa có thể giảm ngay cả khi nồng độ glucose đầu vào cao [8].

Nhiệt độ cũng có hai tác động song song. Nhiệt độ cao thường làm giảm độ nhớt syrup và có thể hỗ trợ tốc độ phản ứng đến một giới hạn nhất định, nhưng nhiệt quá mức hoặc kéo dài có thể gây mất cấu trúc protein và làm giảm tuổi thọ enzyme, đặc biệt trong hệ vận hành liên tục [15].

Thành phần khoáng và ion kim loại cần được hiểu như một phần của môi trường enzyme. Các nghiên cứu về vùng gắn kim loại và thay đổi cấu dạng khi chất tương tự cơ chất gắn vào vị trí M1 cho thấy trung tâm hoạt động của glucose isomerase phụ thuộc mạnh vào kiến trúc kim loại-protein-cơ chất [7].



**Figure 6.** Hoạt tính tương đối của glucose isomerase theo nhiệt độ, với mức tối ưu ở 58–63 °C và sự suy giảm đặc trưng do biến tính nhiệt khi vượt quá nhiệt độ tối ưu.

Độ tinh sạch của syrup glucose đầu vào cũng quan trọng. Tạp chất từ thủy phân tinh bột, chất màu, muối, sản phẩm phụ nhiệt hoặc thành phần có khả năng bám lên giá thể cố định có thể làm giảm hiệu quả truyền khối, làm biến đổi môi trường cục bộ hoặc rút ngắn tuổi thọ vận hành của immobilized glucose isomerase [10].

Trong hệ enzyme cố định, kích thước hạt, cấu trúc lỗ, phương thức liên kết và độ bền cơ học của giá thể đều ảnh hưởng đến hiệu suất. Nghiên cứu về vi nang carbohydrate cố định glucose isomerase cho thấy vật liệu mang không chỉ là “chỗ bám” mà còn quyết định cách enzyme tiếp xúc với cơ chất trong ứng dụng thực phẩm và dược phẩm [9].

## Bằng chứng khoa học: phần nào đã trưởng thành, phần nào đang phát triển?

Bằng chứng mạnh nhất cho glucose isomerase nằm ở phản ứng D-glucose thành D-fructose. Từ các công trình kinh điển về chuyển D-glucose thành D-fructose bằng enzyme đến các nghiên cứu hiện đại về enzyme cố định cho HFCS, vai trò này đã được xác lập rõ trong công nghiệp carbohydrate [2].

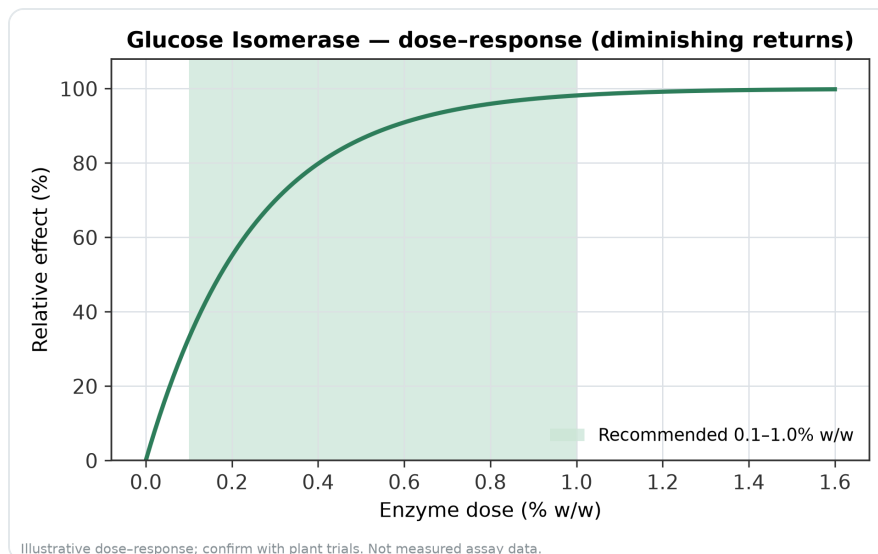
Bằng chứng về enzyme cố định cũng tương đối vững vì nhiều nghiên cứu tập trung trực tiếp vào cố định glucose isomerase, từ gắn ion/cộng hóa trị cho đến enzyme tái tổ hợp cố định. Các công trình này cùng hướng tới mục tiêu nâng độ ổn định, tái sử dụng và khả năng vận hành phù hợp với sản xuất syrup [8].

