

イヌリナーゼ (Inulinase) によるフラクトオリゴ糖 (FOS) 製造・イヌリン糖質プロファイル制御用酵素

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

イヌリナーゼは、イヌリンや関連フルクタンの β -フルクトシド結合を加水分解し、フルクトース、短鎖フルクタン、フラクトオリゴ糖 (FOS) を含む糖質プロファイルへ変換するための食品加工向け酵素です。FOS製造では、スクロースからの転移反応系と、イヌリン/フルクタンを短鎖化する加水分解系があり、イヌリナーゼは後者の工程設計で特に重要です^[1]。Enzymes.bioは製造業者ではなく酵素供給業者であり、本製品はオンラインで直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

イヌリナーゼがFOS製造で担う役割

イヌリナーゼは、イヌリンを構成するフルクトース鎖を切断し、原料フルクタンの鎖長分布を変える酵素です。イヌリンは主に β -(2→1)結合で連結したフルクトース単位からなるフルクタンで、植物由来の機能性糖質素材として食品、飲料、栄養製品に用いられますが、そのままでは鎖長、溶解性、粘度、甘味、発酵性が配合設計を制限することがあります。イヌリナーゼ処理は、この高分子寄りのフルクタンを、より短いフルクタン、イヌロオリゴ糖、フルクトース主体の糖組成へ変える工程として利用されます^[2]。

FOSという用語は実務上やや広く使われます。狭義にはスクロースにフルクトースが1~数個結合した1-ケストース、ニストース、フラクトフラノシルニストースなどの短鎖FOSを指すことが多く、これらは主に β -フルクトフラノシダーゼやフルクトシルトランスフェラーゼによる転移反応で生産されます。一方、イヌリンを酵素的に短鎖化して得られるフルクタン断片は、イヌロオリゴ糖または広義のフラクトオリゴ糖として食品素材設計に扱われることがあります^[3]。

したがって、イヌリナーゼをFOS製造に使う意義は、「スクロースからFOSを新たに組み立てる」ことではなく、「既存のイヌリン/フルクタンを所定の短鎖分布へ切り分ける」ことにあります。短鎖化が進むと、甘味の立ち上がり、固形分あたりの浸透圧、飲料中の扱いやすさ、発酵工程で利用される糖質の種類が変化します。食品加工では、この違いが最終製品の風味、テクスチャー、発酵速度、口当たり、栄養設計に直接関係します^[4]。

作用機序： β -フルクトシド結合の切断と糖組成の変化

イヌリナーゼの中心的な反応は、イヌリン中のフルクトース残基間に存在する β -フルクトシド結合の加水分解です。水分子が関与してグリコシド結合を切断し、長鎖フルクタンを短鎖化します。この反応により、フルクトース、グルコース末端を持つ短鎖フルクタン、フルクトースのみで構成される短鎖断片などが生成し、工程条件に応じて糖組成が変わります^[1]。

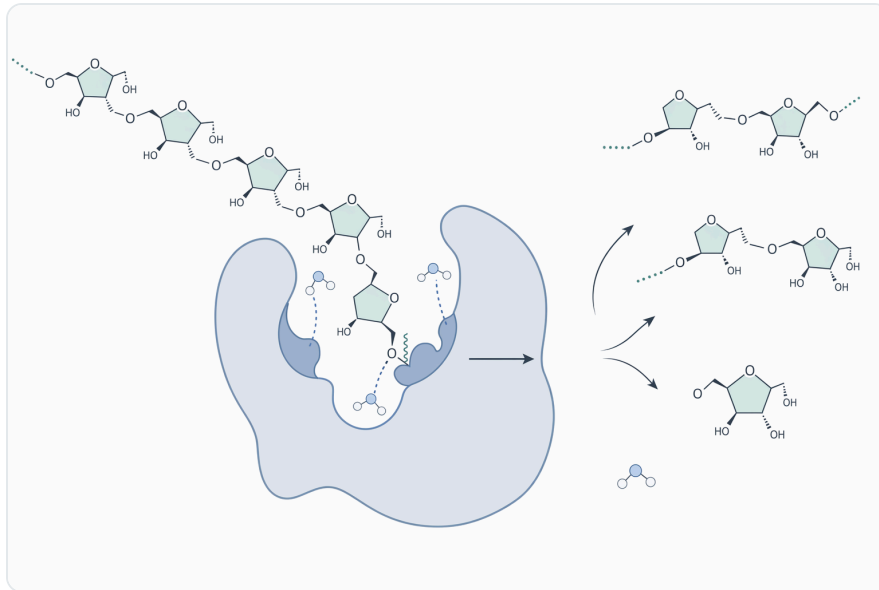


Figure 1. 이눌리나아제는 이눌린의 β -2,1 프룩토시드 결합을 절단하여 긴 프룩탄 사슬을 더 짧은 프락토올리고당으로 전환시킨다.

