

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2：家畜・家禽飼料のリン利用性改善に使う耐熱性フィターゼ

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

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2は、トウモロコシ、大豆粕、小麦副産物などの植物性飼料原料に含まれるフィチン酸塩を加水分解し、動物が利用しやすいリンを放出するための飼料用フィターゼです。耐熱性が重視されるのは、ペレット加工の加熱・蒸気・圧力で酵素活性が低下し得るためで、家禽、豚、養殖飼料などの植物性原料主体の配合で実務的な意味を持ちます^[1]。Enzymes.bioは本品の供給業者であり、製造業者または研究所としてではなく、1 kg単位でオンライン直接購入できる飼料関連用途向け酵素として提供しています。

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2の位置づけ

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2は、植物原料中のフィチン酸態リンを有効利用するための外因性フィターゼです。飼料中の総リン量を増やす添加物ではなく、すでに原料中に存在するものの単胃動物では利用されにくいリンを、消化管内で吸収されやすい形へ変換する酵素として理解するのが正確です。Enzymes.bioの製品ページでも、家畜飼料向けの耐熱性フィターゼとして、植物性飼料原料中のフィチン酸分解と栄養利用性の改善を主目的に位置づけています。

フィターゼの基質であるフィチン酸、すなわちミオイノシトール六リン酸は、植物種子におけるリン貯蔵形態です。家禽や豚のような単胃動物は、反芻動物と異なり、消化管内でフィチン酸態リンを十分に分解する能力が限られるため、植物性原料のリン含量が高くても実際の利用率は制約されます。採卵鶏を対象にした研究でも、リンおよびカルシウムが制限された飼料にフィターゼを補うことで、栄養利用と生産成績の改善が検討されています^[2]。

「耐熱性」という表現は、飼料製造工程における酵素の実用性と関係します。商業飼料ではペレット化、コンディショニング、乾燥などで熱履歴を受けるため、フィターゼが基質に到達する前に構造変性を起こすと、フィチン酸分解の効果が弱まります。熱安定性を高める技術としては、キメラ酵素設計、リンカー支援型の酵素工学、固定化、架橋凝集体、カプセル化などが研究されており、飼料用酵素において熱耐性が重要な開発課題であることを示しています^[3]。

フィチン酸が飼料設計で問題になる理由

フィチン酸態リンは「含まれているが使いにくいリン」である

植物性飼料原料では、リンの相当部分がフィチン酸塩として貯蔵されています。トウモロコシ、小麦、大豆粕、ふすま、油粕、米ぬかなどは配合飼料の主要原料ですが、そこに含まれるリンがすべて家禽や豚に利用されるわけではありません。フィターゼ添加の基本的な価値は、無機リンを外から単純に増やすのではなく、この「利用されにくい内在リン」を消化可能なリンへ変える点にあります^[4]。

豚では、低リン・低カルシウム設計や栄養密度を調整した飼料において、フィターゼが栄養消化率、フィチン酸消失、成長効率と関連して評価されています。離乳期から肥育期までの豚では、飼料摂取量、腸管発達、骨ミネラル化、糞中リン排出が栄養設計の実務課題となり、外因性フィターゼはその複数の要素にまたがって作用し得る酵素です^[5]。

養殖飼料でも同様の課題があります。魚粉依存を抑え、植物性タンパク質の比率を高めると、フィチン酸によるリン利用性の低下やミネラル結合の影響が問題になります。ナイルティラピアの研究では、フィターゼ補給が成長成績、腸管形態、代謝に及ぼす影響が検討されており、水産飼料においてもフィチン酸分解が栄養改善の技術要素として扱われています^[6]。

