

Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase (ALDC) ile Bira Olgunlaştırmada Diasetil Önleme

Enzymes.bio Araştırma Ekibi · Wellington, Yeni Zelanda · June 21, 2026

Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase, fermantasyon sırasında oluşan α -asetolaktatı diasetile dönüşmeden önce asetoin ve karbondioksite yönlendiren gıda sınıfı bir enzimdir. Bira üretimindeki başlıca uygulaması, tereyağımsı off-flavour ile ilişkilendirilen diasetil riskini öncül aşamasında azaltarak olgunlaştırma sürecini daha öngörülebilir hâle getirmektedir ^[1]. Enzymes.bio tarafından tedarik edilen ürün 1 kg birimler halinde çevrim içi satın alınabilen bir Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase ürünüdür; CoA ve SDS siparişe birlikte sağlanır .

Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase nedir?

Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase, kısaca ALDC, α -asetolaktat adlı ara bileşiğin dekarboksilasyonunu katalizleyen ve reaksiyon sonucunda asetoin ile karbondioksit oluşumunu destekleyen bir proses enzimidir. Bira üretiminde bu reaksiyonun önemi, α -asetolaktatın fermantasyon ortamında diasetil oluşumuna gidebilen başlıca öncüllerden biri olmasıdır; ALDC bu öncülü farklı bir kimyasal yola yönlendirerek diasetil oluşum potansiyelini azaltır ^[2].

Bu enzim “oluşmuş diasetili gideren” bir düzeltme ajanı olarak değil, diasetil oluşmadan önce çalışan önleyici bir biyokatalizör olarak değerlendirilmelidir. Bu ayırım teknik açıdan kritiktir: ALDC'nin hedefi diasetil kendisi değil, diasetile dönüşebilecek α -asetolaktattır; dolayısıyla enzimin proses değeri, fermantasyon akışı içinde substratla yeterince erken karşılaşmasına bağlıdır ^[1].

Enzymes.bio'nun konumu burada bir üretici veya laboratuvar konumu değildir; ürün, profesyonel kullanıma yönelik bir tedarik ürünü olarak sunulur. Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase ürün sayfası, bu enzimi bira endüstrisinde kullanıma yönelik gıda sınıfı toz ürün olarak konumlandırır ve ürünün 1 kg birim üzerinden çevrim içi satın alınabilir yapısını destekler .

Bira üretiminde çözmeye odaklandığı sorun: diasetil

Diasetil, bira üreticileri için özellikle kontrol edilmesi gereken vicinal diketonlardan biridir; duyuşsal olarak tereyağımsı veya yapay tereyağı benzeri algılarla ilişkilendirilir. Geleneksel bira olgunlaştırmada diasetil seviyesinin düşmesi için maya metabolizmasının ve zamanın birlikte çalışması beklenir; ALDC uygulamasının teknik anlamı ise bu bekleme ihtiyacının önemli bir bölümünü, öncül bileşiği farklı bir ürüne çevirerek azaltmaya çalışmasıdır [1].

Fermantasyon sırasında maya, valin biyosenteziyle ilişkili metabolik akış içinde α -asetolaktat oluşturabilir. Bu ara bileşik hücre dışına geçtiğinde bira matrisinde kimyasal olarak diasetile dönüşebilir; sonrasında diasetilin daha az sorunlu bileşiklere indirgenmesi tekrar zaman gerektirir. ALDC, bu zincirde daha erken bir noktaya müdahale eder: α -asetolaktatı aseton yönüne çevirerek diasetil oluşumuna açık ara havuzu küçültür [2].

Bu mekanizma, “aroma kusurunu maskeleyme” yaklaşımından farklıdır. Maskeleyme veya tat dengesini başka bileşenlerle örtme yerine, hedeflenen reaksiyon α -asetolaktatın yapısal dönüşümüdür; yani proses kontrolü, duyuşsal sonucu dolaylı olarak etkileyen kimyasal öncül yönetimi üzerinden kurulur. ALDC'nin bira olgunlaştırmayla birlikte anılması da bu nedenle literatürde doğrudan fermantasyon ve maturasyon süreci bağlamında yapılmıştır [1].