イヌリナーゼには、末端側からフルクトースを段階的に遊離するexo型と、鎖の内部結合を切断してオリゴ糖断片を生成しやすいendo型があります。FOSまたはイヌロオリゴ糖の製造では、内部切断により短鎖フルクタンを蓄積させるendo型の働きが重要になります。一方、exo型の働きが強い場合は、最終的にフルクトース比率が高いシロップ設計に近づきます^[5]。

この違いは、工程目的の違いとして理解すると明確です。短鎖オリゴ糖を残したい場合は、反応を過度に進めず、目的の鎖長分布に近い段階で止める必要があります。逆に、甘味が高く、フルクトース比率の高い糖液を目指す場合は、より徹底した加水分解が選択肢になります。イヌリナーゼ処理は「分解」ではありますが、実務的には糖質プロファイルを設計するための制御反応です^[2]。

FOS製造におけるイヌリナーゼ系と転移酵素系の違い

FOS製造では、スクロースを基質にしてフルクトースを転移する方法と、イヌリンを基質にして短鎖化する方法が並行して研究・利用されています。前者は短鎖FOS、特に1-ケストースなどの生成に適し、後者はイヌリン由来のオリゴ糖分布を作るのに適しています。微生物酵素によるFOS生産

研究では、基質、酵素タイプ、反応方式が生成物分布を大きく左右することが繰り返し報告されています^[4]。

観点	イヌリナーゼによるイヌリン短鎖化	フルクトシルトランスフェラーゼ/ β -フルクトフラノシダーゼによるスクロース転移
主な基質	イヌリン、植物フルクタン、アガベ由来フルクタンなど	スクロース、糖蜜、砂糖液、糖質シロップなど
主な反応	β -フルクトシド結合の加水分解	フルクトース残基の転移反応と一部加水分解
代表的な生成物	イヌロオリゴ糖、短鎖フルクタン、フルクトース	1-kestose、nystose、短鎖FOS、グルコース
工程上の狙い	鎖長分布、溶解性、発酵性の調整	短鎖FOSの高選択的合成
適した用途	イヌリン含有素材の改質、飲料・乳製品・栄養素材の糖質調整	プレバイオティック甘味素材、FOSシロップ、糖液設計

この比較で重要なのは、どちらが優れているかではなく、出発原料と目標糖組成が違うという点です。たとえば、スクロースから1-kestoseを効率よく増やしたい場合は転移酵素系の研究が多く、酵素の熱安定性や転移活性を高める工学的検討も進んでいます^[6]。一方、イヌリンを含む植物原料やフルクタン素材を加工したい場合、イヌリナーゼは原料構造を直接変換できる点で有利です。

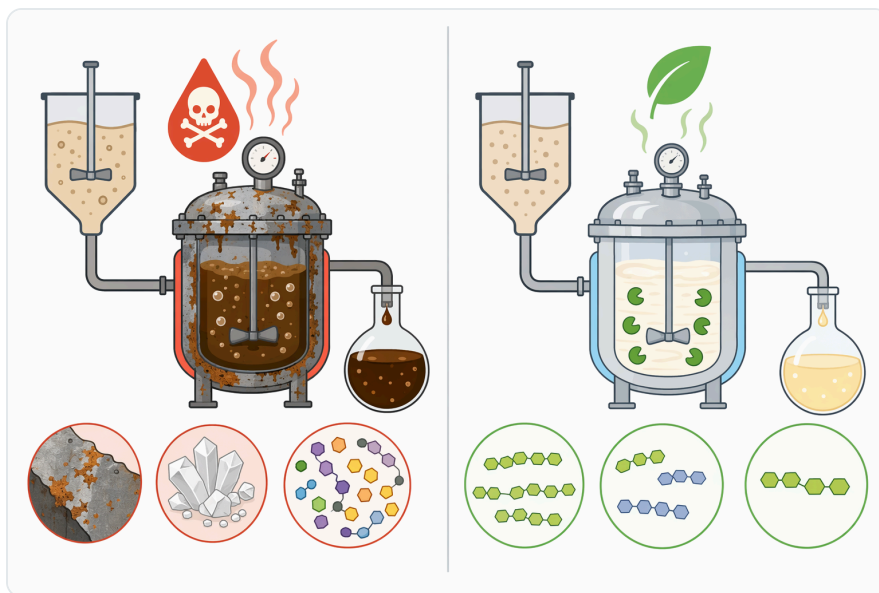


Figure 2. 엔도-이눌리나아제는 FOS 형성을 위해 사슬 내부 절단을 선호하는 반면, 엑소-이눌리나아제는 사슬 말단에서 과당을 점진적으로 방출한다.

