

Glucosio ossidasi food grade per produzione di gluconati: acido gluconico, sodio gluconato, calcio gluconato e processi alimentari B2B

Team di ricerca Enzymes.bio · Wellington, Nuova Zelanda · June 20, 2026

La glucosio ossidasi food grade è un enzima di processo usato per ossidare il glucosio a D-glucono- δ -lattone, che si idrolizza ad acido gluconico e può essere convertito in sali di gluconato tramite neutralizzazione. Per la produzione di gluconati, il valore tecnico dell'enzima sta nella selettività verso il glucosio, nella possibilità di lavorare in condizioni compatibili con matrici alimentari e nella gestione integrata di ossigeno, pH e perossido di idrogeno ^[1].

Che cos'è la glucosio ossidasi food grade per produzione di gluconati

La **glucosio ossidasi**, spesso abbreviata come **GOx** o **GOD**, è un'ossidoreduttasi flavinica che catalizza l'ossidazione del β -D-glucosio usando ossigeno molecolare come accettore di elettroni. Il prodotto immediato della reazione è il D-glucono- δ -lattone, mentre l'ossigeno viene ridotto a perossido di idrogeno; il lattone si idrolizza poi ad acido gluconico, che rappresenta il precursore diretto dei gluconati ^[1].

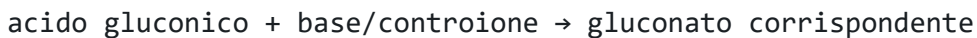
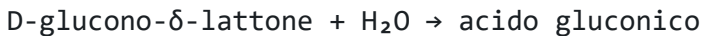
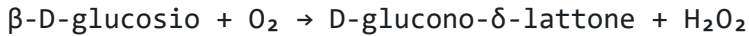
Nel contesto "**Food Grade Glucose Oxidase For Gluconate Production**", l'enzima è destinato a processi in cui il glucosio è il substrato principale e l'obiettivo industriale è ottenere **acido gluconico**, **sodio gluconato**, **calcio gluconato** o altri sali di gluconato compatibili con la chimica del mezzo. Enzymes.bio rende disponibile online una categoria dedicata alla glucosio ossidasi; il prodotto è acquistabile direttamente in unità da 1 kg, con CoA e SDS forniti insieme all'ordine .

È importante interpretare correttamente il ruolo dell'enzima: la GOx non "produce" automaticamente qualsiasi sale di gluconato in modo isolato. Essa genera il percorso ossidativo dal glucosio all'acido gluconico; la forma finale del gluconato dipende dal controione disponibile, dalla neutralizzazione e dall'equilibrio del sistema di reazione, come mostrano anche studi su processi che impiegano sali o basi per indirizzare il prodotto verso gluconati specifici ^[2].

Meccanismo biochimico: dal glucosio all'acido gluconico

La reazione catalizzata dalla glucosio ossidasi può essere riassunta in due eventi accoppiati. Nella prima semireazione, il glucosio riduce il cofattore flavinico dell'enzima e viene ossidato a gluconolattone; nella seconda, il cofattore ridotto trasferisce elettroni all'ossigeno molecolare, generando perossido di idrogeno ^[1].

In forma semplificata:



Questa sequenza spiega perché ossigeno, pH e gestione del perossido siano variabili centrali nella produzione di gluconati. Se l'ossigeno disciolto diventa limitante, la velocità di ossidazione può diminuire; se il perossido di idrogeno si accumula, può interferire con componenti sensibili della matrice o con la stabilità del sistema enzimatico ^[3].

Il ruolo del cofattore FAD è essenziale: la glucosio ossidasi è una flavoproteina e il trasferimento elettronico attraverso il centro flavinico permette alla reazione di procedere con alta specificità verso il glucosio. Le descrizioni strutturali della GOx evidenziano l'organizzazione del sito attivo e la relazione fra legame del substrato, cofattore e accesso dell'ossigeno ^[4].

Perché la GOx è rilevante per acido gluconico e gluconati

L'acido gluconico è un acido organico derivato dall'ossidazione del glucosio e rappresenta un intermedio di valore in applicazioni alimentari, chimiche e biotecnologiche. La letteratura descrive sia processi microbici sia approcci enzimatici per la sua produzione, inclusi sistemi basati su *Aspergillus niger*, *Gluconobacter oxydans* e configurazioni multi-enzimatiche ^[5].

