إنزيم α-Acetolactate Decarboxylase الغذائي لتقليل ثنائي الأسيتيل وتسريع نضج البيرة

فريق الأبحاث في Enzymes.bio · ويلينغتون، نيوزيلندا · June 21, 2026

الإجابة المباشرة: إنزيم **Food Grade α-Acetolactate Decarboxylase**، أو **ALDC**، يُستخدم أساسًا في التخمير الغذائي وصناعة البيرة لتحويل **α-acetolactate** إلى **acetoin** قبل أن يتحول كيميائيًا إلى **diacetyl** ذي النكهة الزبدية غير المرغوبة. لذلك يساعد ALDC على التحكم في ثنائي الأسيتيل من المنبع، ويدعم نضجًا أسرع وأكثر اتساقًا دون أن يكون مكوّن نكهة بحد ذاته. تورّد Enzymes.bio المنتج كمسحوق غذائي مخصص لتطبيقات التخمير، ويُباع مباشرة عبر الإنترنت بوحدة **1kg** مع إرفاق **CoA** و**SDS** مع الطلب .

ما هو Food Grade α-Acetolactate Decarboxylase؟

α-Acetolactate Decarboxylase هو إنزيم يختصر عادةً باسم **ALDC**، ووظيفته التقنية هي تحفيز نزع الكربوكسيل من مركب **α-acetolactate** لإنتاج **acetoin**. أهمية هذا التحول في التخمير لا تأتي من acetoin وحده، بل من أنه يسحب السلف الكيميائي بعيدًا عن مسار تكوّن **diacetyl**. وقد دُرست بكتيريا منتجة لـ ALDC في سياق تخليق α-acetolactic acid والتعرف على الكائنات القادرة على إنتاج الإنزيم، ما يعكس أن المسار معروف بحثيًا وليس مجرد مفهوم تسويقي [1].

في الاستخدام الغذائي، يعني وصف المنتج بأنه **Food Grade** أنه موجّه لتطبيقات الأغذية والمشروبات مثل التخمير، وليس للاستخدام الطبي أو التشخيصي. هذا الوصف لا يلغي مسؤولية المستخدم الصناعي عن مواءمة الإنزيم مع التشريعات المحلية، وخطة الجودة الداخلية، ومتطلبات المنتج النهائي. تعرض Enzymes.bio هذا المنتج كمورد عبر الإنترنت لتطبيقات صناعة البيرة والتخمير، وليس بصفتها جهة مصنّعة أو مختبر اختبار .

لماذا يُعد ثنائي الأسيتيل مشكلة تشغيلية في التخمير؟

يتكوّن **diacetyl** في سياقات تخمير متعددة بوصفه مركبًا كربونيليًا صغيرًا لكنه ذو أثر حسي واضح. في كثير من أنماط البيرة، يُنظر إلى النكهة الزبدية أو الكريمية الناتجة عنه على أنها عيب عندما تتجاوز المستوى الحسي المرغوب. المشكلة العملية أن ثنائي الأسيتيل قد يظهر أو يستمر خلال مرحلة النضج، ما يجعل الخزان مشغولًا إلى أن ينخفض الأثر الحسي إلى مستوى مقبول، حتى لو كان التخمير الأساسي قد اكتمل من ناحية استهلاك السكريات.

تقليديًا، يعتمد الانخفاض النهائي في ثنائي الأسيتيل على توازن عدة عوامل: إنتاج السلف **α-acetolactate** داخل الخلايا، خروجه إلى الوسط، تحوله غير الإنزيمي إلى diacetyl، ثم قدرة الخميرة أو الكائنات المخمرة على اختزال diacetyl إلى مركبات أقل حدة حسيًا مثل acetoin وbutanediol-2,3. لذلك فإن إدارة diacetyl ليست خطوة واحدة، بل سلسلة مرتبطة بالأيض، وظروف الوسط، وحيوية الخميرة، وزمن التكييف. تظهر أهمية مسارات acetoin وbutanediol-2,3 في بحوث هندسة التخمرات، بما في ذلك إنتاج butanediol-2,3 في خمائر وكائنات صناعية، وهو ما يدعم مركزية هذا الفرع الأيضي في التخمير الصناعي [2].

آلية ALDC: تحويل السلف قبل أن يصبح نكهة غير مرغوبة

يمكن تلخيص الآلية التقنية لإنزيم ALDC في نقطة حاسمة: **التدخل قبل تكوّن diacetyl**. أثناء التخمير، يتكوّن α-acetolactate ضمن مسارات مرتبطة باستقلاب البيروفات وتخليق الأحماض الأمينية متفرعة السلسلة. إذا خرج هذا المركب إلى الوسط، يمكن أن يتحول خارج الخلية إلى diacetyl عبر تفاعل كيميائي غير مرغوب من منظور النكهة. عند وجود ALDC، يُحفَّز تحويل α-acetolactate مباشرة إلى acetoin، وبذلك تقل كمية السلف المتاحة لتكوين diacetyl.