アガベ由来フルクタンのように、植物フルクタンの構造が食品素材として注目される場合、endo-inulinaseを工程内で利用してオリゴ糖分布を設計する研究もあります。アガベフルクタンはスクロースとは異なるフルクタン構造を持つため、転移反応よりも、既存フルクタンの選択的短鎖化が実用的な設計軸になることがあります^[5]。

微生物酵素としての背景と産業的な妥当性

FOS生産に使われる酵素の多くは、糸状菌、酵母、細菌などの微生物に由来します。Aspergillus、Penicillium、Aureobasidium、Saccharomycesなどの微生物酵素は、 β -フルクトフラノシダーゼ、フルクトシルトランスフェラーゼ、イヌリナーゼといった活性を示し、FOSや関連オリゴ糖の生産研究で広く検討されてきました^[7]。

Aspergillus oryzae由来の酵素抽出物を用いて、アガベ樹液であるアグアミエルのFOSプロファイルを改善する研究では、食品由来原料と微生物酵素を組み合わせ、糖組成を目的に近づける考え方が示されています。これは特定の市販イヌリナーゼ製品の性能を示すものではありませんが、食品マトリクス中で酵素反応によりFOS分布を調整する発想が研究対象になっていることを示しています^[8]。

また、Saccharomyces paradoxusが産生するendo-inulinaseを利用し、アガベフルクタンからFOSを生産する発酵プロセス設計も報告されています。このような研究は、イヌリンまたはフルクタンを含む基質に対して、酵素を工程内で作用させることで短鎖オリゴ糖を得るという実務上の方向性を裏づけます^[5]。

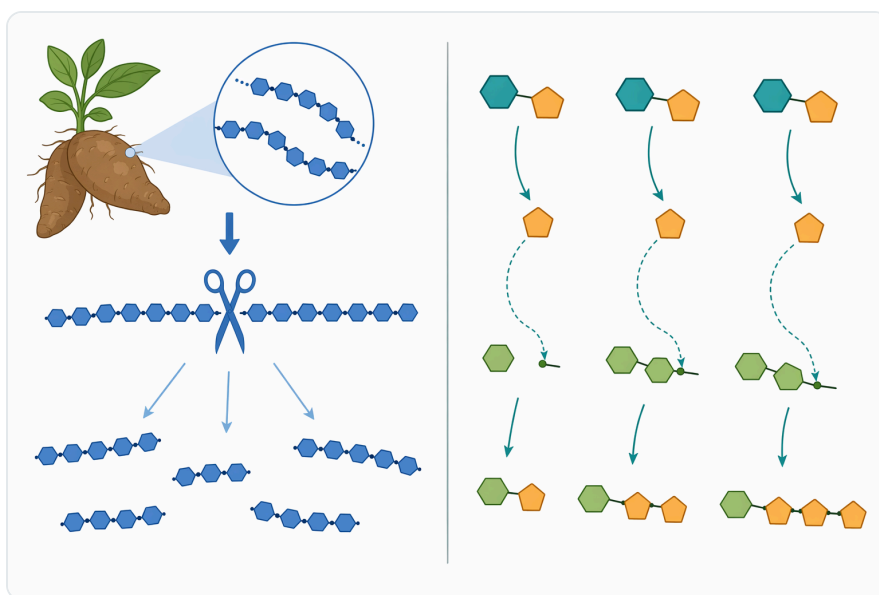


Figure 3. FOS는 기존 이눌린 고분자를 짧게 절단하거나, 자당 기반 시스템에서 프루토실전이효소가 매개하는 전이 반응을 통해 생산될 수 있다.

