

Alpha-Acetolactate Decarboxylase for Brewing Industry | ビール醸造のジアセチル前駆体制御に用いるALDC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

Alpha-Acetolactate Decarboxylase (α -アセト乳酸デカルボキシラーゼ、ALDC) は、ビール発酵中に生じる α -アセト乳酸を、ジアセチルへ酸化される前にアセトインと二酸化炭素へ変換する醸造用酵素です。目的は「できたジアセチルを後から消す」ことではなく、ジアセチルの前駆体を別経路へ流し、バター様オフフレーバーと熟成負荷を低減することにあります^[1]。Enzymes.bioは本酵素を1 kg単位でオンライン販売する供給業者であり、CoAとSDSは注文時に併せて提供されます。

ALDCが醸造で使われる理由：ジアセチル問題を前駆体段階で止める

ビールのジアセチルは、ラガーやクリーンなエールで特に管理対象となるビシナルジケトン (VDK) の代表です。官能的にはバター様、バタースコッチ様、場合によっては油脂的・ランシッドな印象として知覚され、設計上は微量でも望ましくないスタイルが多くあります。ジアセチルは単に香味の問題ではなく、発酵後半から熟成・コンディショニング工程の終了判定に関わるため、タンク占有時間、冷却エネルギー、出荷計画にも影響します^[2]。

通常の発酵では、酵母がバリン生合成の副経路として α -アセト乳酸を生成し、その一部を細胞外へ放出します。この α -アセト乳酸はビール中で非酵素的に酸化的脱炭酸を受け、ジアセチルへ変化します。その後、酵母がジアセチルを取り込み、より香味影響の小さいアセトイン、さらに2,3-ブタンジオールへ還元することで濃度が下がりますが、この後段の還元には酵母活性、温度、時間が必要です^[3]。

ALDCはこの流れを上流で変えます。酵素反応により α -アセト乳酸を直接アセトインへ脱炭酸するため、ジアセチルを経由しない経路が強化されます。したがって、ALDCの技術的な価値は、ジアセチルの「除去」ではなく、ジアセチルが生じる前駆体プールの低減にあります。醸造用途に関する総説でも、ALDCは発酵工程でのジアセチル形成を抑える酵素として位置づけられています^[1]。

反応機構： α -アセト乳酸からアセトインと CO_2 へ

ALDCの中心反応は、 α -アセト乳酸の脱炭酸です。簡略化すると、次のように表せます。



この反応の重要点は、 α -アセト乳酸がジアセチルへ非酵素的に変化する前に、酵素的にアセトインへ誘導することです。ジアセチルはVDKとして強い香味影響を持ちますが、アセトインはジアセチルよりも穏やかな香味特性を示すため、発酵後半の負荷が軽くなります。業界資料でも、ALDCは α -アセト乳酸をアセトインと二酸化炭素へ変換し、ジアセチル形成を抑える酵素として説明されています^[4]。

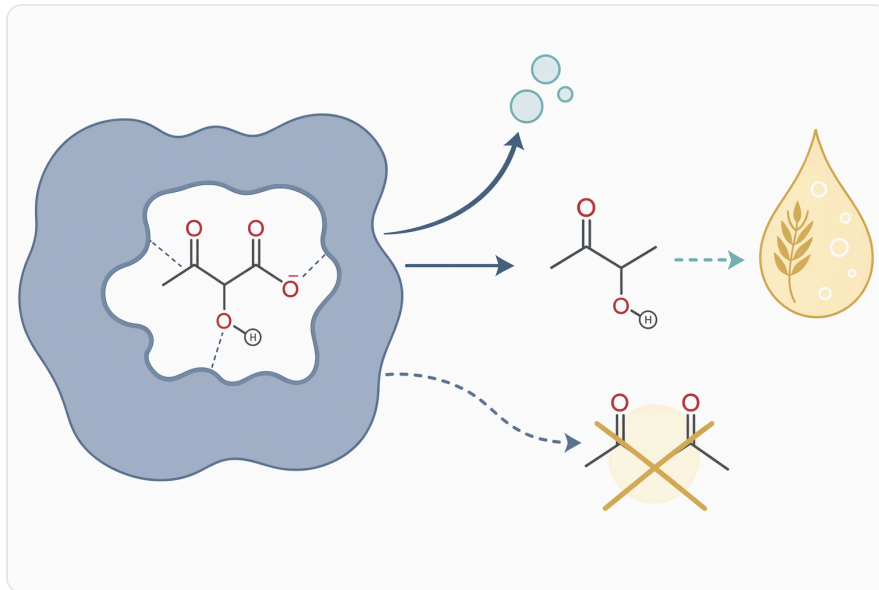


Figure 1. ALDC는 알파-아세토락테이트를 아세토인으로 직접 전환하여, 그렇지 않으면 풍미에 영향을 주는 디아세틸로 형성될 전구체의 흐름을 줄입니다.