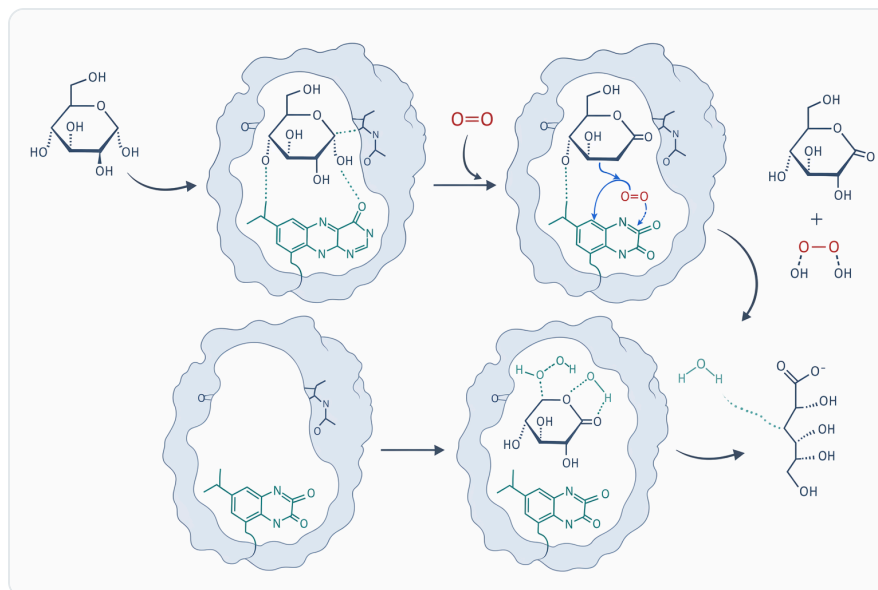


Figure 1. 글루코스 산화효소는 산소를 이용해 포도당을 선택적으로 산화시켜 D-글루코노락톤과 과산화수소를 형성하고, 이어 가수분해를 통해 글루콘산이 생성되며 중화되어 글루콘산염이 된다.

Per un utilizzatore B2B, la distinzione pratica è fra **via enzimatica diretta** e **via fermentativa o cellulare**. La glucosio ossidasi consente una trasformazione biochimica mirata del glucosio; i processi con cellule intere, invece, integrano più attività metaboliche e possono essere adatti quando il substrato è un idrolizzato complesso o quando si vuole co-produrre altri composti ^[6].

La produzione di gluconati metallici dipende dalla disponibilità del catione desiderato. In presenza di calcio, per esempio, l'acido gluconico può essere convertito in calcio gluconato; in sistemi orientati al sodio gluconato, la neutralizzazione e il controllo del pH indirizzano la forma salina verso il sodio ^[2].

Tabella comparativa: opzioni di processo per ottenere acido gluconico e gluconati

Approccio	Principio di funzionamento	Punti di forza	Variabili critiche	Quando è più coerente
Glucosio ossidasi libera	Ossidazione enzimatica del glucosio a gluconolattone, poi acido gluconico	Elevata selettività verso glucosio; schema di reazione semplice	Ossigeno disciolto, pH, perossido di idrogeno, stabilità enzimatica	Processi con substrato glucosidico definito e richiesta di controllo diretto ^[1]

Approccio	Principio di funzionamento	Punti di forza	Variabili critiche	Quando è più coerente
Glucosio ossidasi + catalasi	La GOx genera H ₂ O ₂ ; la catalasi lo decompone in acqua e ossigeno	Riduce l'accumulo di perossido; può migliorare la continuità della reazione	Bilanciamento fra ossidazione, decomposizione del perossido e aerazione	Produzione di gluconato in cui H ₂ O ₂ è indesiderato [3]
Enzimi immobilizzati	GOx o sistemi enzimatici trattenuti su supporto	Possibile riuso del biocatalizzatore; maggiore stabilità operativa in alcuni assetti	Trasferimento di massa, diffusione di ossigeno, disattivazione nel tempo	Processi continui o semi-continui con progettazione reattoristica [7]
Cellule intere o fermentazione	Microrganismi ossidano glucosio o idrolizzati a prodotti gluconici	Adatto a feedstock complessi; integrazione metabolica	Controllo del metabolismo, pH, nutrienti, sottoprodotti	Valorizzazione di idrolizzati lignocellulosici o co-produzioni [8]
Sistemi chemo-enzimatici o cascade	Combinazione di catalisi chimica ed enzimatica	Può integrare conversioni multiple in un unico schema	Compatibilità fra catalizzatori, condizioni e prodotti intermedi	Produzione integrata di acido gluconico con altri prodotti di valore [9]

Gestione dell'ossigeno: il reagente spesso sottovalutato

Nella produzione enzimatica di acido gluconico, l'ossigeno non è un semplice componente ambientale: è il reagente che accetta gli elettroni sottratti al glucosio. La disponibilità di ossigeno disciolto può quindi diventare un limite cinetico, soprattutto in matrici viscosi, soluzioni concentrate o sistemi con trasferimento di massa non ottimizzato [1].