生成物プロファイルを左右する工程因子

イヌリナーゼ処理で得られる糖組成は、単一の固定値ではありません。基質となるイヌリンの由来、平均鎖長、分岐の有無、固形分濃度、反応温度、pH、反応時間、酵素添加量、加熱停止のタイミングにより、短鎖フルクタン、単糖、二糖、三糖以上のオリゴ糖の比率が変わります。これはFOS製造用酵素全般に共通する特徴であり、酵素反応条件が生成物分布を規定します^[2]。

短鎖FOSを重視する場合、過剰な加水分解により単糖が増えすぎないように、反応の進行度を管理する必要があります。逆に、フルクトース主体の甘味シロップを狙う場合は、オリゴ糖を中間体として通過させ、さらに加水分解を進める発想になります。つまり、同じイヌリナーゼでも、反応を止める位置によって「オリゴ糖素材」と「フルクトースリッチな糖液」の間で性格が変わります^[1]。

膜反応器を用いたFOS生産の研究では、安価で豊富な基質を使いながら、酵素反応と分離を組み合わせる考え方が示されています。膜反応器は、反応液中の生成物蓄積、基質供給、酵素保持を同時に設計できるため、オリゴ糖生産の連続化や効率化に関連する技術領域です^[9]。

食品・飲料用途での意味：甘味、溶解性、発酵性の調整

食品配合でイヌリンを使う場合、長鎖フルクタンとしての物性が有用な場面もあれば、短鎖化した方が配合しやすい場面もあります。長鎖イヌリンは食感やボディ感に寄与する一方、飲料では溶解性や沈殿、乳製品では発酵性や口当たり、栄養製品では甘味バランスが問題になることがあります。イヌリナーゼ処理は、こうした物性と糖組成の間を調整する方法です^[10]。

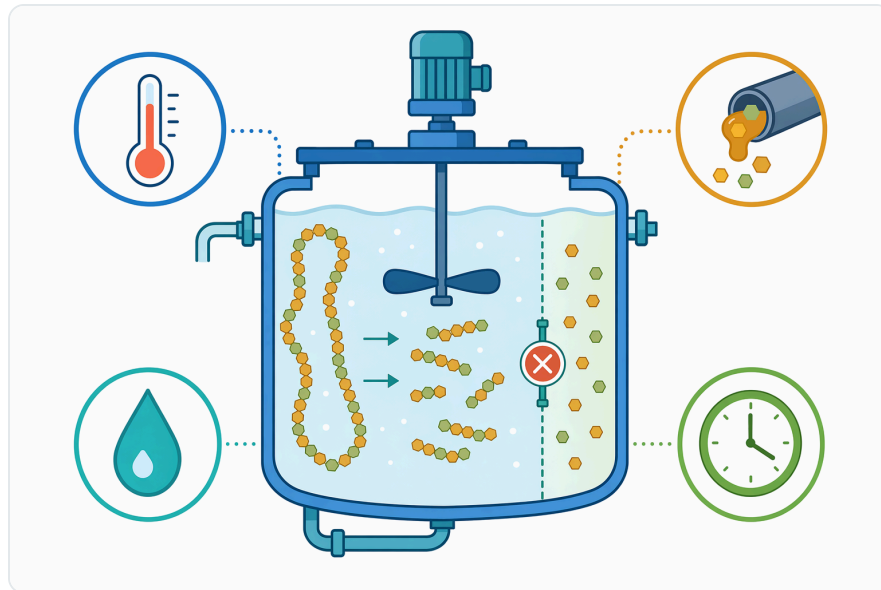


Figure 4. 온도, pH, 고형분 농도, 혼합, 반응 시간은 이눌리나아제 처리 과정에서 FOS가 축적될지, 더 작은 당으로 계속 분해될지를 좌우한다.

飲料では、短鎖化により固形分の扱いやすさが変わり、甘味の立ち上がりや口中での重さが変化します。機能性飲料や果汁系飲料では、糖質プロファイルが酸味、香味、粘度、濁り安定性に影響します。イヌリナーゼは、イヌリンをそのまま配合するのではなく、工程内で短鎖フルクタンへ変換してから最終配合に組み込む選択肢を与えます^[11]。

乳製品や発酵食品では、糖質の種類が発酵菌の代謝、酸生成、風味形成、粘度変化に関係します。FOSやイヌリン由来オリゴ糖は、腸内細菌叢や短鎖脂肪酸産生との関連で研究されており、糖質構造の違いが発酵挙動に影響する可能性があります。ただし、これは最終食品の健康効果を保証するものではなく、食品設計上の発酵性糖質として理解するのが適切です^[12]。

プレバイオティック素材としての文脈と注意点

FOSはプレバイオティック素材として広く知られており、短鎖FOSやイヌロオリゴ糖の腸内利用率、短鎖脂肪酸産生、腸内細菌叢への影響が研究されています。特に短鎖FOSとイヌロオリゴ糖の微生物生産および応用については、食品・栄養分野での最近の進展が整理されています^[1]。