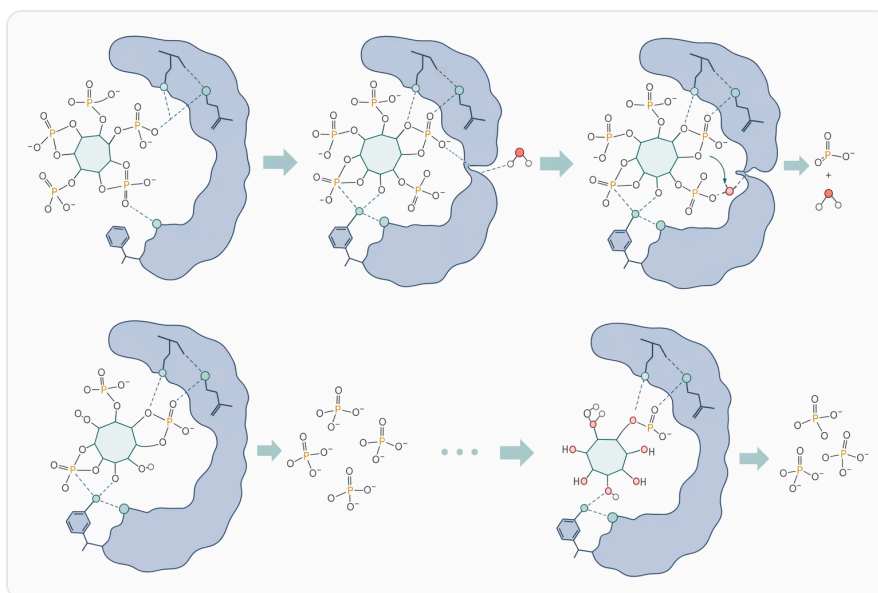


Figure 1. 피타아제는 피테이트의 인산 에스터 결합을 가수분해하여 IP6를 저차 이노시톨 인산으로 전환하고 무기 인산을 방출합니다.

フィチン酸はリンだけでなくミネラルとタンパク質利用にも影響する

フィチン酸は負電荷をもつリン酸基を複数持つため、カルシウム、鉄、亜鉛、マグネシウムなどの陽イオンと結合しやすく、難溶性複合体を形成します。この結合は、リンそのものだけでなく、ミネラルの吸収性やタンパク質・アミノ酸の消化性にも波及し得ます。植物性タンパク質を多く含むアメリカザリガニ飼料の研究では、フィターゼ補給が成長、リン利用、抗酸化、消化に関連して評価されており、フィチン酸分解が単なるリン放出にとどまらないことが示されています^[7]。

家禽では、カルシウムとリンのバランスが骨発達、脚弱、卵殻形成、飼料効率に直結します。ブロイラーを対象にしたカルシウム・リン不足飼料の研究では、フィターゼおよび25-ヒドロキシコレカルシフェロール補給が、成長成績、体組成、骨発達、腸管健康に及ぼす影響として検討されています。これは、フィターゼの実用効果がリン単独ではなく、カルシウム代謝や腸管状態と連動して評価されることを示しています^[8]。

作用機序：フィターゼはフィチン酸を段階的に脱リン酸化する

フィターゼは、フィチン酸分子上のリン酸エステル結合を加水分解し、無機リン酸を段階的に遊離させます。反応は一段階で完了するのではなく、ミオイノシトール六リン酸から五リン酸、四リン酸、三リン酸といった低リン酸化イノシトールへ進み、同時に利用可能なリン酸が放出されます。飼料用フィターゼでは、この反応が動物の消化管通過時間内にどれだけ進むかが、栄養学的な効果に関係します^[9]。

この脱リン酸化が進むと、フィチン酸が保持していたカルシウムやその他ミネラルの結合状態も変化します。特にカルシウム濃度が高い飼料では、フィチン酸カルシウム複合体が形成されやすく、フィターゼの作用部位への到達性や基質溶解性に影響する場合があります。そのため、フィターゼは「リンを放出する酵素」であると同時に、「フィチン酸による抗栄養的な結合ネットワークを弱める酵素」として捉える必要があります^[8]。

消化管内での作用には、pH環境も関与します。胃または筋胃に相当する酸性環境で基質へ作用し、続く小腸でリンおよびミネラルが吸収される流れが想定されるため、酸性域での安定性と反応性は飼料用フィターゼの重要な性質です。低pHでのフィチン酸分解を改善するための架橋フィターゼ凝集体に関する研究は、酸性条件での活性保持が飼料用途における実用課題であることを示しています^[10]。