Bằng chứng về tích hợp quy trình đang phát triển nhanh. Các nghiên cứu đồng thời đường hóa–isomer hóa dextrin, hệ combi-CLEAs từ lactose và mô hình một nồi glucose–fructose cho thấy glucose isomerase có thể được đưa vào hệ enzyme đa thành phần hoặc chuỗi xúc tác lai, nhưng mức độ sẵn sàng công nghiệp phụ thuộc vào từng cấu hình [10].

Hướng ứng dụng	Mức độ trưởng thành tương đối	Vai trò của glucose isomerase	Lưu ý kỹ thuật chính
HFCS và syrup fructose từ glucose syrup	Rất trưởng thành	Isomer hóa glucose thành fructose	Cần kiểm soát cân bằng phản ứng và vận hành reactor
Immobilized glucose isomerase trong dòng liên tục	Trưởng thành	Giữ enzyme trong hệ để xử lý syrup	Phụ thuộc giá thể, truyền khối và độ bền vận hành
Đồng thời đường hóa–isomer hóa dextrin	Đang phát triển/ứng dụng chuyên biệt	Kết hợp với amyloglucosidase	Phải cân bằng điều kiện cho nhiều enzyme
Fructose syrup từ lactose bằng combi-CLEAs	Đang nghiên cứu ứng dụng	Chuyển glucose sinh ra từ lactose thành fructose	Cần phối hợp enzyme và kiểm soát sản phẩm phụ
Chemo-enzymatic glucose-to-HMF	Đang phát triển	Tạo fructose trung gian thuận lợi hơn cho HMF	Dung môi và xúc tác hóa học có thể ảnh hưởng enzyme
Chuyển hóa xylose trong sinh học công nghiệp	Phụ thuộc hệ sinh học	Chuyển xylose thành xylulose	Cần tích hợp với chuyển hóa vi sinh hoặc bước tiếp theo

## Giới hạn cần hiểu đúng

Giới hạn đầu tiên là cân bằng phản ứng. Glucose isomerase không phải công cụ chuyển toàn bộ glucose thành fructose trong mọi bối cảnh; nó xúc tác phản ứng thuận nghịch và hiệu quả thực tế phụ thuộc vào hệ vận hành, nên cách diễn giải “enzyme tạo fructose” phải luôn đi kèm hiểu biết về cân bằng glucose–fructose [1].



**Figure 7.** Minh họa đáp ứng theo liều của glucose isomerase trong khoảng sử dụng khuyến nghị 0,1–1,0% w/w.

Giới hạn thứ hai là enzyme không thay thế các bước thủy phân tinh bột. Nếu nguyên liệu ban đầu là starch, cần có các enzyme và điều kiện phù hợp để tạo glucose trước; glucose isomerase chỉ phát huy vai trò chính khi cơ chất có thể đi vào phản ứng isomer hóa [5].

Giới hạn thứ ba là không phải mọi nguồn glucose isomerase đều có cùng hành vi. Enzyme từ các vi sinh vật khác nhau có thể khác nhau về độ bền nhiệt, vùng pH phù hợp, ái lực cơ chất và khả năng chịu điều kiện quy trình; nghiên cứu đột biến định hướng trên glucose isomerase từ *Thermoanaerobacter ethanolicus* cho thấy cải tiến protein có thể làm thay đổi hiệu quả xúc tác và độ bền nhiệt [15].

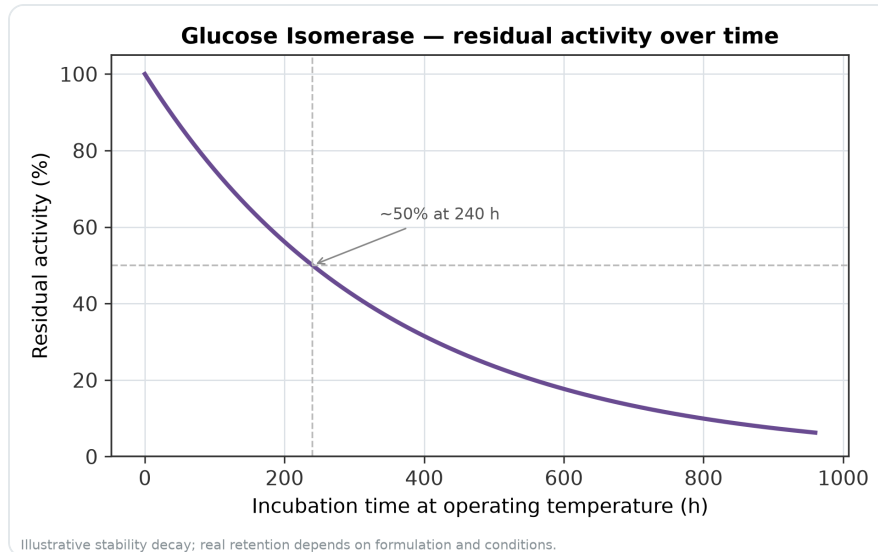
Giới hạn thứ tư là cố định enzyme không tự động đảm bảo hiệu suất cao hơn trong mọi trường hợp. Immobilization có thể cải thiện khả năng tái sử dụng và vận hành liên tục, nhưng cũng có thể tạo cản trở khuếch tán hoặc làm thay đổi cấu dạng enzyme nếu phương thức gắn không phù hợp [9].