La relazione fra aerazione, miscelazione e velocità di conversione è particolarmente importante quando si punta a una produzione stabile di gluconato. Anche se la reazione complessiva appare semplice, il sistema deve mantenere un equilibrio fra consumo di ossigeno da parte della GOx e reintegro di ossigeno dalla fase gas o dalla decomposizione del perossido quando è presente catalasi [7].

Nei sistemi a doppio enzima, la catalasi può contribuire indirettamente anche alla disponibilità di ossigeno, perché converte il perossido di idrogeno in acqua e ossigeno. Questo non elimina la necessità di progettare correttamente il trasferimento di ossigeno, ma riduce l'accumulo di un sottoprodotto

reattivo e può rendere più sostenibile la conversione nel tempo ^[3].

Perossido di idrogeno: sottoprodotto utile o variabile da controllare

Ogni molecola di glucosio ossidata dalla glucosio ossidasi genera una molecola di perossido di idrogeno. In alcune applicazioni alimentari la formazione controllata di H_2O_2 è sfruttata per effetti tecnologici, come la modifica ossidativa di componenti proteiche; nella produzione di gluconati, però, l'accumulo non controllato può diventare un fattore di stress per il sistema ^[10].

La letteratura su sistemi multi-enzimatici e dual-enzyme mostra che la GOx è spesso accoppiata ad altri enzimi proprio per trasformare il perossido in specie meno problematiche o per usarlo in reazioni successive. Un esempio concettuale è l'accoppiamento GOx-perossidasi, in cui la produzione sostenuta di H_2O_2 alimenta una seconda reazione ossidativa ^[3].

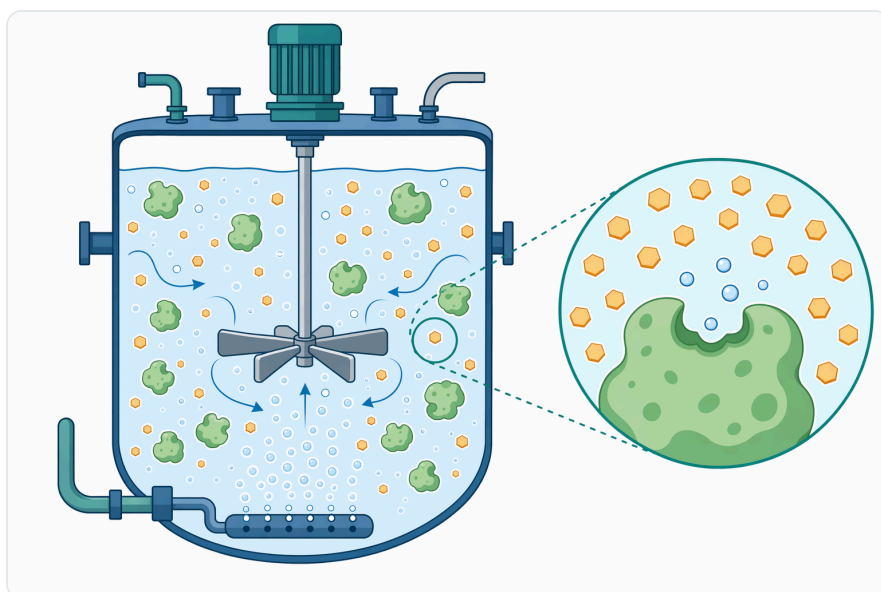


Figure 2. 포도당이 크게 과량으로 존재하더라도 산소 전달이 제한 요인이 될 수 있다.

Per la produzione di acido gluconico o gluconati, la scelta di includere catalasi non va interpretata come requisito universale, ma come strategia tecnica ben documentata quando l'obiettivo è limitare l'esposizione prolungata a H_2O_2 . La decisione dipende dalla matrice, dalla concentrazione di glucosio, dalla durata della reazione e dalla sensibilità del sistema ^[11].

pH, acidificazione e neutralizzazione verso gluconati

La formazione di acido gluconico tende a modificare il pH del mezzo. Poiché l'attività enzimatica e la stabilità della GOx sono sensibili all'ambiente, il controllo dell'acidificazione è una variabile di processo, non un dettaglio secondario ^[12].