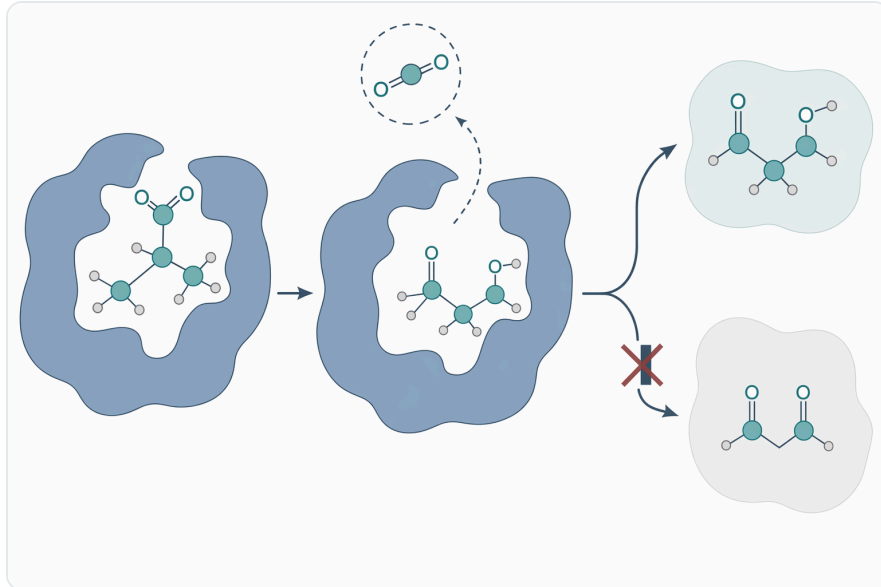


Figure 1. ALDC는 다이아세틸이 형성되기 전 단계에서 α -아세토락테이트에 작용하여 이 전구체를 아세토인과 이산화탄소로 전환한다.

Mekanizma: α -asetolaktattan asetoin ve karbondioksite

ALDC'nin temel reaksiyonu, α -asetolaktatın karboksil grubunu uzaklaştırarak asetoin oluşturmaktır. Dekarboksilasyon sırasında karbondioksit açığa çıkar; kalan karbon iskeleti ise diasetil yoluna gitmek yerine asetoin olarak stabilize edilir. Yapı ve mekanizma çalışmalarında ALDC'nin aktif bölgesinin substratı belirli bir geometride bağladığı ve bu konumlandırmanın reaksiyon yönünü belirlediği gösterilmiştir [2].

Bu reaksiyonun bira prosesindeki değeri, diasetil oluşum basamağının enzimatik olmayan doğasıyla ilişkilidir. α -Asetolaktat ortamda kaldığında, oksidatif koşullardan ve matris özelliklerinden etkilenerek diasetile dönüşebilir; bu dönüşüm bir kez gerçekleştiğinde ALDC'nin hedeflediği substrat artık azalır. Bu nedenle enzim, uygulama mantığı bakımından "erken yönlendirme" aracıdır: substrat mevcutken onu asetoin yoluna aktarır [1].

Moleküler modelleme ve hesaplamalı çalışmalar, ALDC'nin R/S- α -asetolaktat bağlanma biçimleri ve stereoselektif katalitik davranışı üzerine de odaklanmıştır. Bu çalışmalar pratik bira üreticisine doğrudan bir reçete vermez; ancak enzimin yalnızca genel bir dekarboksilaz olmadığını, substratın aktif merkezdeki bağlanma yönü ve proton transferleri gibi ayrıntılarla çalışan seçici bir katalizör olduğunu gösterir [3].

Bira açısından sonuç sadeleşir: ALDC, fermantasyon sırasında veya α -asetolaktatın oluştuğu döneme yakın kullanıldığında, diasetil oluşmadan önce metabolik öncülü daha az problemlili bir yöne çekebilir. Böylece proses yönetimi "diasetil çıktıktan sonra düşmesini bekleme" yaklaşımından "diasetil potansiyelini kaynağında azaltma" yaklaşımına kayar [1].

Doğal olgunlaştırma ile ALDC destekli yaklaşımın karşılaştırması

Aşağıdaki karşılaştırma, ALDC'nin bira üretimindeki rolünü proses mantığı üzerinden özetler. Tablo bir garanti veya tek tip performans vaadi değildir; maya suşu, fermantasyon profili, wort bileşimi, oksijen teması, sıcaklık ve proses hijyeni nihai sonucu etkileyebilir [2].