この反応は、酵母の代謝そのものを停止させるものではありません。酵母は引き続き糖を発酵し、アミノ酸代謝を行い、ビールのエステル、アルコール、硫黄化合物、酸類などのプロファイルを形成します。ALDCはその中で、細胞外へ出た α -アセト乳酸という特定の前駆体に作用します。つまり、発酵香味全体を大きく書き換える酵素ではなく、VDK形成経路の分岐点に作用する工程支援酵素です^[1]。

ジアセチル生成経路とALDCの介入点

ジアセチル管理を理解するには、酵母側の生成、ビール中での酸化、酵母による還元という3段階を分けて考える必要があります。ALDCが直接関与するのは、最初の生成物である α -アセト乳酸がジアセチルへ変わる前の段階です。すでに形成されたジアセチルそのものをALDCが主基質として分解

するわけではありません^[5]。

工程内の段階	主な化合物	起こること	ALDCの関与
酵母のバリン生合成周辺	α -アセト乳酸	酵母が生成し、一部を細胞外へ放出	放出後の α -アセト乳酸が基質になる
ビール中の非酵素反応	ジアセチル	α -アセト乳酸が酸化的に変化	この経路へ入る前に前駆体を減らす
酵母による後処理	アセトイン、2,3-ブタンジオール	ジアセチルが酵母により還元される	後処理への依存を下げる
ALDC反応経路	アセトイン、CO ₂	α -アセト乳酸を直接脱炭酸	主要な作用点

このため、ALDCを使用するタイミングは、発酵開始時または発酵初期という考え方と相性がよくなります。 α -アセト乳酸が蓄積してから、またはジアセチルへ変化してからは、ALDCの本来の前駆体制御効果を十分に活かしにくくなります。市販醸造用ALDCの説明でも、発酵初期に加えることで α -アセト乳酸をアセトインへ流し、ジアセチル生成を抑える設計が示されています^[4]。

熟成短縮とタンク回転率への意味

ジアセチル低減は、単なる香味修正ではなく、熟成期間の設計に直接関係します。通常、ジアセチルが一定水準まで下がるには、酵母が十分に活性を保ち、ジアセチルを取り込んで還元する時間が必要です。ラガーのように低温で発酵・熟成する製品では、この工程が長くなりやすく、タンク回転率の制約になります。ALDCは、そもそもジアセチルへ変わる前駆体を減らすことで、熟成末期に残るVDK負荷を下げる方向に働きます^[6]。

業界資料では、ALDCの使用目的として、ジアセチルレストや長期コンディショニングへの依存低減、冷却に関わるエネルギー負荷の軽減、タンクのターンアラウンド改善が挙げられています。ただし、これは工程条件が適切に管理されている場合の実務的利点であり、酵母不調、汚染、過度な発酵ストレス、原料由来の変動を無視できるという意味ではありません^[5]。