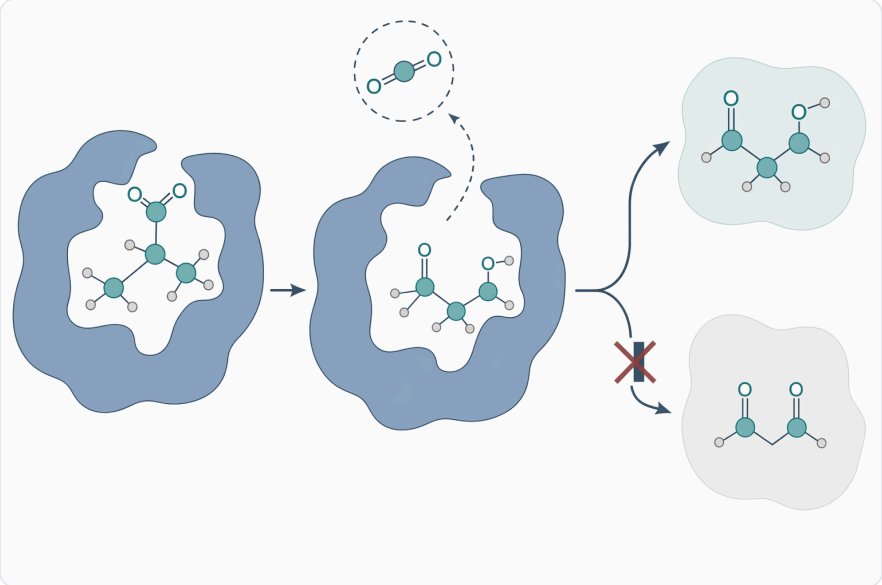

Figure 1. ALDC는 다이아세틸이 형성되기 전 단계에서 α-아세토락테이트에 작용해 이 전구체를 아세토인과 이산화탄소로 전환한다.

هذه الآلية تختلف عن انتظار الخميرة حتى تعيد اختزال diacetyl بعد ظهوره. في السيناريو التقليدي، يتكوّن diacetyl أولًا ثم يحتاج النظام الحيوي إلى وقت إضافي لتقليله. أما في وجود ALDC، فإن جزءًا مهمًا من التدخل يحدث في مرحلة السلف؛ أي إن الإنزيم يقلل تدفق الكربون نحو diacetyl بدلًا من الاعتماد فقط على إزالة أثره بعد التكوّن. دراسات إنتاج acetoin بالهندسة الأيضية، مثل تعزيز acetoin في *Candida glabrata*، تبيّن أن توجيه تدفق الكربون نحو acetoin يمثل هدفًا صناعيًا واضحًا في عمليات تخمير مختلفة [3].

المسار المبسط داخل عملية التخمير

يبدأ المسار من **pyruvate** بوصفه عقدة أيضية مركزية في الخلية المخمرة. من هذه العقدة يمكن أن تتجه بعض التدفقات نحو α-acetolactate، ثم تتفرع لاحقًا إلى acetoin أو diacetyl أو butanediol-2,3 بحسب الإنزيمات والظروف. وجود ALDC يعزز مسار التحويل المباشر من α-acetolactate إلى acetoin، بينما يعتمد التحول إلى diacetyl غالبًا على تفاعلات غير مرغوبة من منظور التحكم الحسي.

يُعد هذا الفرق مهمًا عند تصميم العملية؛ لأن تقليل السلف قد يكون أكثر قابلية للتنبؤ من معالجة العيب بعد ظهوره. في بحوث بكتيرية مثل هندسة *Corynebacterium glutamicum* لإنتاج butanediol-2,3، يظهر أن التحكم في فروع البيروفات وacetoin وbutanediol-2,3 يمكن أن يغيّر توزيع المنتجات النهائية بدرجة كبيرة، ما يوضح لماذا يكون توجيه المسار عند مستوى السلف مفيدًا صناعيًا [4].

مقارنة بين النضج التقليدي واستخدام ALDC

في صناعة البيرة، لا يحل ALDC محل التخمير الجيد أو إدارة الخميرة أو التبريد أو النظافة، لكنه يغيّر نقطة التحكم في مشكلة diacetyl. الجدول التالي يوضح الفروق العملية بين الاعتماد على النضج التقليدي وحده وبين إدخال ALDC كعامل مساعد في العملية.