一方で、酵素製品そのものと、酵素で製造された糖質素材と、最終食品の機能性表示は分けて考える必要があります。イヌリナーゼは加工工程で糖質を変換するための生物触媒であり、最終消費者が摂取する機能性成分そのものではありません。B2B用途では、健康効果の断定ではなく、目的とするFOSまたは短鎖フルクタン分布を得るための加工技術として位置づけることが重要です^[10]。

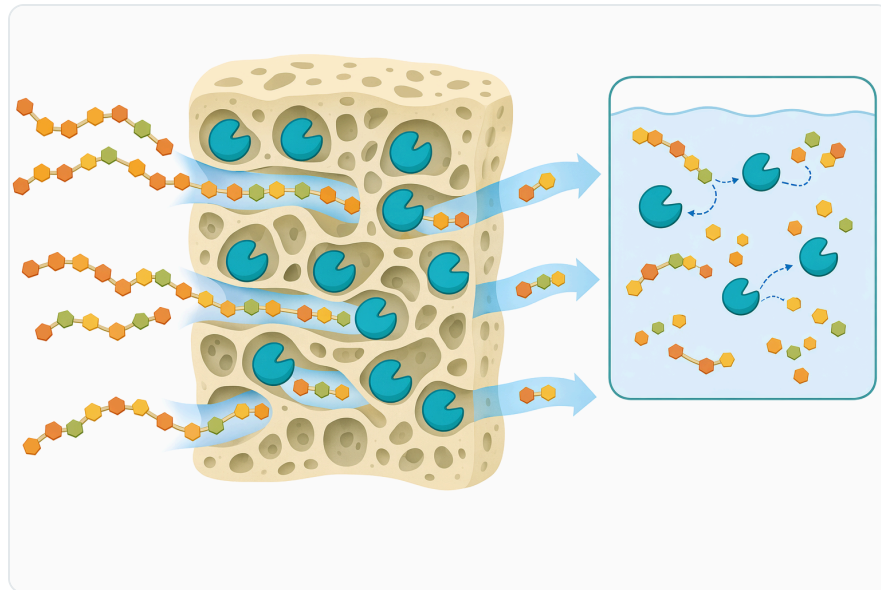


Figure 5. 고정화 이눌리나아제 시스템은 구조화된 소재 안에 촉매를 유지하면서 기질이 효소와 접촉하고 생성물이 반응기를 빠져나가도록 할 수 있다.

1-kestoseなどの最小FOSは、構造が明確で、プレバイオティック研究でも注目される成分です。ただし、イヌリナーゼによるイヌリン短鎖化で得られる生成物は、基質と酵素特性により多成分混合物になりやすく、単一のkestose高含有素材とは異なる場合があります。ここを混同しないことが、製品設計と表示設計の両方で重要です^[3]。

酵素反応の停止と工程内での位置づけ

イヌリナーゼ処理では、目的の糖組成に近づいた段階で反応を止めることが重要です。反応を放置すると、短鎖オリゴ糖として残したい画分がさらに分解され、単糖比率が上がる可能性があります。実務上は、加熱工程、pH調整、後段の濃縮・殺菌工程と組み合わせて、酵素活性を低下または停止させ、糖組成を固定する設計が行われます^[2]。

この点は、飲料、乳製品、シロップ、栄養素材で共通します。たとえば、飲料では加熱殺菌工程と酵素失活を組み合わせやすく、乳製品では発酵前処理または発酵後調整のどちらに酵素処理を置くかで糖質の働きが変わります。糖質プロファイルを狙う場合、酵素を「いつ入れるか」と「いつ止めるか」が、原料選択と同じくらい重要です^[13]。

近年の酵素反応器研究では、バッチ反応だけでなく、固定化酵素、膜反応器、連続反応器などもFOS合成の選択肢として検討されています。こうした研究は、酵素を単なる添加剤ではなく、糖質変換工程の中核として扱う方向性を示しています^[13]。



Figure 6. 이눌리나아제 처리로 생산된 FOS는 유제품, 제빵, 제과, 음료, 식물 추출물, 반려동물 사료 및 프리바이오틱 원료 시스템과 관련이 있다.