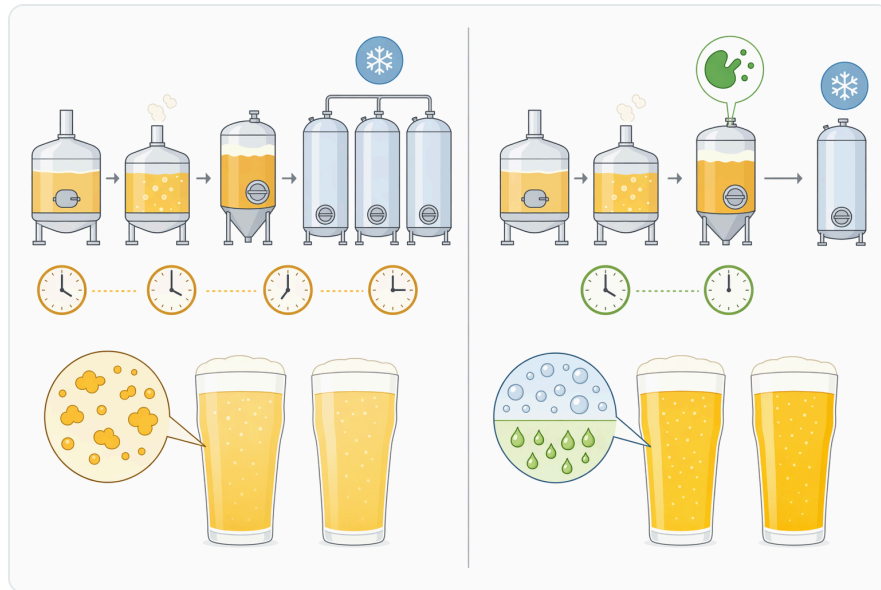


Figure 2. 기존의 디아세틸 관리는 디아세틸이 생성된 뒤 효모가 이를 환원하는 데 의존하는 반면, ALDC를 이용한 관리는 더 이른 단계에서 알파-아세토 락테이트에 작용합니다.

Enzymes.bioが供給するAlpha-Acetolactate Decarboxylase for Brewing Industryは、このような前駆体制御を目的とする醸造用酵素として位置づけられます。製造設備や研究機関としての主張ではなく、醸造現場で既に確立しているALDCの作用原理に基づき、1 kg単位でオンライン購入できる供給形態を提供するものです。注文時にはCoAとSDSが併せて提供されます。

ラガー、クリーンエール、ホップ由来再発酵リスクでの考え方

ALDCが最もわかりやすく活きるのは、ジアセチルが明確な欠点となるラガーやクリーンなエールです。これらのスタイルでは、発酵由来の華やかなエステルやフェノールよりも、麦芽、ホップ、発酵の清澄感を重視するため、わずかなバター様ニュアンスでも品質評価に影響しやすくなります。ALDCは香味を積極的に付与する酵素ではなく、不要なVDK形成を抑えることで、設計した香味の輪郭を保ちやすくします^[2]。

また、ドライホッピングを多用するビールでは、ホップ由来酵素による残存デキストリン分解、いわゆるホップクリープが問題になる場合があります。追加的な発酵が起これば、酵母代謝の再活性化やVDK再上昇のリスクが生じます。ALDCはこのような条件でも前駆体制御の考え方に基づいて使われますが、ドライホップ条件、pH、酵母状態、残糖、温度管理によって結果は変動します。ALDCだけでホップクリープ全体を制御するものではありません^[4]。

副原料を使うビールでも、ALDCは発酵工程の安定化に関わる可能性があります。たとえばソルガム、そば麦芽、未焙燥グリーンモルトなど、通常の大麦芽と異なる原料を使う場合、麦汁組成、酵母栄養、発酵挙動が変化します。これらの研究はALDCそのものを主題にしたものではありません。

んが、原料設計が発酵品質と香味に影響することを示しており、VDK管理を単独の酵素だけで考えない理由になります^[7]。

固定化ALDC研究が示す、反応の安定性と応用可能性

ALDCの醸造応用は、液状または粉末状の酵素を発酵工程へ用いる考え方だけでなく、固定化酵素としての研究も進められています。Costaらは、キトサンに固定化した α -アセト乳酸デカルボキシラーゼを、ビール中のオフフレーバー防止に向けた安定な生体触媒として評価しました。固定化の目的は、酵素の再利用性、安定性、工程適合性を高めることであり、ALDC反応がビール香味管理に直接結びつくことを示す応用研究です^[6]。