محور المقارنة	النضج التقليدي دون ALDC	استخدام ALDC الغذائي في التخمير
نقطة التدخل	بعد تكوّن جزء من diacetyl، ثم انتظار اختزاله تدريجيًا	قبل تكوّن diacetyl، عبر تحويل α-acetolactate إلى acetoin
الهدف الحسي	خفض النكهة الزبدية بعد ظهورها	تقليل فرصة تكوّن النكهة الزبدية من المنبع
تأثيره على الخزان	قد يطيل زمن بقاء الدفعة حتى يستقر الملف الحسي	قد يدعم دورة نضج أقصر وأكثر قابلية للتنبؤ
الاعتماد على الخميرة	مرتفع؛ يعتمد على حيوية الخميرة وقدرتها على إعادة الاختزال	لا يلغي دور الخميرة، لكنه يقلل العبء المرتبط بالسلف
حدود الاستخدام	قد يتأثر بقوة بتباين الدُفعات وحالة الخميرة	لا يعالج كل عيوب النكهة؛ فعاليته مرتبطة بمسار α-acetolactate/diacetyl

هذه المقارنة لا تعني أن ALDC يمنح نتيجة موحدة في جميع المصفوفات. فالنتيجة العملية تتأثر بنوع الخميرة، وتركيب الوسط، وتوقيت الإضافة داخل العملية، وحالة التخمير، ونمط البيرة أو المشروب المخمر. ومع ذلك، فإن المنطق التقني لاستخدامه قوي: التحكم في السلف يقلل اعتماد العملية على انتظار انخفاض diacetyl بعد تكوّنه، وهي فكرة منسجمة مع دراسات توجيه مسارات acetoin وbutanediol-2,3 في كائنات تخمير صناعية [5].

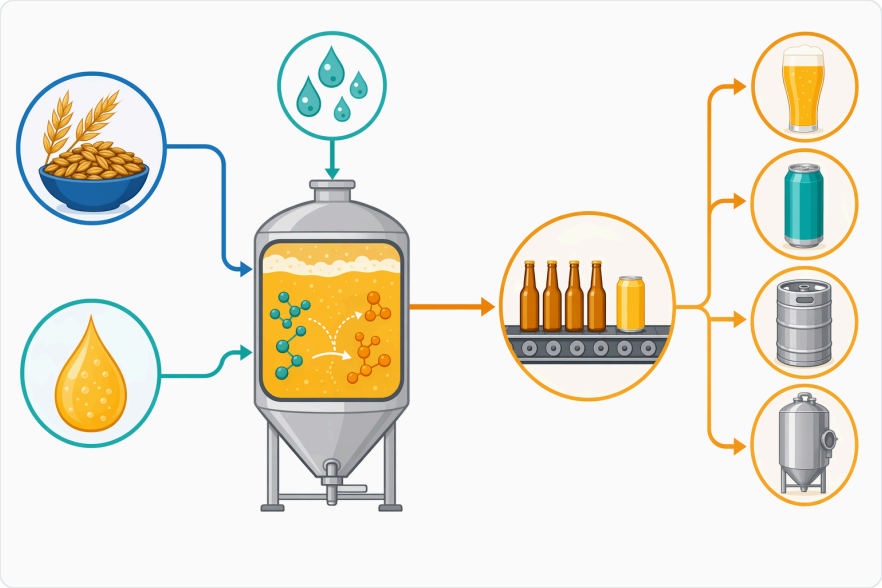

Figure 2. 다이아세틸 위험은 전구체 배출, 화학적 전환, 시간에 따른 효모의 정리 과정에서 발생하며, ALDC는 이취 성분이 축적되기 전에 개입한다.

تطبيقه الرئيسي في صناعة البيرة

التطبيق الأكثر شيوعًا لإنزيم **Food Grade α-Acetolactate Decarboxylase** هو صناعة البيرة، خصوصًا في العمليات التي يكون فيها زمن النضج ومخاطر النكهة الزبدية من محددات الإنتاج. في هذه الحالة يُستخدم الإنزيم كعامل مساعد في التخمير أو النضج لتقليل تراكم diacetyl عبر خفض السلف α-acetolactate. صفحة المنتج لدى Enzymes.bio تصفه بوضوح كمسحوق غذائي موجّه لصناعة التخمير والبيرة .

من الناحية التشغيلية، قد يكون الإنزيم مفيدًا عندما تكون مرحلة "انتظار انخفاض diacetyl" عاملًا يحد من سرعة إطلاق المنتج أو دوران الخزانات. بدلًا من الاعتماد فقط على الوقت وحيوية الخميرة، يضيف ALDC مسارًا إنزيميًا مباشرًا يحوّل السلف إلى acetoin. وهذا لا يجعل العملية مستقلة عن الضبط الحسي أو الجودة، لكنه يجعل أحد أسباب التأخير أكثر قابلية للإدارة.