Quando l'obiettivo è un sale di gluconato, la neutralizzazione assume un doppio ruolo: limita l'eccessiva diminuzione del pH e determina il controione del prodotto finale. Per ottenere calcio gluconato, il sistema deve rendere disponibile calcio in forma compatibile; per sodio gluconato, la neutralizzazione deve orientare l'acido gluconico verso il sale sodico ^[2].

La letteratura su *Gluconobacter oxydans* mostra anche che condizioni di pH basso possono influenzare l'accumulo di acido gluconico da idrolizzati enzimatici. Ciò conferma che il pH non è soltanto un parametro di attività enzimatica, ma un fattore che può spostare rese, accumuli e distribuzione dei prodotti in bioprocessi basati su zuccheri ^[8].

Substrati: glucosio puro, idrolizzati e materie prime zuccherine

La glucosio ossidasi agisce sul glucosio; quindi la qualità e la disponibilità del substrato determinano la razionalità del processo. Con glucosio definito, la reazione è più direttamente interpretabile; con idrolizzati complessi, invece, entrano in gioco zuccheri diversi, inibitori, sali, composti fenolici o residui di pretrattamento ^[13].

Diversi studi recenti collegano la produzione di acido gluconico e derivati alla valorizzazione di biomasse o idrolizzati lignocellulosici. L'interesse nasce dal fatto che materiali come bagassa di canna da zucchero, tutolo di mais o altri residui possono fornire zuccheri fermentescibili e intermedi utili per bioraffinerie integrate ^{[2][14]}.

Tuttavia, un enzima come la GOx non sostituisce le fasi di preparazione del substrato. Se il glucosio non è libero o è presente in una matrice che limita l'accesso enzimatico, la conversione richiede una strategia a monte, per esempio idrolisi enzimatica o saccarificazione, come mostrano gli approcci multi-enzimatici alla produzione di acido gluconico da amido ^[5].

Applicazioni principali dei gluconati ottenuti da glucosio

L'acido gluconico e i suoi sali sono rilevanti perché combinano acidità moderata, capacità complessante e compatibilità con numerosi processi industriali. La letteratura menziona applicazioni in alimentare, farmaceutico, chimico, tessile, trattamento dei metalli, materiali da costruzione e bioraffineria ^[13].



Figure 3. 전세포 발효, 화학적 산화, 생물전기화학적 산화, 분리된 글루코스 산화효소는 각각 선택성, 제어성, 부산물, 장비 요구사항에서 서로 다른 균형을 제공한다.

Il **sodio gluconato** è uno dei sali più importanti, spesso studiato per processi biocatalitici e fermentativi. La sua utilità industriale è collegata alla capacità di complessare ioni metallici e alla possibilità di funzionare come additivo tecnico in formulazioni dove è richiesta interazione controllata con cationi [8].

Il **calcio gluconato** deriva dalla combinazione fra acido gluconico e calcio disponibile nel sistema. Studi su processi con carbonato di calcio mostrano il principio tecnico: mentre la GOx genera l'acido gluconico, il mezzo indirizza la formazione del sale di calcio attraverso neutralizzazione e disponibilità del catione [2].

Uso in processi alimentari: oltre la produzione di gluconati

La glucosio ossidasi è nota anche in applicazioni alimentari non orientate direttamente ai gluconati. In panificazione, per esempio, la GOx può migliorare le proprietà dell'impasto tramite meccanismi ossidativi che coinvolgono proteine e componenti strutturali; studi su glucosio ossidasi da diverse fonti hanno analizzato stabilità e applicazioni nel pane [15].

Il meccanismo tecnologico in panificazione non coincide con la produzione industriale di acido gluconico, ma condivide la stessa chimica di base: consumo di glucosio e ossigeno, generazione di H_2O_2 e reazioni ossidative secondarie. Per questo la GOx è considerata un enzima versatile nelle applicazioni alimentari, pur richiedendo sempre un adattamento alla matrice specifica [10].

Nelle bevande e in altre matrici sensibili all'ossigeno, il consumo di O_2 può essere sfruttato come funzione tecnologica. Anche in questo caso, la produzione di acido gluconico è parte della reazione, ma il beneficio applicativo può essere collegato alla riduzione dell'ossigeno disciolto o alla modifica controllata dell'ambiente redox [16].

Processi integrati e bioraffineria: perché il gluconico è un intermedio strategico

L'interesse per la produzione di acido gluconico non riguarda solo i processi alimentari. In bioraffineria, l'acido gluconico può funzionare come prodotto, co-prodotto o catalizzatore acido in strategie che valorizzano biomasse ricche di polisaccaridi [2].