Proses yaklaşımı	Ana hedef	Diasetil yönetimindeki mantık	İşletme etkisi	Sınırları
Doğal olgunlaştırma / kondisyonlama	Fermantasyon sonrası tat profilinin zamana bağlı dengelenmesi	Oluşan diasetilin maya tarafından daha sonra	Tank işgal süresi uzayabilir; soğuk bekleme ihtiyacı artabilir	Süre maya sağlığına, sıcaklığa ve ürün stiline duyarlıdır

Proses yaklaşımı	Ana hedef	Diasetil yönetimindeki mantık	İşletme etkisi	Sınırları
		indirgenmesini bekler		
ALDC destekli fermantasyon	α -asetolaktatı erken aşamada aseton ve CO ₂ 'ye yönlendirmek	Diasetil öncülünü azaltarak oluşum potansiyelini düşürür	Olgunlaştırma sürecini daha öngörülebilir kılabılır; çevrim süresini iyileştirmeye yardımcı olabilir	Oluşmuş diasetili doğrudan hedeflemez; zamanlama ve homojen dağılım önemlidir
Geç aşama düzeltme beklentisi	Bitmiş üründeki kusuru sonradan azaltmak	ALDC için uygun ana mantık değildir	Beklenen etki sınırlı kalabilir	Substrat α -asetolaktat değilse enzimin hedefi azalır

ALDC'nin literatürde "beer maturation" bağlamında değerlendirilmesi, enzimin teknik rolünün doğrudan olgunlaşma dinamiklerine bağlandığını gösterir. Buradaki amaç, bira karakterini kökten değiştirmek değil; diasetil öncülünü kontrol ederek daha temiz ve daha tutarlı bir fermantasyon sonrası profil elde etmeye yardımcı olmaktadır [1].

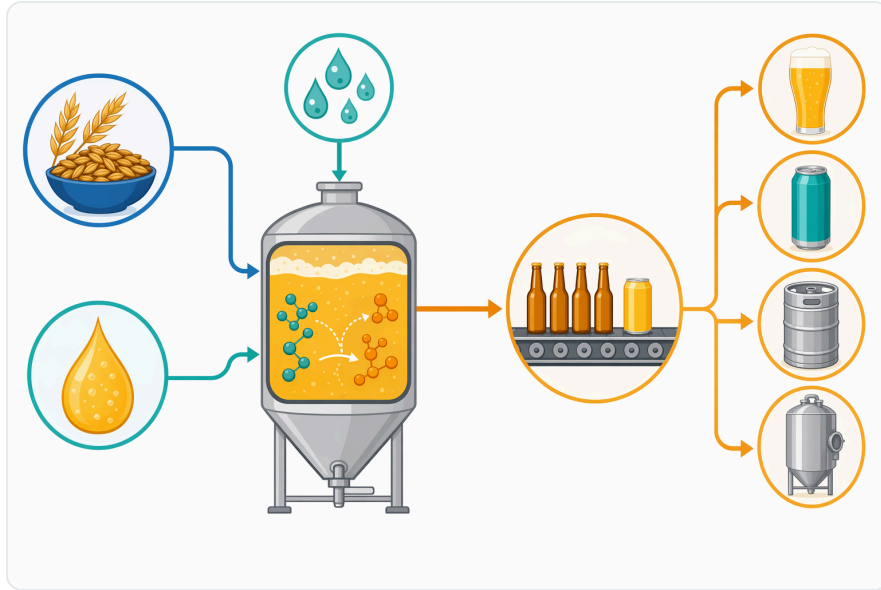


Figure 2. 다이아세틸 위험은 전구체의 배출, 화학적 전환, 시간에 따른 효모의 제거 과정을 통해 발생하며, ALDC는 이취 성분이 축적되기 전에 개입한다.

Uygulama zamanı neden önemlidir?

ALDC'nin verimli yorumlanması için reaksiyonun sırası iyi anlaşılmalıdır: önce α -asetolaktat oluşur, sonra bu ara bileşik uygun koşullarda diasetile dönüşebilir. ALDC bu ilk bileşiği hedeflediğinden, enzimin fermantasyonun α -asetolaktat üreten fazına yakın konumlandırılması teknik olarak daha anlamlıdır [2].

Eğer prosesin büyük bölümünde α -asetolaktat zaten diasetile dönüşmüşse, ALDC'nin ana reaksiyon alanı daralır. Bu durumda enzim, oluşmuş diasetili geri çevirmek için tasarlanmış bir araç gibi düşünülmemelidir; diasetil azaltma beklentisi, ancak substrat havuzunun hâlâ enzimin erişebileceği durumda olmasıyla uyumludur [1].