في مصانع البيرة، تكون الفائدة الأعلى عندما تكون مشكلة diacetyl مرتبطة فعليًا بتكوّن α-acetolactate واستمراره، لا عندما تكون النكهات غير المرغوبة ناتجة عن تلوث، أو أكسدة، أو خلل في المواد الخام، أو عيوب تعبئة. لذلك يجب فهم ALDC كأداة موجهة لمسار كيميائي حيوي محدد، وليس علاجًا عامًا لكل الانحرافات الحسية. هذا التمييز مهم لأن بحوث التخمرات الصناعية تبيّن أن تعديل مسار واحد قد يحسن منتجًا بعينه، لكنه لا يلغي أثر بقية الشبكة الأيضية والظروف التشغيلية [6].

أثر ALDC على acetoin و2,3-butanediol

عندما يحوّل ALDC α-acetolactate إلى **acetoin**، ينتج مركب له دور معروف في كيمياء التخمرات. ويمكن أن يكون acetoin لاحقًا جزءًا من توازن أوسع يشمل **2,3-butanediol**، بحسب الكائنات الحية والظروف. في سياق البيرة، الهدف العملي ليس إنتاج acetoin كمنتج رئيسي، بل منع تراكم diacetyl المزعج حسيًا. أما في التكنولوجيا

الحيوية، فيُدرس acetoin وbutanediol-2,3 كمنتجات تخمر ذات قيمة صناعية، ما يؤكد أهمية المسار نفسه خارج نطاق البيرة أيضًا [7].

هذا الفرق بين "الغرض الغذائي" و"الغرض البيوتكنولوجي" مهم. في تطبيقات البيرة، يُستخدم ALDC لضبط النكهة والنضج. أما في هندسة الكائنات الدقيقة، فقد يكون الهدف تعظيم إنتاج acetoin أو butanediol-2,3 من مواد كربونية مختلفة. على سبيل المثال، تناولت دراسات إنتاج butanediol-2,3 في أنظمة ميكروبية متعددة، بما في ذلك كائنات معدلة ومصادر كربون متنوعة، ما يوضح أن فرع acetolactate/acetoin ليس خاصًا بالبيرة وحدها [8].

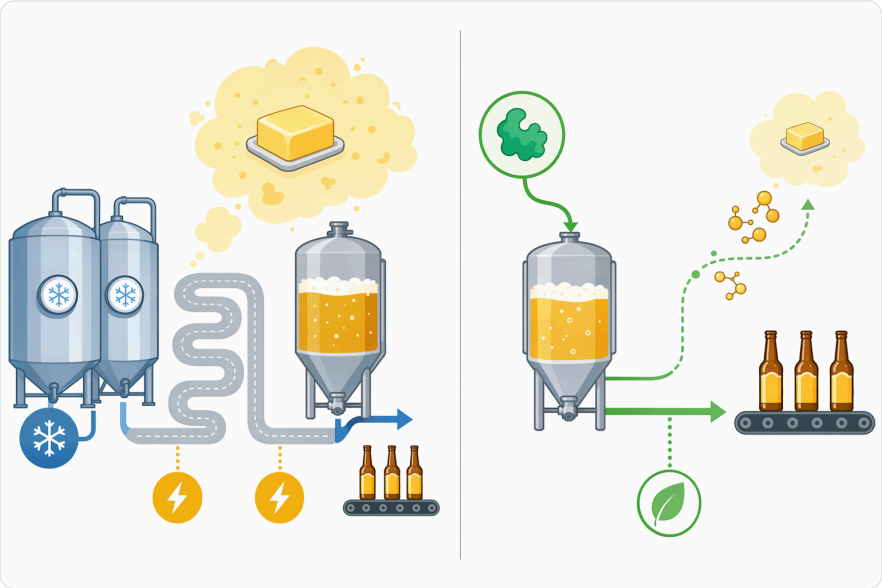

Figure 3. 예방적 ALDC 처리는 다이아세틸을 나중에 효모가 환원하는 데만 의존하는 기존 다이아세틸 관리 방식과 달리 α-아세토락테이트 풀을 줄인다.

لماذا لا يُعد ALDC "مضاف نكهة"؟

من الخطأ التعامل مع ALDC بوصفه مادة تضيف نكهة مرغوبة مباشرة. دوره أقرب إلى **مساعد تصنيع إنزيمي** يغيّر مسارًا وسيطًا أثناء التخمير. فهو لا يهدف إلى إعطاء رائحة أو طعم جديد، بل إلى تقليل تكوّن مركب يمكن أن يسبب انحرافًا حسيًا. هذا يجعله مختلفًا عن المنكهات أو المستخلصات أو المواد التي تُضاف لتعديل الطعم النهائي مباشرة.