Cuối cùng, các ứng dụng ngoài syrup fructose — như hệ một nồi, chuyển hóa lactose, hoặc chuỗi tạo HMF — cần được xem là các ngữ cảnh công nghệ riêng. Chúng không nên được suy rộng trực tiếp từ HFCS nếu chưa đánh giá cơ chất, dung môi, xúc tác đi kèm, vật liệu cố định và mục tiêu sản phẩm [13].

## Vai trò của Enzymes.bio trong cung ứng Glucose Isomerase

Enzymes.bio cung cấp glucose isomerase cho khách hàng B2B cần nguyên liệu enzyme cho các ứng dụng phù hợp trong chế biến, phát triển quy trình hoặc nghiên cứu ứng dụng. Enzymes.bio là nhà cung cấp trực tuyến, không phải nhà sản xuất enzyme và không tự mô tả là phòng thí nghiệm phát triển hay kiểm nghiệm enzyme.

Sản phẩm được bán trực tiếp online theo đơn vị 1 kg. Khi đặt hàng, khách hàng nhận kèm CoA và SDS để hỗ trợ việc tiếp nhận, lưu kho, đánh giá thông tin chất lượng và sử dụng sản phẩm trong môi trường quy trình phù hợp.



**Figure 8.** Minh họa sự suy giảm độ bền nhiệt của glucose isomerase — hoạt tính còn lại giảm dần theo thời gian ở nhiệt độ vận hành.

Cách đọc tài liệu kỹ thuật về glucose isomerase nên tập trung vào ba câu hỏi vận hành: cơ chất đầu vào có thực sự là glucose hoặc đường có thể isomer hóa không; hệ phản ứng là mẻ hay dòng liên tục; và enzyme được dùng ở dạng tự do hay cố định. Ba yếu tố này quyết định phần lớn cách enzyme thể hiện trong quy trình thực tế [10].

## Tóm tắt kỹ thuật

Glucose isomerase là enzyme isomerase xúc tác chuyển D-glucose thành D-fructose và D-xylose thành D-xylulose. Ứng dụng quan trọng nhất là sản xuất syrup fructose và HFCS từ glucose syrup có nguồn gốc tinh bột, trong đó enzyme làm thay đổi hồ sơ đường thay vì thủy phân tinh bột trực tiếp [2].

Dạng immobilized glucose isomerase đặc biệt phù hợp với vận hành liên tục vì enzyme được giữ trong reactor còn syrup đi qua vùng xúc tác. Các nghiên cứu về cố định trên vật liệu mang, enzyme tái tổ hợp cố định và hệ phối hợp enzyme cho thấy immobilization là nền tảng công nghệ quan trọng của ứng dụng công nghiệp [1].

Về cơ chế, enzyme xúc tác sự tái sắp xếp aldose–ketose trong vùng hoạt động có liên quan đến vị trí gắn kim loại và cấu dạng kênh cơ chất. Vì phản ứng thuận nghịch và nhạy với pH, nhiệt độ, thành phần syrup và thiết kế reactor, glucose isomerase nên được vận hành như một thành phần của quy trình được kiểm soát, không phải chất chuyển hóa đường dùng tùy tiện [7].

Ngoài HFCS, glucose isomerase còn có mặt trong các hướng phát triển như đồng thời đường hóa–isomer hóa dextrin, fructose syrup từ lactose, chuyển hóa xylose và chuỗi chemo-enzymatic tạo hóa chất sinh học. Các hướng này có tiềm năng nhưng cần được đánh giá theo từng hệ cơ chất và cấu hình quy trình cụ thể <sup>[11]</sup>.