Uno studio sulla bagassa di canna da zucchero ha descritto l'uso dell'acido gluconico derivato da cellulosa come catalizzatore efficiente per la produzione di xilo-oligosaccaridi. Questo collegamento è importante perché mostra una logica circolare: una frazione zuccherina può essere convertita in acido gluconico, che a sua volta supporta la valorizzazione di un'altra frazione della biomassa [2].

Un processo integrato analogo è stato proposto per il tutolo di mais, con co-produzione di xilo-oligosaccaridi e glucosio a partire da pretrattamento con acido gluconico. In questi schemi, la produzione di gluconico non è solo una conversione isolata, ma una leva per aumentare il valore complessivo della materia prima [14].

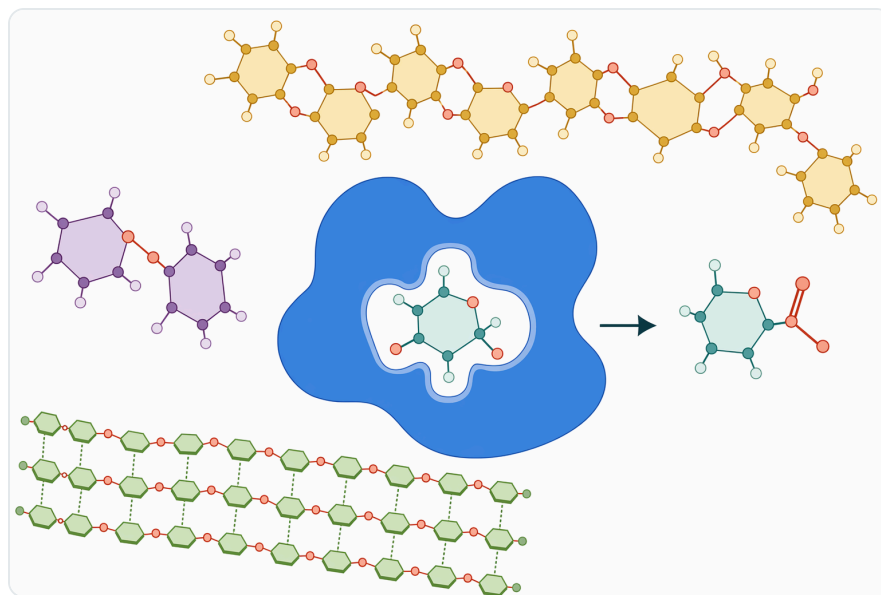


Figure 4. 글루코스 산화효소는 포도당에 직접 작용하며, 비포도당 탄수화물은 먼저 포도당으로 가수분해되지 않는 한 전환하지 않는다.

Confronto fra produzione enzimatica e processi con microrganismi

La via con glucosio ossidasi isolata è adatta quando si desidera una reazione più focalizzata: glucosio come substrato, ossigeno come accettore, acido gluconico come prodotto primario. Il vantaggio è la chiarezza del meccanismo; il limite è la necessità di garantire ossigeno, stabilità enzimatica e controllo dei sottoprodotti ^[1].

I processi con *Gluconobacter oxydans* possono invece ossidare glucosio e idrolizzati complessi tramite metabolismo cellulare, con possibilità di ottenere acido gluconico o ulteriori prodotti ossidati come acidi cheto-gluconici. Studi recenti hanno analizzato l'effetto di condizioni acide e di mediatori come acido acetico sulla bio-ossidazione direzionale da idrolizzati enzimatici ^{[13][8]}.

Gli approcci con cellule intere di *Aspergillus niger* o sistemi multi-enzimatici possono integrare conversione dell'amido e formazione di gluconico. Ciò è utile quando il substrato non è glucosio libero, ma una fonte polisaccaridica che richiede idrolisi prima dell'ossidazione ^[5].

Immobilizzazione e progettazione reattoristica

L'immobilizzazione della glucosio ossidasi è studiata per migliorare riuso, separazione del biocatalizzatore e stabilità in processi prolungati. Modelli di produzione enzimatica con sistemi a ricircolo CSTR-PFTR hanno valutato la dinamica di conversione e il ruolo della configurazione del reattore nella produzione di acido gluconico ^[7].

Il punto tecnico è che l'immobilizzazione non è automaticamente superiore in ogni situazione. Il supporto può proteggere l'enzima, ma può anche introdurre resistenze al trasferimento di massa, specialmente per glucosio e ossigeno; inoltre la diffusione del perossido fuori dalla microzona enzimatica può influenzare la stabilità locale ^[11].