ويترتب على ذلك أن تقييم أثره يجب أن يتم من خلال أداء العملية والنتيجة الحسية النهائية، لا من خلال توقع ظهور "بصمة نكهة" خاصة بالإنزيم. عند نجاح التطبيق، تكون الفائدة غالبًا في غياب أو انخفاض الطابع الزبدي غير المرغوب، وفي إمكانية جعل زمن النضج أكثر انتظامًا. وتؤكد بحوث مسارات acetoin وbutanediol-2,3 أن تعديل التدفق الأيضي قد يغيّر نواتج التخمير دون أن يعني ذلك أن الإنزيم نفسه مكوّن نكهة مباشر [9].

أين تظهر قيمة ALDC اقتصاديًا وتشغيليًا؟

القيمة التشغيلية الأولى هي **تقليل الاعتماد على زمن الانتظار**. في خطوط إنتاج البيرة، يمثل الخزان أصلًا إنتاجيًا محدودًا؛ وكل يوم إضافي في التكييف أو النضج يؤثر في التخطيط والطاقة والتوافر. إذا كان جزء من هذا الانتظار مرتبطًا بانخفاض diacetyl، فإن تحويل السلف مبكرًا يمكن أن يدعم دورانًا أفضل للخزانات. لا يعني ذلك ضمان زمن موحد لكل مصنع، لكنه يفسر لماذا أصبح ALDC معروفًا في تطبيقات التخمير.

القيمة الثانية هي **تحسين اتساق الدُفعات**. عندما يتغير مستوى diacetyl بين دفعة وأخرى بسبب اختلافات في الخميرة أو المواد الخام أو إدارة التخمير، يصبح الملف الحسي أقل قابلية للتنبؤ. إدخال مسار إنزيمي يستهدف α-acetolactate قد يقلل أحد مصادر التباين. ومع ذلك، فإن الاتساق النهائي يظل نتيجة منظومة كاملة، وليس نتيجة الإنزيم وحده. وقد أظهرت دراسات الهندسة الأيضية أن إعادة توجيه التدفقات نحو acetoin وbutanediol-2,3 تعتمد دائمًا على توازن شبكة كاملة من المسارات، لا على خطوة منفردة بمعزل عن السياق [3].

القيمة الثالثة هي **إدارة المخاطر الحسية**. في منتجات تكون حساسة جدًا لأي طابع زبدي، قد يكون تقليل تكوّن diacetyl أكثر أهمية من تقليل زمن النضج وحده. فحتى عندما لا يكون الزمن هو المشكلة الرئيسية، يمكن للإنزيم أن يساعد في جعل الوصول إلى ملف حسي نظيف أكثر قابلية للتكرار.

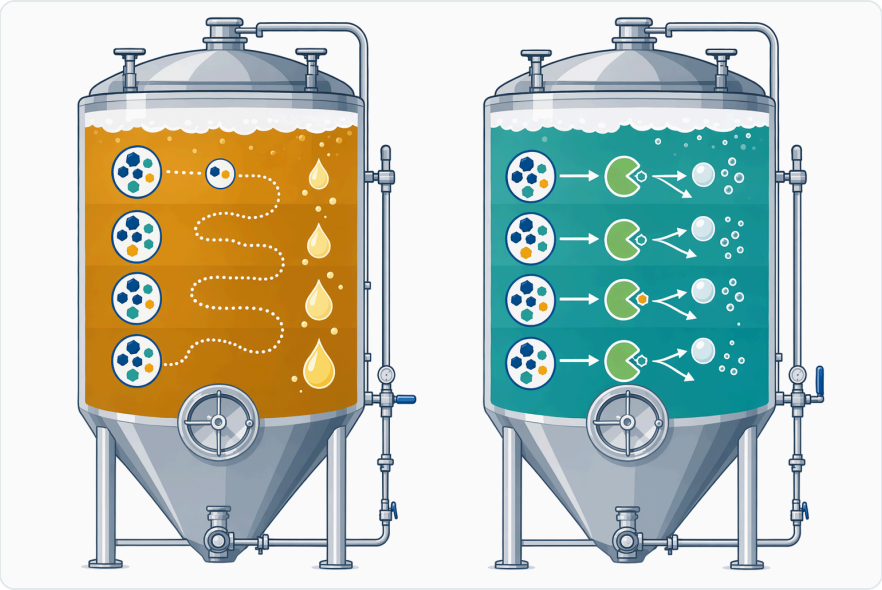

Figure 4. 양조 연구들은 발효 중 ALDC 활성을 활용하면 다이아세틸로 이어지는 경로를 줄일 수 있음을 뒷받침한다.