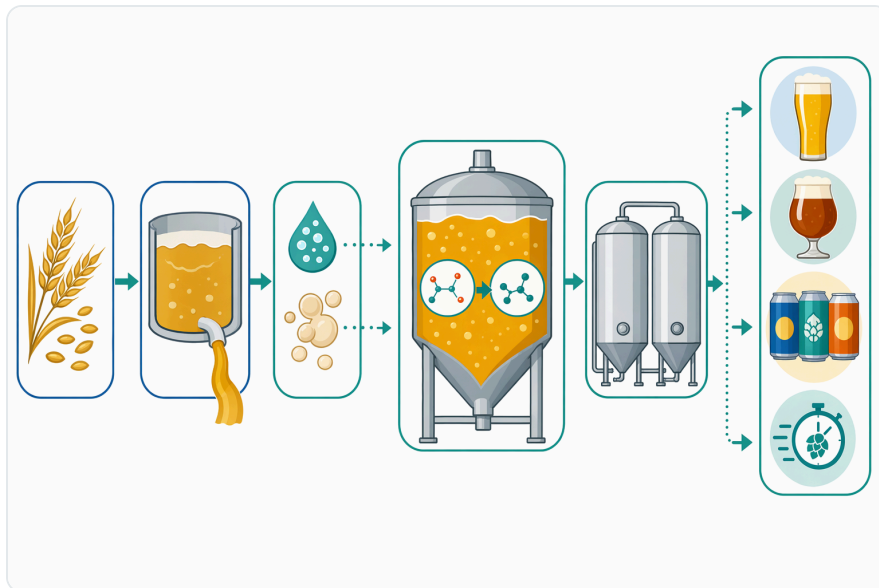


Figure 3. ALDC는 냉각된 맥즙 이송, 효모 접종 또는 발효 초기 단계에 투입하는 것이 가장 적합하며, 알파-아세토락테이트가 생성되는 동안 작용할 수 있습니다.

別の固定化アプローチとして、酵素 - 無機ナノフラワーやアルギン酸マイクロビーズを用いるシステムも報告されています。こうした研究は、商業的な発酵タンク運用へそのまま置き換えられるとは限りませんが、ALDCを含む酵素反応を安定化し、食品・発酵プロセスへ応用するための材料科学的な検討として有用です^[8]。

Enzymes.bioがオンラインで供給する製品は、固定化酵素研究をそのまま再現するための研究試薬として説明するものではありません。重要なのは、これらの研究がALDCの本質的な反応、すなわち α -アセト乳酸をジアセチル経路から外す作用を裏づけている点です。実際の醸造では、製品形態、工程条件、酵母管理、ビールスタイルに合わせて、発酵初期からの前駆体制御として理解するのが実務的です^[1]。

他の醸造用酵素との違い

醸造では、ALDC以外にも多くの酵素が使われます。でんぷん分解、ろ過性改善、コロイド安定性、グルテン低減、香味前駆体制御など、目的は酵素ごとに異なります。ALDCを正しく使うには、「糖化を進める酵素」や「タンパク質を分解する酵素」と混同しないことが重要です。

酵素・酵素群	主な対象	醸造上の目的	ALDCとの違い
ALDC	α -アセト乳酸	ジアセチル前駆体をアセトインへ変換	VDK形成経路の上流制御
アミラーゼ系	でんぷん、デキストリン	糖化、発酵性糖の生成、原料利用率改善	香味前駆体ではなく糖組成に作用
β -グルカナーゼ等	β -グルカン、細胞壁多糖	ろ過性、粘度、麦汁処理性の改善	物性・工程処理性が主目的
プロリン特異的エンドプロテアーゼ等	特定タンパク質、グルテン関連ペプチド	コロイド安定性やグルテン低減	タンパク質分解が主機能
タンナーゼ等	ポリフェノール関連成分	濁り、渋味、安定性の調整	VDK経路には直接作用しない

近年のビール研究では、プロリン特異的エンドプロテアーゼがコロイド安定性やグルテン低減に関わる例、また工程段階ごとの酵素適用がビール品質へ与える影響が検討されています。これらは醸造用酵素の用途が広いことを示しますが、ALDCの用途はあくまでジアセチル前駆体である α -アセト乳酸の制御です^[9]。

グルテンフリー醸造や低グルテン化では、原料選択、酵素処理、分析上の評価、官能品質が複合的に関わります。一方、ALDCはグルテン低減や濁り除去の酵素ではありません。ALDCを導入してもタンパク質安定性やグルテン含有量が自動的に改善するわけではなく、VDK管理という独立した工程課題に向けた酵素と整理すべきです^[10]。

ALDCと酵母品質管理の関係

ALDCは酵母管理を不要にするものではありません。ジアセチルの発生には、酵母株、ピッチング状態、栄養、発酵温度、酸素供給、発酵終了時の酵母活性に関わります。酵母が不健康であれば、ジアセチルの後段還元が遅れるだけでなく、硫黄化合物、アセトアルデヒド、高級アルコールなど他の香味問題も起こり得ます。ALDCが作用するのは α -アセト乳酸であり、発酵全体の代謝健全性を置き換えるものではありません^[11]。



Figure 4. ALDC는 깔끔한 라거, 빠른 양조 일정, 고비중 발효, 효모 재사용 공정, 드라이 홉핑 맥주, 섬세하고 중성적인 스타일에서 특히 유용한 경우가 많습니다.