Pratik bira üretiminde bu, ALDC'nin fermantasyon tasarımına entegre edilen bir yardımcı olarak ele alınması gerektiği anlamına gelir. Enzim, maya seçimi, oksijen yönetimi, sıcaklık profili, besin dengesi ve hijyen gibi temel proses parametrelerinin yerine geçmez; fakat bunlarla birlikte çalışarak diasetil riskinin kaynak tarafında yönetilmesine yardımcı olur [2].

Duyusal kaliteye etkisi: asetoin neden daha tercih edilir?

Diasetil, düşük miktarlarda bile belirgin algılanabilen ve özellikle bazı bira stillerinde istenmeyen bir tat bileşenidir. Asetoin ise aynı öncüden türeyebilmesine rağmen, bira kalite kontrolünde diasetil kadar keskin bir tereyağimsı kusur olarak ele alınmaz; ALDC'nin değeri de α -asetolaktatı bu daha az sorunlu yöne aktarmasından gelir [1].

Bu dönüşüm bira üreticisine iki düzeyde katkı sağlayabilir. Birincisi, duyusal riskin kaynağı olan diasetil oluşum potansiyeli azalır; ikincisi, olgunlaştırmanın yalnızca diasetil düşüşünü bekleyen pasif bir faz olmaktan çıkıp daha kontrollü bir proses adımı hâline gelmesi desteklenir [2].

Yine de ALDC'nin kullanımı, biranın tüm aroma profilini tek başına belirlemez. Esterler, yüksek alkoller, kükürtlü bileşikler, oksidasyon ürünleri, şerbetçiotu bileşenleri ve mikrobiyal stabilite gibi birçok unsur nihai duyusal kaliteyi etkiler; ALDC'nin net hedefi bu geniş aroma evreni içinde α -asetolaktat–diasetil hattıdır [1].

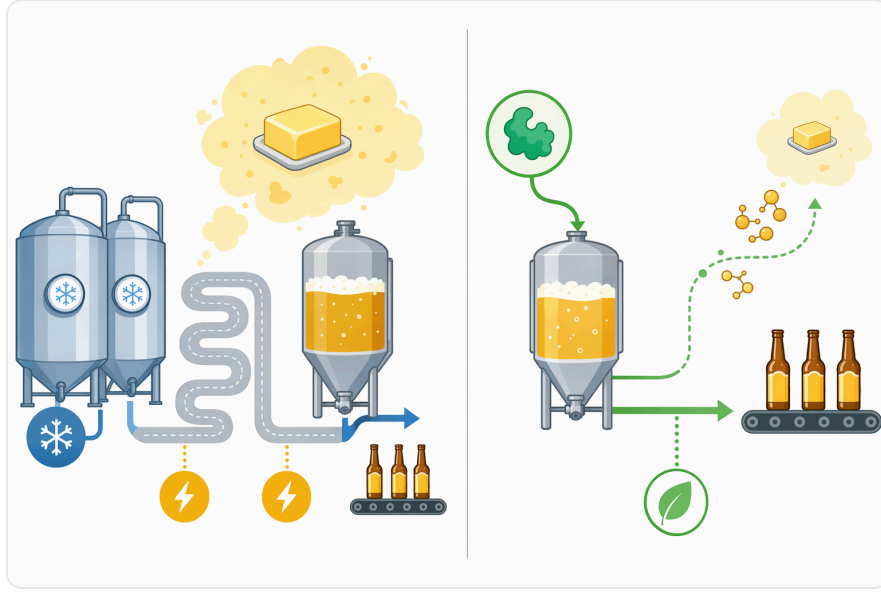


Figure 3. 예방적 ALDC 처리는 다이아세틸을 나중에 효모가 환원하는 데만 의존하는 기존 관리 방식과 달리 α -아세토라кте이트 풀을 줄인다.

Bilimsel arka plan: ALDC'nin yalnızca ticari değil biyokimyasal önemi

ALDC üzerine yapılan yapı ve mekanizma çalışmaları, enzimin aktif bölge mimarisinin ve reaksiyon yolunun ayrıntılı olarak incelendiğini gösterir. Bu çalışmalar, enzimin bira uygulamasında kullanılan basit bir proses yardımcısı olmanın ötesinde, dekarboksilasyon kimyası ve stereoselektif substrat tanıma açısından da ilgi çektiğini ortaya koyar [2].