العوامل التي تؤثر في النتيجة العملية

تتأثر فعالية ALDC بعدة متغيرات تشغيلية دون الحاجة إلى اختزالها في رقم واحد. من أهمها تركيب الوسط المخمر، وحيوية الخميرة، وتوازن المغذيات، وتوقيت تطبيق الإنزيم داخل العملية، ومستوى إنتاج α-acetolactate أصلًا. إذا كان إنتاج السلف منخفضًا جدًا، فقد تكون الفائدة الحسية محدودة. وإذا كانت المشكلة الحسية من مصدر آخر، فلن يكون استهداف α-acetolactate كافيًا.

كما أن اختلاف المصفوفات الغذائية يهم. البيرة ليست بيئة واحدة؛ فالاختلاف بين الأنماط والمواد الخام والخمائر يمكن أن يغير تكوين المركبات الوسيطة. وفي المشروبات المخمرة الأخرى، قد يكون وجود مسار α-acetolactate/diacetyl مهمًا، لكن مدى الفائدة يحتاج إلى فهم سياق المنتج. لذلك يُوصف استخدام ALDC خارج البيرة بأنه ممكن من حيث الآلية، لكنه مشروط بالتحقق داخل العملية الفعلية. الأبحاث على كائنات صناعية مختلفة لإنتاج acetoin وbutanediol-2,3 تبيّن أن نفس المسارات قد تتصرف بطرق مختلفة باختلاف المضيف والوسط [5].

استخدامه في المشروبات المخمرة غير البيرة

يمكن من حيث المبدأ استخدام ALDC في أي تخمير غذائي تكون فيه إدارة diacetyl مرتبطة بجودة المنتج. ومع ذلك، فإن قوة الدليل التطبيقي تختلف بين البيرة وغيرها من المشروبات المخمرة. في بعض المنتجات قد يكون diacetyl جزءًا من الملف الحسي المرغوب بكمية محدودة، بينما يكون عيبًا واضحًا في منتجات أخرى. لذلك لا ينبغي افتراض أن خفضه دائمًا هدف إيجابي في كل تطبيق.

الأكثر دقة هو القول إن ALDC مناسب عندما يكون **α-acetolactate precursor control** جزءًا من استراتيجية الجودة. فإذا كان المنتج يتطلب ملفًا نظيفًا وخاليًا من الطابع الزبدي، يصبح الإنزيم أداة منطقية. أما إذا كان diacetyl مقبولًا أو مطلوبًا بدرجة ما، فينبغي أن يتماشى الاستخدام مع هدف المنتج. هذا التمييز بين المسار والهدف الحسي النهائي مهم لأن مسارات acetoin وbutanediol-2,3 تُستغل بطرق مختلفة تبعًا للمنتج الصناعي المطلوب [7].

قراءة الدليل العلمي دون مبالغة

يدعم الدليل العلمي وظيفة ALDC بوضوح على مستوى الآلية: تحويل α-acetolactate إلى acetoin. كما تدعم بحوث التخمرات الصناعية أهمية هذا المسار في إنتاج acetoin وbutanediol-2,3 عبر كائنات مثل الخمائر والبكتيريا. لكن هذا لا يعني أن كل تركيبة تجارية، أو كل عملية تخمير، أو كل مشروب مخمر سيعطي النتيجة نفسها. الفارق بين "ثبوت الآلية" و"ضمان النتيجة العملية" يجب أن يبقى واضحًا في أي وثيقة تقنية مسؤولة.

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

تؤكد الدراسات التي تناولت إنتاج butanediol-2,3 في *Saccharomyces cerevisiae* المعدلة، وفي كائنات أخرى، أن تحسين النواتج يعتمد على هندسة المسار، وتوازن الكربون، والظروف التشغيلية. هذه الأدبيات مفيدة لفهم أهمية فرع acetolactate/acetoin، لكنها ليست بديلًا عن تقييم العملية الغذائية الخاصة بكل مصنع [2].

حدود ما يستطيع ALDC فعله

لا يعالج ALDC مشكلات مثل الأكسدة، أو التلوث الميكروبي، أو ضعف المواد الخام، أو عيوب التعبئة، أو اختلالات النكهة الناتجة عن مركبات غير مرتبطة بـ α-acetolactate. كما أنه لا يغني عن إدارة الخميرة، أو تصميم التخمير، أو مراقبة الجودة. إنزيم ALDC يركّز على نقطة محددة: تقليل المسار المؤدي إلى diacetyl من خلال تحويل السلف إلى acetoin.