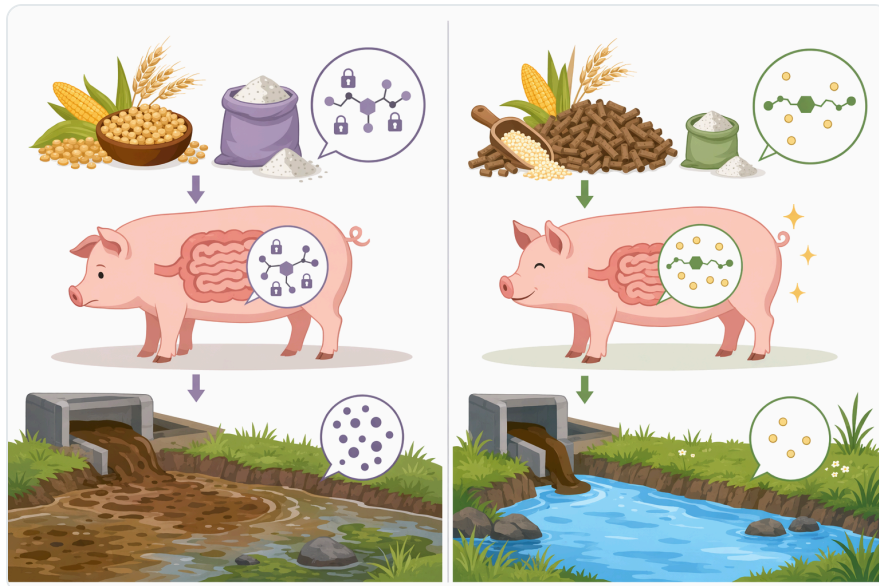


Figure 2. 온전한 피테이트는 인을 묶어 두고 미네랄을 킬레이트화하는 반면, 피타아제로 처리한 사료에는 흡수 가능한 인산과 전하가 낮은 이노시톨 인산이 더 많이 포함됩니다.

耐熱性が重要になる工程上の背景

ペレット加工では熱、蒸気、水分、圧力が同時にかかる

配合飼料のペレット化では、原料を蒸気でコンディショニングし、圧縮成形し、冷却する工程が一般的です。この過程で酵素は熱だけでなく、水分、せん断、圧力、局所的な温度上昇にさらされます。タンパク質であるフィターゼは、立体構造が崩れると基質結合部位や触媒部位が機能しにくくなるため、製造工程後の残存性が飼料中での実効性に影響します^[1]。

耐熱性フィターゼの開発研究では、アミノ酸配列の改変、ドメイン融合、リンカー設計などにより、熱に対する構造安定性を改善するアプローチが検討されています。キシラナーゼとフィターゼを組み合わせたキメラ酵素の研究では、リンカー支援型設計によって飼料酵素の熱耐性改善がテーマとなっており、酵素機能と加工安定性の両立が実用上の焦点であることがわかります^[1]。

一方で、「耐熱性」は無制限の耐熱を意味しません。酵素の残存性は、加工温度、保持時間、水分、ペレット径、配合中の脂質やミネラル、酵素の製剤化状態によって変わります。新規酸性フィターゼの熱安定性を改善する研究でも、酸性域での反応性と熱安定性は別々に評価される特性であり、飼料工程では両方を考慮する必要があります^[11]。

加工安定性を補う技術は「製品性能の保証」ではなく研究領域の根拠である

近年は、フィターゼを金属有機構造体に封入して安定性と制御放出性を高める研究や、架橋凝集体として低pH分解性を高める研究が報告されています。これらは、飼料用フィターゼにおいて熱、酸、消化酵素、貯蔵中の失活を抑えることが重要な技術課題であることを示しますが、個別の市販品が同じ処方・構造を持つことを意味するものではありません^[3]。

したがって、Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2を理解する際には、「フィターゼとしての確立した機序」と「耐熱性が必要とされる工程上の理由」を分けて考えることが重要です。前者はフィチン酸加水分解という酵素反応であり、後者はその反応能力を飼料加工後まで維持するための実用特性です。Enzymes.bioは本品を供給する立場であり、研究機関として特定研究の結果を本品に直接外挿するものではありません。

動物種別に見た実用上の意味

対象飼料・動物	フィチン酸に関連する主な課題	フィターゼに期待される役割	研究上の評価項目例
ブロイラー・採卵鶏	植物性原料由来リンの利用制限、カルシウム・リンバランス、骨発達	フィチン酸態リンの分解、リン・カルシウム利用性の改善	成長、産卵、骨発達、腸管健康、栄養利用
豚	単胃動物でのフィチン酸分解不足、糞中リン排出、骨ミネラル化	リン消化率の改善、無機リン依存の低減、栄養密度設計の補助	成長効率、消化率、フィチン酸消失、骨指標
養殖魚・甲殻類	植物性タンパク質増加に伴うリン・ミネラル利用性低下	植物原料の栄養価改善、リン利用性の向上	成長、リン蓄積、消化、腸管形態、抗酸化指標
高植物性原料配合	フィチン酸によるミネラル結合、タンパク質利用への影響	抗栄養作用の緩和、飼料設計の柔軟性向上	栄養消化率、飼料効率、排泄リン