## Đặt mua Glucose Isomerase trực tuyến

Bán theo đơn vị 1 kg, có sẵn trong kho và sẵn sàng giao hàng. Đặt mua trực tiếp trên cửa hàng của chúng tôi — thanh toán trực tuyến và chúng tôi sẽ xử lý đơn hàng. Mỗi đơn hàng đều kèm Chứng nhận Phân tích và Bảng Dữ liệu An toàn.

[Mua Glucose Isomerase →](#)

## Tài liệu tham khảo

Được đánh số theo thứ tự trích dẫn đầu tiên. Các nguồn truy cập mở, đều được xác minh có thể truy cập tại thời điểm xuất bản; số trích dẫn trong bài liên kết đến đây.

1. Jin, L., Xu, Q., Zhi-Liu, Jia, D., Liao, C., Chen, D., & Zheng, Y. (2017). Immobilization of Recombinant Glucose Isomerase for Efficient Production of High Fructose Corn Syrup. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183, 293-306.
2. Marshall, R. O., Kooi, E. R., & Moffett, G. M. (1957). Enzymatic conversion of D-glucose to D-fructose. *Science*, 125 3249, 648-9 .
3. Tsumura, N., Hagi, M., Tomotaro, & Sato (2008). Enzymatic Conversion of D-Glucose to D-Fructose Part I. Identification of Active Bacterial Strain and Confirmation of D-Fructose Formation.
4. Sumardiono, S., & Budiarti, G. (2018). Conversion of Cassava Starch to Produce Glucose and Fructose by Enzymatic Process Using Microwave Heating.
5. Borges, L. A., Ramos, K., Felisberto, M. H. F., & Efraim, P. (2025). Towards enzymatic conversion of non-conventional starchy materials for glucose syrup production: A review. *Food Research International*, 218, 116907 .
6. Sun, J., Li, H., Huang, H., Wang, B., Xiao, L., & Song, G. (2018). Integration of Enzymatic and Heterogeneous Catalysis for One-Pot Production of Fructose from Glucose. *ChemSusChem*, 11 7, 1157-1162 .
7. 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 .
8. 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*.
9. Hassan, M., Awad, G., MohyEldin, M. S., Haroun, B., El-diwany, A., & Elnashar, M. (2022). Carbohydrate microcapsules tailored and grafted for covalent immobilization of glucose isomerase for pharmaceutical and food industries. *Biotechnology Letters*, 45, 175-189.

10. Amaral-Fonseca, M., Morellon-Sterling, R., Fernández-Lafuente, R., & Tardioli, P. (2021). Optimization of simultaneous saccharification and isomerization of dextrin to high fructose syrup using a mixture of immobilized amyloglucosidase and glucose isomerase. *Catalysis Today*, 362, 175-183.
11. Araya, E., Urrutia, P., Romero, O., Illanes, A., & Wilson, L. (2019). Design of combined crosslinked enzyme aggregates (combi-CLEAs) of  $\beta$ -galactosidase and glucose isomerase for the one-pot production of fructose syrup from lactose. *Food Chemistry*, 288, 102-107 .
12. Namaki, H. I., Imam, A. U., Ibrahim, H., Muhammad, M., Gobir, Y. S., & Babuga, U. U. (2025). Endophytic and Rhizospheric Actinobacteria from *Guiera senegalensis* as Novel Sources of Glucose Isomerase under Submerged Fermentation. *UMYU Scientifica*.
13. Marullo, S., Sutura, A., Gallo, G., Billeci, F., Rizzo, C., & D'Anna, F. (2020). Chemo-enzymatic Conversion of Glucose in 5-Hydroxymethylfurfural: The Joint Effect of Ionic Liquids and Ultrasound. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8, 11204-11214.
14. Zunita, M., Yuan, D., & Laksono, A. S. (2022). Advance of glucose conversion to 5-hydroxymethylfurfural using ionic liquid: mini review. *IOP Conference Series: Earth and Environment*, 963.
15. 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 .

## Liên hệ Enzymes.bio


Có câu hỏi về đơn hàng? Đội ngũ của chúng tôi luôn sẵn sàng hỗ trợ.


EMAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

ĐIỆN THOẠI (HOA KỲ) **+1 (507) 428-6057**

[Liên hệ với chúng tôi →](#)

 **400+** khách hàng B2B

 **60+** đối tác nghiên cứu đại học

 **54** phục vụ trên toàn cầu

© 2026 Enzymes.bio · Cung ứng enzyme công nghiệp & chế biến thực phẩm · Không dùng cho người tiêu thụ hoặc bán lẻ.