また、微生物汚染によるジアセチル様オフフレーバーには注意が必要です。乳酸菌などの一部微生物は、ビール中でジアセチルまたはその前駆体に関わる代謝を示す場合があり、通常の酵母発酵由来とは異なる管理が必要になります。ALDCは発酵設計を支援しますが、衛生不良や汚染を補償する工程助剤ではありません^[2]。

この点で、ALDCは「問題が出た後の修正剤」ではなく、「問題が出にくい発酵プロファイルを設計するための酵素」です。発酵初期から前駆体を低減し、後半のジアセチルレストや長期熟成への依存を軽くするという使い方が、酵素の機構と一致します^[5]。

pH、温度、工程条件の影響をどう考えるか

酵素反応である以上、ALDCの働きはpH、温度、基質濃度、発酵液組成に影響されます。ビール発酵中のpHは麦汁からビールへ向けて低下し、酵母活動や有機酸生成、原料条件によって変動します。一般に、ALDCは発酵初期に存在する α -アセト乳酸に早く作用させることで効果を出しやすいため、添加タイミングと発酵環境の整合性が重要です^[4]。

有機酸はビールの味、pH、微生物安定性、全体の香味バランスに関わります。pHが変われば酵母代謝、ジアセチル生成、酵素活性のバランスも変わるため、ALDCの効果を香味評価だけでなく、発酵曲線、VDK推移、pH推移と合わせて理解する必要があります^[12]。

ただし、本ページでは特定の活性単位、グレード、分析法、活性定義は扱いません。Enzymes.bioは製造業者や試験機関ではなく、醸造用ALDCをオンラインで供給するサプライヤーです。製品に関連するCoAとSDSは注文時に提供されるため、受領した文書を実際の品質管理体系に組み込む形になります。



Figure 5. ALDC는 디아セチル 생성을 줄여 숙성이 후기 단계의 긴 정화 기간에 덜 의존하도록 만들 수 있습니다.

ALDCを使うことで期待できる実務的効果

ALDC導入による最も直接的な効果は、ジアセチル前駆体を低減し、ビール中のVDK形成リスクを下げることです。これにより、熟成末期にジアセチルが残りにくくなり、官能上のバター様ニュアンスを抑えたクリーンなプロファイルを得やすくなります。醸造用途のALDCは、この前駆体制御を通じて、品質一貫性と工程時間の両面に寄与する酵素として説明されています^[6]。

次に、コンディショニング期間の設計自由度が高まります。ジアセチルレストや長期冷却熟成を完全に不要にするという単純な話ではありませんが、VDKが下がるまで待つ工程負荷を軽減できれば、タンク回転率、冷却エネルギー、出荷計画の安定性に実務的な価値が生まれます。市販ALDCの技術情報でも、熟成短縮や発酵設備能力の改善が用途上の利点として挙げられています^[5]。

さらに、ALDCは香味の「足し算」ではなく「不要経路の抑制」として働くため、レシピ設計の個性を保ちやすい点も重要です。ホップアロマ、麦芽由来の風味、酵母由来エステルを積極的に変えるのではなく、ジアセチルという特定の欠点前面に出るのを抑えます。この性質は、ラガー、ピルスナー、ケルシュ、クリームエール、淡色系低エステルビールなどで特に意味を持ちます^[2]。

研究文献から見たALDCの位置づけ

ALDCは醸造専用の便宜的な添加剤ではなく、微生物代謝の中で α -アセト乳酸からアセトインへ向かう経路を担う酵素として広く研究されています。Saccharomycotina酵母亜門におけるALDC多様性を扱った研究では、酵母由来ALDCの発見から醸造応用までが整理されており、同酵素がビールのジアセチル管理と明確に結びつくことが示されています^[1]。

固定化ALDC研究では、酵素を担体に保持することで安定性を高め、ビール中のオフフレーバー防止へ応用する可能性が検討されています。これは、ALDCの反応が実際のビールマトリックス中でも意味を持つことを示す補助的根拠です。商業醸造では固定化方式を採用しない場合も多いものの、反応機構の信頼性を支える研究として重要です^[6]。



Figure 6. ALDC는 알파-아세토락테이트를 대상으로 하는 예방적 관리 지점이며, 이미 축적된 디아세틸을 제거하지는 않습니다.