家禽飼料：リン利用、骨発達、産卵成績の文脈

家禽飼料では、トウモロコシ・大豆粕型配合や小麦副産物を含む配合が広く用いられます。これらの植物性原料はエネルギーとタンパク質源として有用ですが、フィチン酸態リンが多い場合、無機リンの追加が必要になりやすく、過剰な未利用リンは排泄に回ります。採卵鶏を対象にした研究では、エネルギー、リン、カルシウムが制限された飼料へのTrichoderma reesei由来フィターゼ補給が、生産成績と栄養利用に関連して評価されています^[2]。

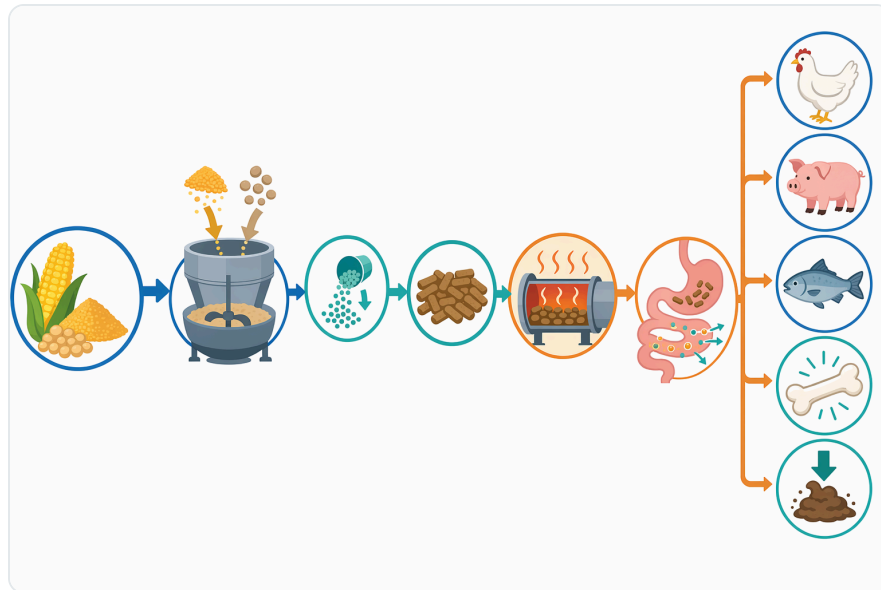


Figure 3. 피테이트 인의 효과적인 방출은 효소가 접근 가능한 피테이트와 접촉하고, 활성을 지속하며, 사료의 수화와 소화 과정을 거쳐 반응이 진행되는 데 달려 있습니다.

ブロイラーでは、成長速度が速く、骨格形成に対するカルシウム・リン供給の影響が大きいため、フィターゼの位置づけは特に明確です。カルシウム・リン不足飼料を与えたブロイラーの研究では、フィターゼ補給の有無に加え、Eimeriaチャレンジ下での腸管健康や骨発達も検討されており、疾病ストレスや腸管状態がフィターゼ応答に影響し得ることを示しています^[8]。

また、小麦ふすまベース飼料のように非デンプン性多糖やフィチン酸を含む副産物が多い場合、外因性酵素の組み合わせが栄養利用に関与します。二目的採卵鶏を対象にした研究では、外因性酵素補給が血液生化学指標や抗酸化状態と関連して評価されており、フィターゼを含む酵素利用は栄養吸収だけでなく代謝状態の観点からも検討されています^[12]。

豚用飼料：離乳期から肥育期までの栄養効率

豚用飼料では、フィターゼはリン消化率を高める酵素として長く利用されてきました。特に離乳期の子豚では、消化管が発達途上で飼料変化によるストレスを受けやすく、フィチン酸によるミネラル結合やタンパク質利用性低下が問題になりやすい時期です。低カルシウム・低可消化リン飼料に6-フィターゼを補給した研究では、栄養消化率、フィチン酸消失、成長効率が評価されています^[5]。

肥育豚では、飼料費と排泄リン管理の両面でフィターゼの意義があります。成長・仕上げ期の豚を対象にした研究では、マルチカルボヒドラーゼとフィターゼの複合補給が、栄養消化率、成長成績、骨ミネラル化に及ぼす影響として検討されています。これは、フィターゼが単独でリンに作用するだけでなく、炭水化物分解酵素と併用される実務的文脈を示しています^[4]。