كذلك لا ينبغي النظر إلى الإنزيم كوسيلة لإخفاء عيوب عملية جوهرية. إذا كانت الخميرة غير صحية أو كان التخمير غير مستقر، فقد تظهر مشكلات أخرى حتى مع انخفاض diacetyl. القيمة الحقيقية للإنزيم تظهر عندما يكون جزءًا من نظام مضبوط أصلًا، لا عندما يستخدم لتعويض ضعف عام في العملية. وتظهر بحوث الإنتاج الحيوي أن تحسين مسار acetoin أو butanediol-2,3 يكون أكثر نجاحًا عندما يُدمج مع فهم شامل لشبكة الأيض والظروف، لا عندما يُنظر إلى خطوة واحدة بوصفها الحل الكامل [4].

اعتبارات السلامة والامتثال في الاستخدام الغذائي

بما أن المنتج غذائي وموجه للتخمير، يجب التعامل معه وفق ممارسات السلامة الداخلية الخاصة بالإنزيمات والمواد المساعدة في التصنيع. الإنزيمات، حتى عندما تكون مخصصة للغذاء، تُدار عادةً بإجراءات تمنع التعرض غير الضروري للمساحيق وتحافظ على نظافة منطقة الإنتاج. لا يتطلب ذلك تحويل وثيقة المنتج إلى دليل اختبار أو

بروتوكول مختبري، لكنه يعني ضرورة الرجوع إلى وثائق السلامة المرفقة مع الطلب.

تُرفق Enzymes.bio مع الطلب وثائق مثل **Certificate of Analysis — CoA** و**Safety Data Sheet — SDS**، وهي وثائق مساندة تساعد فرق الجودة والسلامة على إدخال المنتج ضمن نظامهم الداخلي. ولا ينبغي تفسير وجود هذه الوثائق على أن Enzymes.bio مختبر أو جهة تصنيع؛ فهي مورد يتيح المنتج للشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة 1kg .

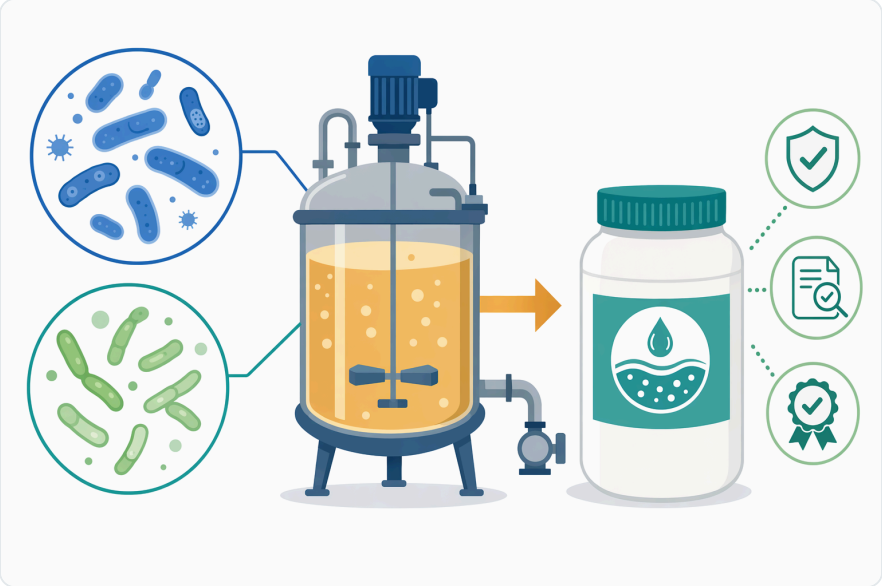

Figure 6. ALDC는 미생물, 생산, 구조 및 안전성 평가 문헌으로 뒷받침되는 확립된 식품 효소 범주이다.

معلومات منتج Enzymes.bio

توفر Enzymes.bio منتج **Alpha-Acetolactate Decarboxylase Food Grade Powder** لتطبيقات صناعة البيرة والتخمير. المنتج متاح للشراء المباشر عبر الإنترنت بوحدة **1kg**، وتُستكمل معالجة الطلب بعد الدفع الإلكتروني وفق نموذج البيع المعروض في صفحة المنتج. هذا مناسب للفرق الفنية التي تحتاج إلى إنزيم غذائي مخصص لمسار diacetyl دون الدخول في إجراءات توريد مخصصة أو طلبات تفاوضية .

من المهم أيضًا أن تُقرأ صفحة المنتج مع الوثائق المرفقة، لا بوصفها بديلًا عن نظام الجودة الداخلي. فالمستخدم الصناعي هو من يحدد ملاءمة الإنزيم لمنتجه النهائي وظروفه ومتطلبات السوق الذي يعمل فيه. دور Enzymes.bio هنا هو توريد المنتج والوثائق المصاحبة، بينما تبقى قرارات التطبيق والامتثال ضمن مسؤولية الجهة المستخدمة.