代表的な用途別の設計ポイント

用途分野	イヌリナーゼ処理の主な目的	得られる工程上の利点
機能性飲料	イヌリンの短鎖化、溶解性と甘味の調整	沈殿・粘度・甘味バランスの設計がしやすい
乳製品・発酵乳	発酵性糖質とオリゴ糖分布の調整	発酵挙動、酸生成、風味形成の設計に関与
シロップ・甘味素材	フルクトース比率または短鎖FOS比率の調整	甘味度、固形分、糖組成の制御
栄養素材	イヌリン由来オリゴ糖の生成	配合しやすい機能性糖質素材の設計
植物原料加工	アガベ、チコリ等のフルクタン改質	原料由来フルクタンの高付加価値化

FOS製造の研究では、農産物由来の未利用原料や副産物を基質として活用する流れもあります。たとえば、にんじん廃棄物からプレバイオティック飲料を目指す酵素的FOS合成の研究は、食品副産物を糖質素材へ変換する考え方を示しています^[11]。イヌリナーゼ処理も、イヌリンまたはフルクタンを含む植物原料の価値を引き出す工程として位置づけられます。

サトウキビシロップから酵素的に合成されたFOSがヒト腸内細菌叢および短鎖脂肪酸産生に影響することを検討した研究もあり、糖質の由来と酵素反応設計が食品機能性研究と接続していることがわかります^[12]。ただし、こうした研究は特定の市販酵素製品や個別最終製品の効能を直接示すもの

ではありません。

二酵素系や複合反応との関係

FOSや関連オリゴ糖の製造では、単一酵素だけでなく、複数酵素を組み合わせる方法も研究されています。たとえば、levansucraseとendo-inulinaseを組み合わせた二酵素系では、スクロースからFOSやオリゴレバンを生産する反応が検討されています^[14]。このような系では、一方の酵素がフルクタン様構造を形成し、もう一方の酵素が鎖長を調整するという役割分担が考えられます。

この発想は、工業的には「生成」と「切断」を分けて設計することに相当します。転移酵素でフルクトース鎖を伸ばし、イヌリナーゼまたは関連酵素で適度な長さに整えることで、単一反応では得にくい分布を狙える可能性があります。もちろん、実際の採用には基質コスト、反応時間、熱処理、下流工程、最終用途との整合が関係します^[14]。

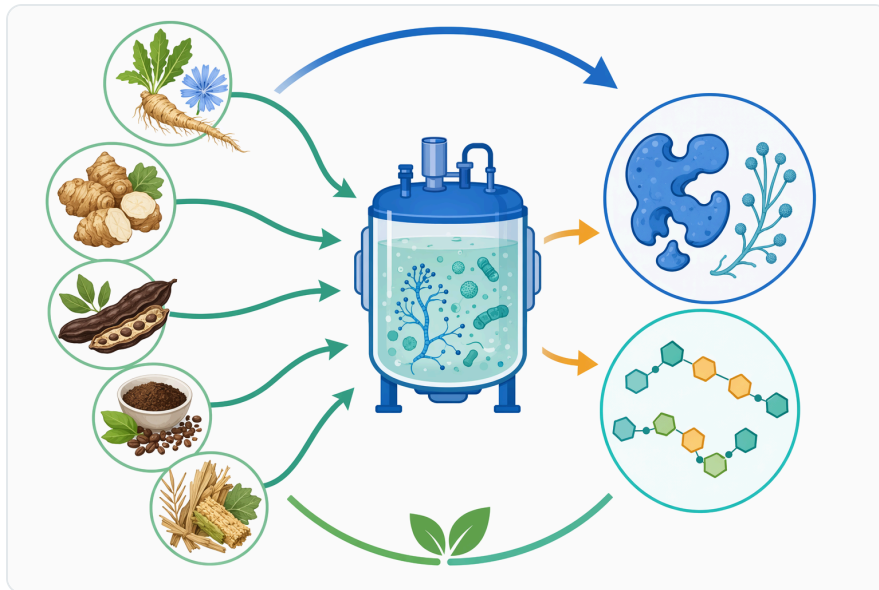


Figure 7. 이눌리나아제 연구는 재생 가능한 식물성 탄수화물 자원, 미생물 효소 생산, 고부가가치 올리고당 원료를 연결한다.