低アミノ酸設計や高用量フィターゼを含む飼料にプロテアーゼを加える研究では、成長成績、離乳後の腸管健康、と体特性が評価されています。こうした研究は、フィターゼの効果がリン放出だけで完結せず、アミノ酸密度、タンパク質分解、腸管の状態、飼料全体の栄養設計に左右されることを示すものです^[13]。

養殖飼料：植物性タンパク質利用とリン排出

養殖飼料では、魚粉代替として大豆粕、菜種粕、綿実粕、穀物副産物などの植物性原料を増やす流れがあります。この場合、フィチン酸がリン利用性を下げるだけでなく、ミネラルやタンパク質の利用にも影響するため、フィターゼ添加は原料利用の柔軟性を高める手段として検討されます。赤色湿地ザリガニを対象とした高植物性タンパク質飼料の研究では、フィターゼ補給が成長、リン利用、抗酸化、消化に関して評価されています^[7]。

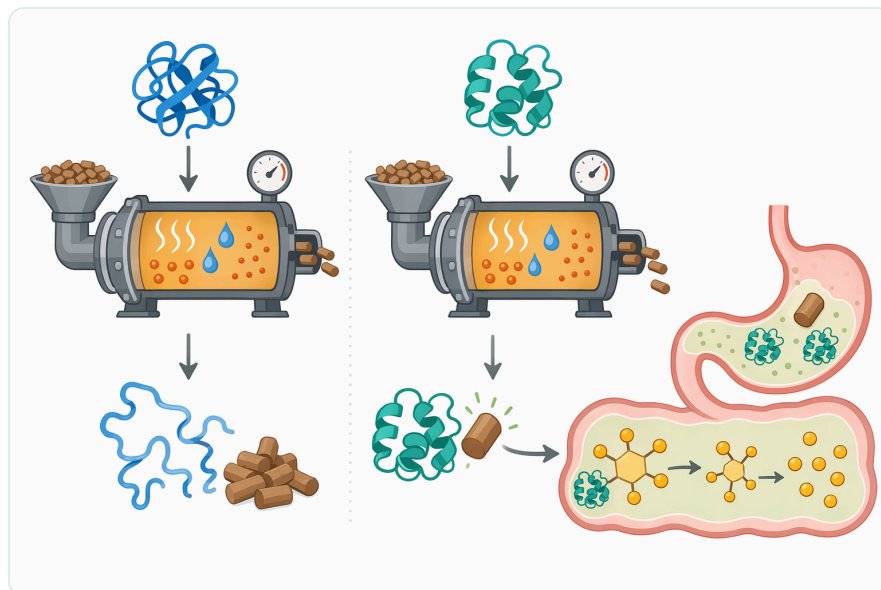


Figure 4. 내열성은 사료 가공 스트레스 동안 피타아제 구조를 보존하는 데 도움이 되어 소화 과정에서도 활성이 유지될 수 있게 합니다.

ナイルティラピアでは、フィターゼ補給が成長成績、腸管形態、代謝に与える影響が研究されています。魚種ごとに胃の有無、消化管pH、摂餌様式、飼料通過時間が異なるため、家禽や豚の知見をそのまま養殖魚へ当てはめることはできませんが、植物性原料のフィチン酸を分解するという酵素機序は共通しています^[6]。

フィターゼと他の飼料用酵素の違い

フィターゼは、飼料用酵素の中でも「リンとミネラル利用」に直接関わる点で特徴的です。キシラーナーゼや β -マンナーゼは主に非デンプン性多糖の分解、プロテアーゼはタンパク質分解、カルボヒドラーゼは繊維・多糖の利用性改善を狙います。一方、フィターゼはフィチン酸のリン酸エステ

ル結合を標的とし、リン放出と抗栄養作用の緩和を同時に狙う酵素です^[14]。

酵素カテゴリ	主な標的	飼料中での主目的	フィターゼとの関係
フィターゼ	フィチン酸塩	リン放出、ミネラル利用性改善、フィチン酸の抗栄養作用緩和	本品の中心機能
プロテアーゼ	飼料タンパク質	アミノ酸利用性、未消化タンパク質低減	低アミノ酸設計や高フィターゼ設計と併用研究あり
キシラナーゼ	アラビノキシランなど	粘性低減、エネルギー利用改善	小麦・ふすま系配合で補完的
β -マンナーゼ	β -マンナン	腸管粘性・免疫刺激の軽減、栄養利用改善	大豆粕を含む配合で別標的
マルチカルボヒドラーゼ	複数の非デンプン性多糖	繊維性成分の分解、栄養消化率改善	フィターゼ複合酵素として評価される場合あり