الخلاصة الفنية

إنزيم **Food Grade α-Acetolactate Decarboxylase** هو أداة إنزيمية موجهة لإدارة واحدة من أكثر مشكلات التخمير حساسية: تكوّن **diacetyl** من السلف **α-acetolactate**. يعمل ALDC عبر تحويل هذا السلف مباشرة إلى **acetoin**، وبذلك يقلل المسار المؤدي إلى النكهة الزبدية غير المرغوبة ويدعم نضجًا أسرع وأكثر قابلية للتنبؤ في

صناعة البيرة.

تستند أهمية الإنزيم إلى آلية محددة ومدعومة بسياق بحثي أوسع حول مسارات acetoin وbutanediol-2,3 في التخمرات الصناعية. ومع ذلك، يجب استخدامه ضمن نظام إنتاج مضبوط، لأنه لا يعالج كل عيوب النكهة ولا يلغي أثر الخميرة والمواد الخام وظروف التخمير. تورّد Enzymes.bio المنتج كمسحوق غذائي لتطبيقات التخمير، متاحًا عبر الإنترنت بوحدة 1kg مع CoA وSDS مرفقتين بالطلب .

اطلب Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase عبر الإنترنت

يُباع بوحدة 1 kg، وهو متوفر في المخزون وجاهز للشحن. اطلب مباشرة من متجرنا — ادفع عبر الإنترنت وسنعالج طلبك. تُرفق شهادة التحليل ونشرة بيانات السلامة مع كل طلب.

اشترِ Food Grade A-Acetolactate Decarboxylase →

المراجع

مرقّمة حسب ترتيب أول اقتباس. مصادر مفتوحة الوصول، تم التحقق من إتاحتها عند النشر؛ وترتبط أرقام الاستشهاد في النص هنا.

1. Guo-yan, Z. (2004). Synthesis of α-acetolactic Acid, and Identification and Selection of α-acetolactate Decarboxylase Producing Bacterium. *Journal of Sichuan Normal University*.
2. Lian, J., Chao, R., & Zhao, H. (2014). Metabolic engineering of a Saccharomyces cerevisiae strain capable of simultaneously utilizing glucose and galactose to produce enantiopure (2R,3R)-butanediol.. *Metabolic Engineering*, 23, 92-9 .
3. Li, S., Gao, X., Xu, N., Liu, L., & Chen, J. (2014). Enhancement of acetoin production in Candida glabrata by in silico-aided metabolic engineering. *Microbial Cell Factories*, 13, 55 - 55.
4. Radoš, D., Carvalho, A. L., Wieschalka, S., Neves, A., Blombach, B., Eikmanns, B., & Santos, H. (2015). Engineering Corynebacterium glutamicum for the production of 2,3-butanediol. *Microbial Cell Factories*, 14.
5. Sheng, L., Madika, A., Lau, M. S. H., Zhang, Y., & Minton, N. (2023). Metabolic engineering for the production of acetoin and 2,3-butanediol at elevated temperature in Parageobacillus thermoglucosidasius NCIMB 11955. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
6. Zhou, J., Lian, J., & Rao, C. V. (2020). Metabolic engineering of Parageobacillus thermoglucosidasius for the efficient production of (2R, 3R)-butanediol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 4303 - 4311.
7. Zheng, M., Cui, Z., Zhang, J., Jing-Fu, Wang, Z., & Chen, T. (2023). Efficient acetoin production from pyruvate by engineered Halomonas bluephagenesis whole-cell biocatalysis. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 17, 425-436.
8. Wang, K., Wang, X., Zhang, E., Yang, H., Caiyin, Q., Wen, M., & Qiao, J. (2025). Untreated molasses efficiently Enhances 2,3-Butanediol synthesis using engineered Aureobasidium melanogenum P8AC-4.. *Bioresource*

. *Technology*, 133776

9. Seong-Park, Sohn, Y., Park, S., & Jong-Choi (2020). Enhanced Production of 2,3-Butanediol in Recombinant Escherichia coli Using Response Regulator DR1558 Derived from Deinococcus radiodurans. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 25, 45 - 52.

تواصل مع Enzymes.bio

هل لديك أسئلة حول طلب؟ يسرّ فريقنا مساعدتك.

البريد الإلكتروني **wholesale@enzymes.bio** الهاتف (الولايات المتحدة) **+1 (507) 428-6057** **تواصل معنا →**

+400 عملاء B2B **+60** شركاء بحثيون جامعيون **54** نخدم العملاء حول العالم

© 2026 Enzymes.bio · توريد إنزيمات صناعية & لمعالجة الأغذية · غير مخصص للاستهلاك البشري أو البيع بالتجزئة.