Hesaplamalı modelleme çalışmaları, R/S- α -asetolaktat bağlanma biçimlerini ve stereoselektif kataliz olasılıklarını inceleyerek enzimin substratı nasıl konumlandığına dair daha ayrıntılı açıklamalar sunar. Bu, ALDC'nin proses etkisinin rastlantısal bir yan reaksiyon değil, aktif merkez düzeyinde tanımlanabilir bir biyokimyasal dönüşüm olduğunu destekler [3].

α -Asetolaktat biyokimyası yalnızca ALDC ile sınırlı değildir; asetolaktat sentaz gibi enzimler de α -asetolaktat oluşumunda rol oynayan mekanizmalar nedeniyle uzun süredir incelenmektedir. Bu durum, bira prosesinde hedeflenen ara bileşiğin daha geniş bir metabolik ağ içinde yer aldığını ve ALDC müdahalesinin bu ağın belirli bir düğümüne odaklandığını gösterir [4].

Bira dışında asetoin biyoteknolojisiyle ilişkisi

ALDC'nin temel ürünü olan asetoin, endüstriyel biyoteknolojide de ilgi gören bir bileşiktir. *Saccharomyces cerevisiae* üzerinde yapılan metabolik mühendislik çalışmalarında asetoin üretiminin artırılması için redoks dengesi ve yan ürün yolları üzerinde değişiklikler çalışılmıştır; bu, asetoin

yolunun yalnızca bira tadı yönetimi değil, biyoproses tasarımı açısından da önemli olduğunu gösterir [5].

Daha sonraki çalışmalarda, maya sistemlerinde keton redüktaz genlerinin silinmesi gibi stratejilerle asetoinin belirli stereoformlarının üretimi üzerine odaklanılmıştır. Bu tür araştırmalar, α -asetolaktat-asetoin hattının seçicilik, yan ürün kontrolü ve karbon akışı bakımından teknik olarak zengin bir alan olduğunu ortaya koyar [6].

Zymomonas mobilis üzerinde yapılan metabolik mühendislik çalışmaları da karbon yeniden dağıtımı ve kofaktör dengesi üzerinden asetoin üretimini ele almıştır. Bu örnekler, ALDC'nin katalizlediği dönüşümün bira endüstrisindeki uygulamasını doğrudan değiştirmez; ancak asetoin biyosentezinin farklı mikroorganizmalarda proses mühendisliği açısından takip edilen bir hedef olduğunu gösterir [7].

Bira üretiminde proses faydaları

ALDC'nin birincil proses faydası, diasetil öncülünün azaltılması yoluyla olgunlaştırma sürecini daha öngörülebilir hâle getirmesidir. Bu, özellikle düşük sıcaklıkta fermente edilen veya daha uzun kondisyonlama gerektirebilen bira tiplerinde işletme planlaması açısından önemlidir; çünkü tankların ne kadar süre dolu kalacağı üretim kapasitesini doğrudan etkiler [1].

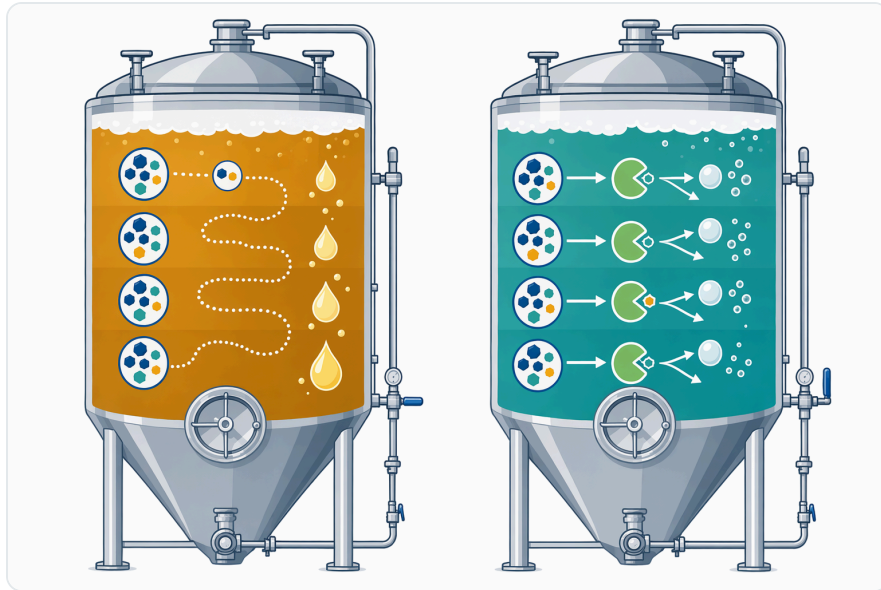


Figure 4. 양조 연구는 발효 중 ALDC 활성을 활용해 다이아세틸로 이어지는 경로를 줄이는 방법을 뒷받침한다.