β -マンナーゼを用いたブロイラー研究では、標準または中程度に低タンパク質化した飼料で、栄養利用と成長成績が評価されています。これはフィターゼ研究ではありませんが、飼料用酵素がそれぞれ異なる基質を持ち、飼料設計全体の中で役割分担することを理解するうえで有用です^[14]。

プロテアーゼを成長豚に用いた研究では、高栄養密度・低栄養密度飼料で成長成績や環境負荷低減が評価されています。フィターゼはリン、プロテアーゼはタンパク質というように、外因性酵素の目的を混同せず、配合上の制約に応じて機能を整理することが重要です^[15]。

期待できる効果と、過度に一般化すべきでない点

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2に期待される中心的な効果は、植物性原料中のフィチン酸態リンを分解し、リン利用性を高めることです。この結果として、配合設計上は無機リン源への依存を抑えたり、糞中に排出される未利用リンを低減したりする方向に働く可能性があります。成長・仕上げ豚の研究では、フィターゼを含む酵素複合体の補給により、栄養消化率、成長、骨ミネラル化が評価対象となっています^[4]。

ただし、効果の大きさは一定ではありません。飼料中のフィチン酸量、カルシウムとリンの比率、ビタミンD関連栄養、動物の年齢、健康状態、腸管pH、飼料加工条件、他の酵素との併用によって応答は変わります。ブロイラーにおけるEimeriaチャレンジ研究のように、腸管ストレスが存在する条件では、同じ栄養設計でも成長、腸管健康、骨発達への反応が変化し得ます^[8]。

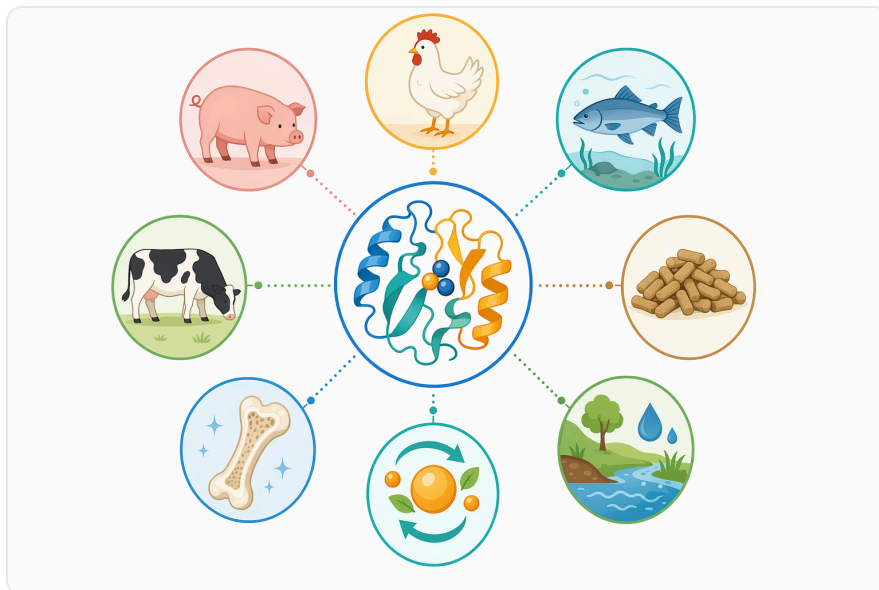


Figure 5. 피타아제는 피테이트가 풍부한 식물성 원료를 포함하고 내인성 피테이트 분해가 제한적인 가금류, 돼지 및 양식용 사료와 관련이 있습니다.

また、フィターゼは万能な「成長促進剤」ではありません。リンがすでに十分に利用可能な形で供給されている配合、フィチン酸が少ない配合、加工中に酵素が大きく失活する条件、またはカルシウム過多によりフィチン酸塩が難溶化する条件では、期待される反応が小さくなる場合があります。新規酸性フィターゼや耐熱性フィターゼの研究が継続しているのは、こうした実用条件で安定して働く酵素が求められているためです^[11]。

Enzymes.bioでの提供形態と文書管理

Enzymes.bioは、Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2を供給する販売事業者であり、製造業者または研究所として本品を提示するものではありません。本品は飼料関連用途向けの耐熱性フィターゼとしてオンラインで1 kg単位から直接購入でき、注文処理に合わせてCoAおよびSDSが提供されます。