Per processi B2B di trasformazione, la scelta fra enzima libero e immobilizzato dipende dalla durata del ciclo, dalla facilità di separazione richiesta e dal valore economico del riuso. La letteratura sulle modifiche della GOx e sulle strategie di ottimizzazione conferma che stabilità, attività apparente e microambiente sono aspetti centrali nello sviluppo applicativo ^[17].

Sistemi one-pot e cascade per acido gluconico

La produzione di acido gluconico può essere inserita in sistemi "one-pot" o a cascata, dove più reazioni avvengono nella stessa sequenza operativa. I catalizzatori ibridi per produzione one-pot mirano a combinare funzioni diverse, riducendo passaggi separati e aumentando l'efficienza complessiva del

processo ^[9].

Un esempio di logica chemo-enzimatica è la co-produzione di HMF e acido gluconico da saccarosio. In tale schema, una parte della materia prima viene indirizzata verso prodotti furanici, mentre la componente glucosidica può essere valorizzata tramite ossidazione enzimatica a gluconico ^[18].

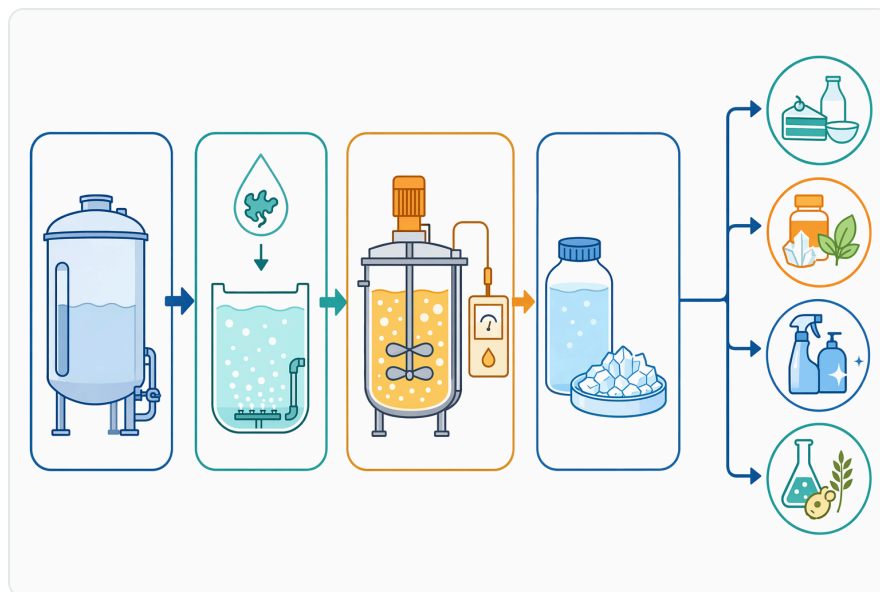


Figure 5. 효과적인 효소적 글루콘산염 생산에는 포도당 공급, 폭기와 혼합, pH 중화, 온도, 카탈라아제 보조 과산화물 제거, 하류 정제를 조화롭게 제어하는 것이 필요하다.

Questi approcci non sostituiscono la produzione standard di gluconati, ma mostrano come la GOx possa essere integrata in piattaforme più ampie di chimica verde. La compatibilità fra catalizzatori, solventi, pH e temperatura resta la condizione decisiva per rendere realistica la cascata ^[9].

Aspetti di qualità e aspettative realistiche per l'utente B2B

Per un utilizzatore industriale, la glucosio ossidasi food grade deve essere considerata un **catalizzatore di processo**, non un prodotto finale. La sua prestazione dipende da substrato, ossigenazione, pH, durata della reazione, presenza di ioni, accumulo di H₂O₂ e strategia di neutralizzazione verso il sale desiderato ^[1].

Le evidenze scientifiche sono solide sul meccanismo glucosio → gluconolattone → acido gluconico e sull'importanza della GOx in applicazioni alimentari e biotecnologiche. Sono invece specifiche del processo le rese, le velocità e la purezza del gluconato finale, perché cambiano con la matrice e con il disegno operativo ^[17].

Enzymes.bio mette a disposizione il prodotto per acquisto online in unità da 1 kg; CoA e SDS accompagnano l'ordine. Enzymes.bio non va presentata come produttore o laboratorio di sviluppo: il ruolo corretto è quello di fornitore online B2B dell'enzima per applicazioni industriali e di trasformazione, con documentazione fornita insieme alla consegna .