İkinci fayda, parti arası duyusal tutarlılığın desteklenmesidir. Aynı reçete ve benzer fermantasyon koşullarında bile diasetil seviyesi maya performansı, oksijen teması ve sıcaklık profilinden etkilenebilir; ALDC, bu değişkenlerden bağımsız bir garanti sunmaz, fakat α -asetolaktat havuzunu hedeflediği için

belirli bir risk noktasına doğrudan müdahale eder [2].

Üçüncü fayda, olgunlaştırma kararlarının yalnızca sonradan düzeltme yaklaşımına dayanmamasıdır. ALDC'nin kullanımı, kalite kontrol perspektifini "problem çıkarsa bekle" mantığından "problem öncülünü azalt" mantığına taşır; bu da özellikle ticari ölçekli üretimde planlama ve ürün standardizasyonu açısından daha rasyonel bir proses yaklaşımıdır [1].

Kullanım bağlamında dikkat edilmesi gereken teknik sınırlar

ALDC her aroma kusurunu çözmez ve bira stabilitesinin tüm yönlerini kapsamaz. Oksidasyon, kontaminasyon, maya stresi, yetersiz fermantasyon, uygunsuz paketlenme veya hatalı şerbetçiotu yönetimi gibi sorunlar diasetilden bağımsız duyuşal sapmalara yol açabilir; ALDC'nin mekanizması bunların yerine geçecek genel bir kalite düzeltmesi değildir [2].

Enzimin hedeflediği bileşiğin α -asetolaktat olması, süreç zamanlamasını sınırlayıcı bir faktör hâline getirir. ALDC'nin geç aşamada kullanılmasından beklenen etki, fermantasyon sırasında veya öncül oluşumuna yakın kullanım mantığından farklıdır; çünkü reaksiyon, mevcut substrat miktarıyla sınırlı olacaktır [1].

Ayrıca her bira matrisi aynı değildir. Malt kompozisyonu, maya suşu, fermantasyon sıcaklığı, başlangıç ekstraktı, serbest amino azot dengesi ve proses oksijeni α -asetolaktat oluşumunu ve diasetile dönüşüm dinamiklerini etkileyebilir; bu nedenle ALDC'nin teknik etkisi gerçek proses koşulları içinde değerlendirilmelidir [4].

Gıda sınıfı tedarik ve dokümantasyon

Enzymes.bio tarafından tedarik edilen Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase, 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alınabilen bir üründür. Bu ifade, ürünü büyük hacimli özel tedarik, numune veya teklif akışı üzerinden değil; standart çevrim içi ürün erişimi ve sipariş sonrası dokümantasyon yaklaşımı üzerinden konumlandırır .



Figure 5. ALDC는 라거, 필스너, 라이트 라거, 퀴슈 스타일 맥주, 깔끔한 에일처럼 깨끗한 풍미가 중요한 발효 음료와 버터 향이 바람직하지 않은 기타 음료에 특히 적합하다.

CoA, ilgili lota ait kalite ve tanımlama bilgilerinin raporlandığı belgedir; enzim ürünlerinde alıcının partiye özel belgeyle kayıt tutmasına yardımcı olur. CoA'nın nasıl okunacağına ilişkin teknik açıklamalar, bu belgenin ürün adı, lot bilgisi ve ilgili kalite parametreleri gibi siparişe bağlı kayıt unsurlarını anlamak için kullanıldığını gösterir .

SDS ise güvenli elleçleme, depolama, taşıma ve maruziyet yönetimi için kullanılan güvenlik dokümanıdır. Enzim preparatları özellikle toz formda kullanılırken solunum yolu hassasiyeti ve işyeri maruziyeti açısından uygun kontrol önlemleriyle ele alınmalıdır; bu nedenle SDS'nin siparişe birlikte sağlanması profesyonel kullanım akışı için önemlidir ^[8].