CoAは受領ロットに関する品質文書として、SDSは保管、取り扱い、輸送、安全教育に関する基本文書として利用できます。酵素はタンパク質性物質であるため、一般的には粉じんの吸入、皮膚・眼への接触、湿気、直射日光、過度な熱を避ける取り扱いが重要です。具体的な保管・安全情報は、注文時に提供されるSDSおよび製品文書に従って管理してください。

本品の利用文脈は、家畜、家禽、養殖などの飼料関連用途です。人の摂取を目的とする製品ではなく、一般消費者向けの小売食品・サプリメントとして扱うものでもありません。飼料用酵素としての価値は、植物性原料主体の配合で、フィチン酸態リンの利用性を改善し、栄養設計と環境負荷低減を支援する点にあります。

科学的根拠をどう読むべきか

フィターゼに関する根拠のうち、もっとも強いのは作用機序そのものです。すなわち、フィターゼがフィチン酸を加水分解し、無機リン酸を放出すること、単胃動物ではフィチン酸態リンの利用が制限されること、植物性原料主体の飼料で外因性フィターゼが栄養利用性改善に使われることは、多くの動物種で繰り返し検討されています^[9]。

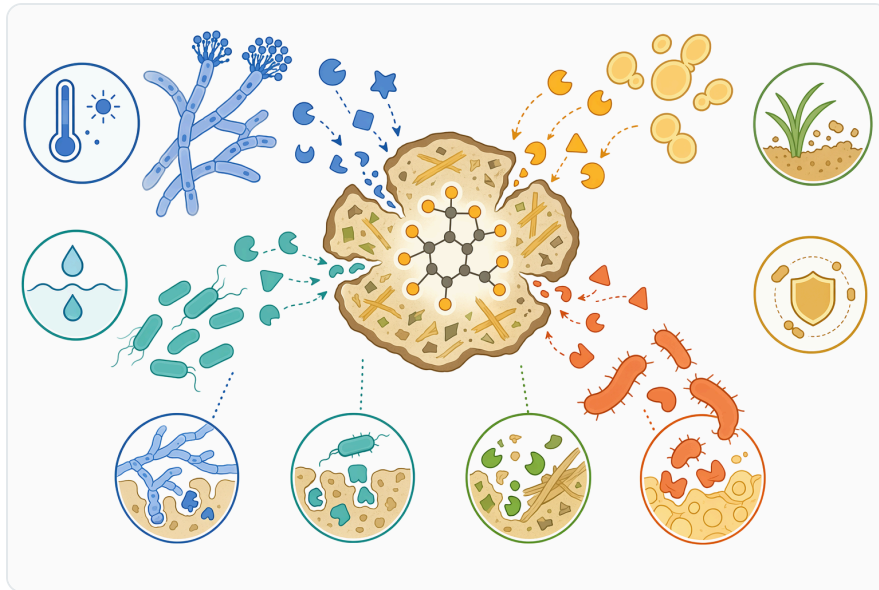


Figure 6. 상업용 및 실험용 피타아제는 안정성과 pH 거동 특성이 서로 다른 다양한 미생물에서 유래합니다.

次に実用上重要なのは、対象動物別の応答です。採卵鶏、ブロイラー、豚、ザリガニ、ティラピアなどで、フィターゼ補給が成長、生産、リン利用、骨発達、腸管健康、代謝、抗酸化指標と関連して評価されています。ただし、これらの研究はそれぞれ飼料設計、酵素由来、動物種、飼育条件が異なるため、特定の市販製品のすべての使用条件に同一の結果を保証するものではありません^[2]。

最後に、耐熱性や酸性安定性に関する研究は、飼料用フィターゼの設計思想を理解するための根拠です。カプセル化、架橋凝集体、キメラ酵素、酸性フィターゼの熱安定化といった研究は、加工工程と消化管条件の両方に耐える酵素が求められていることを示します。一方で、これらは技術領域の研究であり、Enzymes.bioが供給する本品を製造研究したデータとして扱うべきではありません^[10]。

まとめ：未利用リンを飼料価値へ変える耐熱性フィターゼ

Thermostable Phytase Enzyme Livestock CAS 9001-89-2は、植物性飼料原料中のフィチン酸態リンを分解し、家禽、豚、養殖などの飼料でリン利用性を高めることを目的とする耐熱性フィターゼです。フィターゼの中核機能は、フィチン酸のリン酸エステル結合を加水分解して無機リン酸を放