Benefici tecnici della glucosio ossidasi per gluconati

Il primo beneficio è la **selettività della conversione del glucosio**. In una matrice in cui il glucosio è disponibile, la GOx permette di indirizzare il carbonio glucidico verso acido gluconico con un meccanismo noto e riproducibile dal punto di vista biochimico ^[1].

Il secondo beneficio è la **compatibilità con processi a matrice acquosa**, tipici di molte applicazioni alimentari e biotecnologiche. La produzione di gluconico non richiede necessariamente ossidanti chimici aggressivi, perché l'ossigeno molecolare svolge il ruolo di accettore elettronico nella reazione enzimatica ^[16].

Il terzo beneficio è la **flessibilità verso diversi sali di gluconato**. L'enzima produce il precursore acido; il sale finale può essere orientato con il controione appropriato, purché il sistema mantenga condizioni compatibili con la reazione e con la destinazione d'uso del prodotto ^[2].



Figure 6. 바이오센서, 식품의 포도당 저감 시스템, 생물전기화학 연구, 글루콘 산염 합성 연구는 모두 동일한 선택적 포도당 산화 화학에 기반한다.

Il quarto beneficio è l'integrazione con altri biocatalizzatori. L'accoppiamento con catalasi, perossidasi o sistemi multi-enzimatici può trasformare un sottoprodotto come H_2O_2 in una variabile gestita o in un reagente per una seconda funzione tecnologica ^[3].

Limiti tecnici da considerare

La glucosio ossidasi non elimina la necessità di progettare il processo. Un'elevata disponibilità di glucosio non garantisce conversione completa se l'ossigeno è insufficiente, se il pH si sposta fuori dall'intervallo compatibile o se il perossido di idrogeno si accumula in modo sfavorevole ^[7].

Anche la fonte del substrato è determinante. Idrolizzati ottenuti da biomasse possono contenere composti che influenzano attività enzimatica, trasferimento di ossigeno o successiva separazione del prodotto; gli studi su bioraffineria mostrano il potenziale di questi feedstock, ma anche la necessità di integrarli in schemi di processo coerenti ^[13].

Infine, il termine “food grade” va letto in modo tecnico e applicativo, non come autorizzazione automatica per qualsiasi uso finale. L'idoneità di un processo alimentare dipende dalla formulazione complessiva, dalla normativa applicabile, dalla documentazione disponibile e dalla responsabilità dell'utilizzatore industriale ^[16].

Sintesi operativa per la pagina prodotto

Food Grade Glucose Oxidase For Gluconate Production è indicata per processi in cui il glucosio deve essere convertito in acido gluconico e successivamente in gluconati come sodio gluconato o calcio gluconato. La reazione richiede glucosio e ossigeno, genera perossido di idrogeno e produce gluconolattone, che si trasforma in acido gluconico ^[1].

Il risultato industriale dipende dalla gestione di ossigeno, pH, neutralizzazione e sottoprodotti. Per questo la GOx è più correttamente descritta come un enzima di processo ad alta specificità, utile in applicazioni alimentari e industriali dove la conversione del glucosio in gluconico o gluconati è parte della strategia produttiva ^[17].

Enzymes.bio fornisce il prodotto online in unità da 1 kg per clienti B2B; CoA e SDS sono forniti insieme all'ordine. Questa impostazione è coerente con un utilizzo industriale diretto dell'enzima, senza presentare Enzymes.bio come produttore, laboratorio analitico o servizio di sviluppo processo .

Ordina Food Grade Glucose Oxidase For Gluconate Production online

Venduto in unità da 1 kg, disponibile a magazzino e pronto per la spedizione. Ordina direttamente dal nostro store: paga online e noi elaboriamo il tuo ordine. Un Certificato di Analisi e una Scheda Dati di Sicurezza sono inclusi in ogni ordine.

[Acquista Food Grade Glucose Oxidase For Gluconate Production →](#)

Riferimenti

Numerati in ordine di prima citazione. Fonti open access, ciascuna verificata come raggiungibile al momento della pubblicazione; i numeri di citazione nel testo rimandano qui.