一方で、ビール品質は単一酵素だけで決まりません。グリーンモルト使用、特殊原料、副原料、グルテン低減技術、酵母遺伝的特性など、多くの要因が発酵挙動と香味に関わります。したがってALDCは、原料、酵母、工程温度、衛生、熟成設計と併用して考えるべき、特定機能型の醸造用酵素です^[13]。

Enzymes.bioでの供給形態と製品理解

Alpha-Acetolactate Decarboxylase for Brewing Industryは、ビール醸造でジアセチル前駆体を制御するためのALDC酵素製品です。Enzymes.bioは本製品の供給業者であり、製造業者または研究所ではありません。製品はオンラインで1 kg単位にて直接購入でき、注文処理と配送が行われます。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

製品理解として最も重要なのは、ALDCを「ジアセチルを後から消す酵素」と表現しないことです。正確には、発酵中に酵母が放出する α -アセト乳酸をアセトインと二酸化炭素へ変換し、ジアセチルへ進む非酵素的経路を抑える酵素です。この違いは、使用タイミング、期待効果、工程評価を誤らないために不可欠です^[4]。

醸造現場での価値は、クリーンな香味、VDK管理、熟成負荷の軽減、タンク利用効率の改善にあります。ただし、酵母健全性、pH、温度、原料組成、衛生状態、発酵スケジュールを無視して同じ結果を保証するものではありません。ALDCは、発酵品質管理の中でジアセチル前駆体という一点に精密に作用する酵素として捉えるのが、科学的にも実務的にも最も正確です^[1]。

Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry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。

[Alpha-Acetolactate Decarboxylase For Brewing Industry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. Spaans, M., Winkler, L. S., Broek, M. A., & Daran, J. (2026). Diversity of α -acetolactate decarboxylase in the Saccharomycotina yeast subphylum: From discovery to brewing application. *Food microbiology*, 134, 104903 .
2. Diacetyl Understanding Its Role As An Off Flavor In Beer. *Brewingscience*.
3. Bergen, B., Cyr, N., Strasser, R., Blanchette, M., Sheppard, J., & Jardim, A. (2016). α, β -Dicarbonyl reduction is mediated by the Saccharomyces Old Yellow Enzyme. *FEMS Yeast Research*, 16 5.
4. Abv Alpha Acetolactate Decarboxylase. *Lallemandbrewing*.
5. Endozym Aldc 22247. *Aeb-group*.
6. Costa, G., Spolidoro, L. S., Manfroi, V., Rodrigues, R., & Hertz, P. (2022). α - Acetolactate decarboxylase immobilized in chitosan: A highly stable biocatalyst to prevent off - flavor in beer. *Biotechnology progress (Print)*, 38.

7. Deng, Y., Lim, J., Lee, G., Nguyen, T., Xiao, Y., Piao, M., & Kim, D. (2019). Brewing rutin-enriched lager beer with buckwheat malt as adjuncts. *Journal of Microbiology and Biotechnology*.
8. Zhao, F., Wang, Q., Dong, J., Xian, M., Yu, J., Yin, H., Chang, Z., ... et al. (2017). Enzyme-inorganic nanoflowers/alginate microbeads: An enzyme immobilization system and its potential application. *Process Biochemistry*, 57, 87-94.
9. Cramer, J., Blatt, T., Fratianni, A., Schoenenberg, S., & Eiken, J. (2024). New Proline-Specific Endoprotease for Improved Colloidal Beer Stability and Gluten Reduction. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 82, 357 - 369.
10. Cela, N., Condelli, N., Perretti, G., Cairano, M. D., Clippeleer, J. D., Galgano, F., & Rouck, G. D. (2023). A Comprehensive Comparison of Gluten-Free Brewing Techniques: Differences in Gluten Reduction Ability, Analytical Attributes, and Hedonic Perception. *Beverages*.
11. Guo-xian, G. (2009). Influence of fks1 gene deletion in brewers' yeast on beer flavor stability. *Science and Technology of Food Industry*.
12. Zhi-jian, W. (2006). Organic Acids in Beer & Its Effects on Beer Flavor.
13. Dugulin, C. A., Rouck, G. D., & Cook, D. (2021). Green Malt for a Green Future – Feasibility and Challenges of Brewing Using Freshly Germinated (Unkilned) Malt: A Review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 79, 315 - 332.


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。