İş sağlığı ve elleçleme açısından doğru çerçeve

Gıda sınıfı ifadesi, ürünün gıda proseslerinde kullanım bağlamını destekler; ancak bu ifade, enzim tozlarının iş sağlığı açısından sıradan bir inert toz gibi ele alınabileceği anlamına gelmez. Enzimler protein yapılı biyokatalizörlerdir ve özellikle havaya karışan tozların solunması mesleki hassasiyet riski oluşturabilir; bu nedenle SDS bilgileri dikkate alınmalıdır ^[8].

Depolama ve elleçleme uygulamalarında temel amaç, ürünün gereksiz neme, uygunsuz sıcaklık dalgalanmalarına, tozlaşmaya ve çapraz kontaminasyona maruz kalmasını önlemektir. Bu tür genel kontrol önlemleri, enzimin proses performansını korumaya yardımcı olduğu kadar çalışan güvenliği açısından da önem taşır ^[8].

CoA ve SDS'nin birlikte sağlanması, hem kalite kayıtları hem de güvenli kullanım için tamamlayıcı bir belge seti oluşturur. CoA partiye özel ürün bilgisini desteklerken, SDS kullanıcı tarafındaki risk iletişimini ve güvenli çalışma prosedürlerini destekler .

ALDC'nin proses entegrasyonunu doğru yorumlamak

ALDC kullanımı, bir bira reçetesinin veya fermantasyon programının bütününe yeniden tanımlamak zorunda değildir; daha doğru tanım, mevcut proses içinde diasetil öncülünü hedefleyen özel bir biyokatalitik müdahaledir. Bu yaklaşım, özellikle olgunlaştırma süresinin üretim planı üzerinde belirleyici olduğu tesislerde anlam kazanır [1].

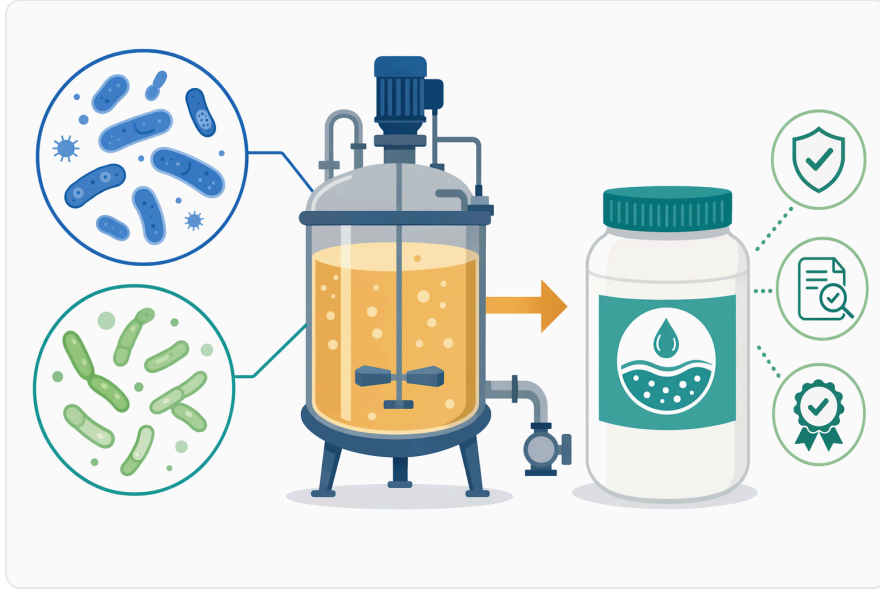


Figure 6. ALDC는 미생물, 생산, 구조 및 안전성 평가 문헌으로 뒷받침되는 확립된 식품 효소 범주이다.

Enzim, mayanın metabolik davranışını tamamen ortadan kaldırmaz veya fermantasyonun doğal seyrini tek başına kontrol etmez. Maya hâlâ şeker tüketimi, alkol oluşumu, aroma metabolizması ve redüksiyon reaksiyonlarında merkezi aktördür; ALDC yalnızca α -asetolaktatın kaderini etkileyen belirli bir reaksiyon basamağına odaklanır [4].