近年は、レバン由来の β -(2→6)フルクトオリゴ糖など、従来の β -(2→1)型FOSとは異なる結合様式を持つ「第二世代」フルクトオリゴ糖の探索も進んでいます。これは、フルクタン関連酵素が単なる甘味料製造だけでなく、構造の異なる機能的オリゴ糖を設計する技術領域へ広がっていることを示しています^[15]。

Enzymes.bioでの製品位置づけ

Enzymes.bioが提供するイヌリナーゼ製品は、食品加工・産業用途でイヌリンまたはフルクタンを短鎖化し、FOS、イヌロオリゴ糖、フルクトースを含む糖質プロファイルへ変換する目的に適した酵素として位置づけられます。Enzymes.bioは製造業者や研究機関ではなく、オンライン販売を行う酵素供給業者です。

本製品は、オンラインで直接購入できる形で掲載されており、Enzymes.bioの機能性オリゴ糖・甘味料製造向け酵素カテゴリにも関連します。供給形態は1kg単位のオンライン販売を前提としており、注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。これは、受領後に企業内の品質記録、安全衛生管理、保管管理へ組み込むための基本文書として扱えます。

実務上の価値は、イヌリンを単に添加するのではなく、工程内で糖質プロファイルを変換できる点にあります。飲料、乳製品、シロップ、栄養素材、植物フルクタン加工において、甘味、溶解性、発酵性、鎖長分布を調整したい場合、イヌリナーゼは工程設計上の有効な選択肢になります^[2]。

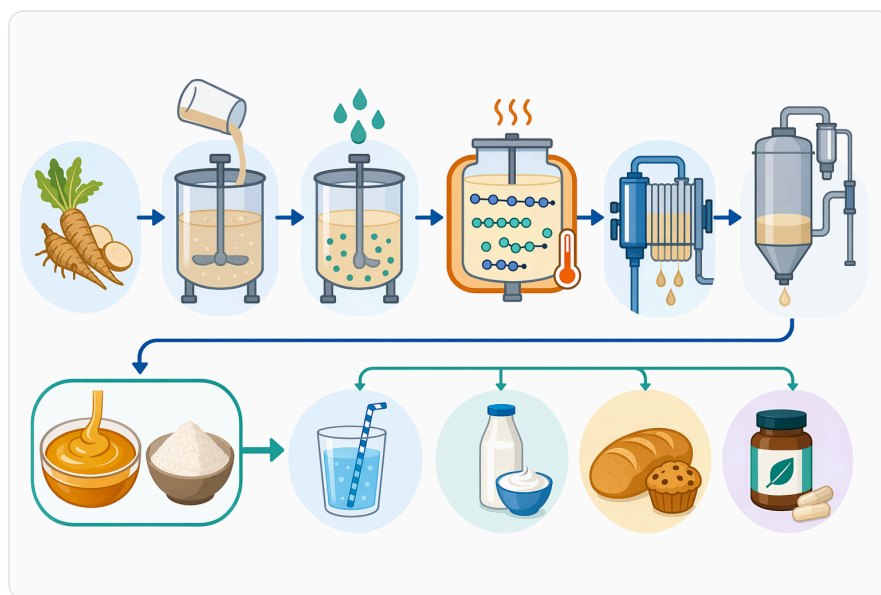


Figure 8. 실용적인 이눌리나아제 공정은 수성 이눌린 원료를 준비하고, 효소를 분산시키며, 반응 중점을 제어한 뒤, 후속 식품 가공 단계를 적용한다.

適切な理解：酵素は「機能性素材」ではなく「糖質変換の手段」

イヌリナーゼを評価する際は、酵素そのものの栄養機能ではなく、酵素反応によって得られる糖質組成を見る必要があります。FOSやイヌロオリゴ糖はプレバイオティック素材として研究されていますが、酵素製品はその生成を支援する加工助剤であり、最終食品の健康効果を自動的に保証するものではありません^[1]。

FOS製造の研究は、微生物酵素、食品副産物、膜反応器、二酵素系、熱安定化酵素など多方面に広がっています。その中でイヌリナーゼは、特にイヌリンや植物フルクタンを出発点とする糖質プロファイル制御に強みを持ちます。短鎖FOSを高選択的に合成する転移酵素系とは役割が異なり、原料フルクタンを目的の鎖長へ整える工程酵素として理解するのが最も正確です^[4]。

食品、飲料、乳製品、栄養素材の開発で、イヌリン由来の甘味、溶解性、発酵性、オリゴ糖分布を調整したい場合、イヌリナーゼは「配合原料を変える」のではなく「配合前または工程中に糖質構造を変える」ための選択肢になります。Enzymes.bioの本製品は、そのようなB2B食品加工用途に向けてオンラインで入手できるイヌリナーゼ供給品として位置づけられます。