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. Zhou, X., Zhao, J., Zhang, X., & Xu, Y. (2019). An eco-friendly biorefinery strategy for xylooligosaccharides production from sugarcane bagasse using cellulosic derived gluconic acid as efficient catalyst.. *Bioresource Technology*, 121755 .
3. Liu, X., Zhang, Q., Li, M., Qin, S., Zhao, Z., Lin, B., Ding, Y., ... et al. (2023). Horseradish peroxidase (HRP) and glucose oxidase (GOX) based dual-enzyme system: Sustainable release of H₂O₂ and its effect on the desirable ping pong bibi degradation mechanism.. *Environmental Research*, 115979 .
4. 77. Rcsb.
5. Pucci, E., Buffo, M. M., Sousa, M. D. B., Tardioli, P., & Badino, A. (2023). An innovative multi-enzymatic system for gluconic acid production from starch using *Aspergillus niger* whole-cells.. *Enzyme and Microbial Technology*, 171, 110309 .
6. Cheng, L., Huang, R., Ying, J., Fu, Y., Zhou, X., & Jiang, K. (2023). Sequential Bioprocess with *Gluconobacter oxydans* and *Candida tropicalis* for Gluconic Acid and Single-Cell Protein Production from Enzymatic Hydrolysate. *Fermentation*.
7. Li, C., Jian-Lin, Gao, L., Lin, H., & Lin, J. (2018). Modeling and simulation of enzymatic gluconic acid production using immobilized enzyme and CSTR–PFTR circulation reaction system. *Biotechnology Letters*, 40, 649 - 657.
8. Dai, L., Lian, Z., Fu, Y., Zhou, X., Xu, Y., Zhou, X., Kuznetsov, B., ... et al. (2023). Low pH Stress Enhances Gluconic Acid Accumulation with Enzymatic Hydrolysate as Feedstock Using *Gluconobacter oxydans*. *Fermentation*.
9. Yang, Z., Wang, Z., Dong, X., & Sun, Y. (2023). Hybrid Catalysts for One-pot Cascade Production of Gluconic Acid. *ChemCatChem*, 15.
10. Decamps, K., Joye, I., Rakotozafy, L., Nicolas, J., Courtin, C., & Delcour, J. (2013). The bread dough stability improving effect of pyranose oxidase from *trametes multicolor* and glucose oxidase from *Aspergillus niger*: unraveling the molecular mechanism.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 32, 7848-54 .
11. Sharma, T., Xia, C., Sharma, A., Raizada, P., Singh, P., Sharma, S., Sharma, P., ... et al. (2022). Mechano-chemical and biological energetics of immobilized enzymes onto functionalized polymers and their applications. *Bioengineered*, 13,

10518 - 10539.

12. Huang, J., Zhuang, W., Ge, L., Wang, K., Wang, Z., Niu, H., Wu, J., ... et al. (2019). Improving biocatalytic microenvironment with biocompatible ϵ -poly-L-lysine for one step gluconic acid production in low pH enzymatic systems. *Process Biochemistry*.
13. Dai, L., Jiang, W., Jia, R., Zhou, X., & Xu, Y. (2022). Directional enhancement of 2-keto-gluconic acid production from enzymatic hydrolysate by acetic acid-mediated bio-oxidation with *Gluconobacter oxydans*. *Bioresource Technology*, 126811 .
14. Han, J., Cao, R., Zhou, X., & Xu, Y. (2020). An integrated biorefinery process for adding values to corncob in co-production of xylooligosaccharides and glucose starting from pretreatment with gluconic acid. *Bioresource Technology*, 307, 123200 .
15. Ge, J., Jiang, X., Liu, W., Wang, Y., Huo-Huang, Bai, Y., Su, X., ... et al. (2019). Characterization, stability improvement, and bread baking applications of a novel cold-adapted glucose oxidase from *Cladosporium neopsychrotolerans* SL16. *Food Chemistry*, 310, 125970 .
16. Kumar, A., Dhiman, S., Krishan, B., Samtiya, M., Kumari, A., Pathak, N., Kumari, A., ... et al. (2024). Microbial enzymes and major applications in the food industry: a concise review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6.
17. Li, Z., Chen, Y., Chen, X., Guo, Z., Guan, G., Feng, Y., & Chen, H. (2025). Modification and applications of glucose oxidase: optimization strategies and high-throughput screening technologies. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 41.
18. Wu, H., Huang, T., Cao, F., Zou, Q., Wei, P., & Ouyang, P. (2017). Co-production of HMF and gluconic acid from sucrose by chemo-enzymatic method. *Chemical Engineering Journal*, 327, 228-234.

Contatta Enzymes.bio

Hai domande su un ordine? Il nostro team è lieto di aiutarti.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

TELEFONO (USA) **+1 (507) 428-6057**

Contattaci →



400+ Clienti B2B



60+ partner di ricerca universitari



54 serviti in tutto il mondo

© 2026 Enzymes.bio · Fornitura di enzimi industriali e per la lavorazione alimentare · Non destinato al consumo umano né alla vendita al dettaglio.