Bu nedenle ALDC, “daha kısa proses” ifadesiyle anılsa bile asıl teknik iddia süre kısaltmadan önce kimyasal öncül yönetimidir. Süre, kapasite ve soğutma etkileri bu mekanizmanın işletme sonuçları olabilir; ancak mekanizmanın kendisi α -asetolaktatın asetoin ve karbondioksit'e dönüştürülmesidir [2].

Sonuç: diasetil kontrolünde hedefli ve mekanizması net bir enzim

Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase, bira üretiminde diasetil riskini kaynağa yakın noktada yönetmek için kullanılan, mekanizması açık bir gıda sınıfı enzimdir. Temel reaksiyon, α -asetolaktatın diasetile dönüşmeden önce asetoin ve karbondioksite yönlendirilmesidir; bu nedenle ALDC en güçlü etkisini önleyici proses yardımcısı olarak gösterir [1].

Bilimsel literatür, ALDC'nin yapı, mekanizma ve stereoselektif kataliz açısından incelendiğini; bira olgunlaştırma bağlamında ise diasetil öncül yönetimiyle ilişkilendirildiğini gösterir. Bu kanıtlar, enzimin pratik kullanımını genel bir aroma düzeltme iddiasına değil, belirli bir kimyasal dönüşüme dayandırır [2].

Enzymes.bio tarafından tedarik edilen Food Grade α -Acetolactate Decarboxylase, 1 kg birimler halinde çevrim içi satın alınabilen bir üründür. Siparişe birlikte CoA ve SDS sağlanması, profesyonel kullanıcıların hem partiye özel kalite kayıtlarını hem de güvenli elleçleme bilgilerini ürünle birlikte almasına yardımcı olur .

Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase ürününü online sipariş edin

1 kg birimler halinde satılır; stokta mevcut ve sevkiyata hazırdır. Mağazamızdan doğrudan sipariş verin — online ödeme yapın, siparişinizi işleme alalım. Her siparişe Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu dahildir.

[Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase satın alın →](#)

Kaynaklar

İlk atıf sırasına göre numaralandırılmıştır. Açık erişimli kaynaklardır; her birinin yayım sırasında erişilebilir olduğu doğrulanmıştır. Metindeki atıf numaraları buraya bağlantı verir:

1. Godtfredsen, S., & Ottesen, M. (1982). Maturation of beer with α -acetolactate decarboxylase. *Carlsberg Research Communications*, 47, 93-102.
2. Marlow, V. A., Rea, D., Najmudin, S., Wills, M., & Fülöp, V. (2013). Structure and mechanism of acetolactate decarboxylase. *ACS Chemical Biology*, 8 10, 2339-44 .
3. Zhuang, C., & Zheng, Q. (2016). QM/MM calculations and MD simulations of acetolactate decarboxylase to reveal substrate R/S-acetolactate binding mode and stereoselective catalytic mechanism. *RSC Advances*, 6, 91852-91859.
4. Schloss, J. (1990). Acetolactate synthase, mechanism of action and its herbicide binding site. *Pesticide Science*, 29, 283-292.

5. Bae, S., Kim, S., & Hahn, J. (2016). Efficient production of acetoin in *Saccharomyces cerevisiae* by disruption of 2,3-butanediol dehydrogenase and expression of NADH oxidase. *Scientific Reports*, 6.
6. Bae, S., Kim, S., Park, H., Kim, J., Hyun-Jin, Kim, B., & Hahn, J. (2021). High-yield production of (R)-acetoin in *Saccharomyces cerevisiae* by deleting genes for NAD(P)H-dependent ketone reductases producing meso-2,3-butanediol and 2,3-dimethylglycerate. *Metabolic Engineering*.
7. Bao, W., Shen, W., Peng, Q., Du, J., & Yang, S. (2023). Metabolic Engineering of *Zymomonas mobilis* for Acetoin Production by Carbon Redistribution and Cofactor Balance. *Fermentation*.
8. Eta Ghs Enzymes.Pdf. *Enzymetechnicalassociation*.

Enzymes.bio ile iletişime geçin

Siparişinizle ilgili sorularınız mı var? Ekibimiz yardımcı olmaktan memnuniyet duyar.

E-POSTA wholesale@enzymes.bio

TELEFON (ABD) **+1 (507) 428-6057**

[Bize ulaşın →](#)



400+ B2B müşteriler



60+ üniversite araştırma ortakları



54 dünya genelinde hizmet

© 2026 Enzymes.bio · Endüstriyel ve gıda işleme enzim tedariki · İnsan tüketimi veya perakende satış için değildir.