Food Grade Inulinase For Fructooligosaccharide Production 100G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、当社でご注文を処理します。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。

[Food Grade Inulinase For Fructooligosaccharide Production 100G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. Mutanda, T., Mokoena, M. P., Olaniran, A., Wilhelmi, B., & Whiteley, C. G. (2014). Microbial enzymatic production and applications of short-chain fructooligosaccharides and inulooligosaccharides: recent advances and current perspectives. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 41, 893-906.
2. Picazo, B., Flores-gallegos, A. C., Muñoz-Márquez, D., Flores-Maltos, A., Michel-Michel, M., Rosa, O., Rodríguez-Jasso, R. M., ... et al. (2019). Enzymes for Fructooligosaccharides Production: Achievements and Opportunities. *Enzymes in Food Biotechnology*.
3. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Xiao-Pang, Lv, J., & Mu, W. (2020). Insight into the effects and biotechnological production of kestoses, the smallest fructooligosaccharides. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41, 34 - 46.
4. Ganaie, M. A., Lateef, A., & Gupta, U. (2014). Enzymatic Trends of Fructooligosaccharides Production by Microorganisms. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172, 2143-2159.
5. Sandoval-González, R. S., Jiménez-Islas, H., & Navarrete-Bolaños, J. L. (2018). Design of a fermentation process for agave fructooligosaccharides production using endo-inulinases produced in situ by

Saccharomyces paradoxus. *Carbohydrate Polymers*, 198, 94-100 .

6. Dan-Niu, Zhao, N., Wang, J., Mchunu, N. P., Permaul, K., Singh, S., & Wang, Z. (2024). Boosting Fructosyl Transferase's Thermostability and Catalytic Performance for Highly Efficient Fructooligosaccharides (FOS) Production. *Foods*, 13.
7. Nascimento, A. C., Nobre, C., Cavalcanti, M. T. H., Teixeira, J., & Porto, A. (2016). Screening of fungi from the genus Penicillium for production of β - fructofuranosidase and enzymatic synthesis of fructooligosaccharides. *Journal of Molecular Catalysis B-enzymatic*, 134, 70-78.
8. Picazo, B., Flores-gallegos, A. C., Iliina, A., Rodríguez-Jasso, R. M., & Aguilar, C. N. (2019). Production of an Enzymatic Extract From Aspergillus oryzae DIA-MF to Improve the Fructooligosaccharides Profile of Aguamiel. *Frontiers in Nutrition*, 6.
9. Rehman, A., Kovács, Z., Quitmann, H., Ebrahimi, M., & Czermak, P. (2016). Enzymatic production of fructooligosaccharides from inexpensive and abundant substrates using a membrane reactor system. *Separation Science and Technology*, 51, 1537 - 1545.
10. Trujillo, L., Marcillo, V., Ávalos, R., Ponce, L., & Ramos, T. (2015). From the laboratory to the industry: enzymatic production and applications of shortchain fructooligosaccharides (fos). *Recent advances and current perspectives*. *Bionatura*, 1, 41-43.
11. Guerra, L., Ureta, M., Romanini, D., Voitovich, N., Gómez - Zavaglia, A., & Clementz, A. (2023). Enzymatic synthesis of fructooligosaccharides: From carrot discards to prebiotic juice. *Food Research International*, 170, 112991 .
12. Hajar-Azhari, S., Rahim, M. H. A., Sarbini, S. R., Muhialdin, B., Olusegun, L., & Saari, N. (2021). Enzymatically synthesised fructooligosaccharides from sugarcane syrup modulate the composition and short-chain fatty acid production of the human intestinal microbiota. *Food Research International*, 149, 110677 .
13. Vacharanukrauh, T., Tang, S. Y., Pichyangkura, R., & Soottitantawat, A. (2025). Emerging Trends in Enzymatic Reactors for Fructooligosaccharides Synthesis. *Food reviews international (Print)*, 41, 2702 - 2725.
14. Tian, F., Khodadadi, M., & Karboune, S. (2014). Optimization of levansucrase/endo-inulinase bi-enzymatic system for the production of fructooligosaccharides and oligolevans from sucrose. *Journal of Molecular Catalysis B-enzymatic*, 109, 85-93.
15. Chen, L., Hill, A., Petit, J., Mariage, A., Berardinis, V., & Karboune, S. (2023). Discovery and Enzymatic Screening of Genome-Mined Microbial Levanses to Produce Second-Generation β -(2,6)-Fructooligosaccharides: Catalytic Properties. *ACS Chemical Biology*.


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。