出し、同時にフィチン酸によるミネラル結合や抗栄養作用を緩和する点にあります^[7]。

耐熱性が重視されるのは、商業飼料のペレット加工で熱、蒸気、圧力が加わり、酵素の立体構造と活性が影響を受けるためです。熱安定性、酸性域での作用、消化管条件への適合性は、フィターゼが飼料中で実際に働くための重要な要素であり、この分野では酵素工学や製剤化技術の研究が進められています^[1]。

Enzymes.bioは本品を供給業者として提供しており、1 kg単位でオンライン直接購入できます。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されるため、飼料関連用途での受領記録、安全管理、文書保管に利用できます。誇張なく言えば、本品は「リンを足す添加物」ではなく、「植物性原料に存在するが利用されにくいリンを、動物が使える栄養へ変換するための酵素」です。

Thermostable Phytase Enzyme Livestock Cas 9001-89-2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。

[Thermostable Phytase Enzyme Livestock Cas 9001-89-2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. Patel, D., Rawat, R., Sharma, S., Shah, K., Borsadiya, N., & Dave, G. (2023). Linker-assisted engineering of chimeric xylanase-phytase for improved thermal tolerance of feed enzymes. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 42, 8114 - 8124.
2. Pirzado, S. A., Liu, G., Purba, M. A., & Cai, H. (2024). Enhancing the Production Performance and Nutrient Utilization of Laying Hens by Augmenting Energy, Phosphorous and Calcium Deficient Diets with Fungal Phytase (Trichoderma reesei) Supplementation. *Animals*, 14.
3. Weng, Y., Xu, X., Yan, P., You, J., Chen, X., Song, H., & Zhao, C. (2024). Enzyme encapsulation in metal-organic frameworks using spray drying for enhanced stability and controlled release: A case study of phytase. *Food Chemistry*, 452, 139533 .
4. Chen, F., Yang, L., Zhe, L., Jilali, M., Zhuo, Y., Jiang, X., Huang, L., ... et al. (2023). Supplementation of a Multi-Carbohydrase and Phytase Complex in Diets Regardless of Nutritional Levels, Improved Nutrients

- Digestibility, Growth Performance, and Bone Mineralization of Growing–Finishing Pigs. *Animals*, 13.
5. Jlali, M., Ozbek, S., & Devillard, E. (2024). 54 Effects of a new biosynthetic 6-phytase supplementation on nutrient digestibility, phytate disappearance and growth efficiency in weaning piglets fed low in calcium and digestible phosphorus diets. *Journal of Animal Science*.
 6. Negm, A., Abo-Raya, M. H., Gabr, A. M., Baloza, S. H., El-Nokrashy, A., Prince, A., Arana, D., ... et al. (2024). Effects of phytase enzyme supplementation on growth performance, intestinal morphology and metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of animal physiology and animal nutrition*.
 7. Yang, W., Zhi-Gu, Chen, X., Gao, W., Wen, H., Wu, F., & Tian, J. (2022). Effects of phytase supplementation of high-plant-protein diets on growth, phosphorus utilization, antioxidant, and digestion in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Fish and Shellfish Immunology*.
 8. Shi, H., Choppa, V. S. R., Paneru, D., & Kim, W. (2024). Effects of phytase and 25-Hydroxycholecalciferol supplementation in broilers fed calcium-phosphorous deficient diets, with or without Eimeria challenge, on growth performance, body composition, bone development, and gut health. *Animal Nutrition*, 19, 411 - 428.
 9. Hou, X., Shen, Z., Li, N., Kong, X., Sheng, K., Wang, J., & Wang, Y. (2020). A novel fungal beta-propeller phytase from nematophagous *Arthrotrys oligospora*: characterization and potential application in phosphorus and mineral release for feed processing. *Microbial Cell Factories*, 19.
 10. Henninger, C., Hoferer, M., Ochsenreither, K., & Eisele, T. (2023). Cross-linked phytase aggregates for improved phytate degradation at low pH in animal feed. *European Food Research and Technology*, 249, 2377-2386.
 11. Son, B., Kim, S. H., Sagong, H., Lee, S. R., & Choi, E. J. (2024). Improved Thermal Stability of a Novel Acidophilic Phytase. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 1119 - 1125.
 12. Raj, A., Kumar, K., Kumar, S., Singh, P. K., Sinha, R., Kumar, D., & Koley, S. (2025). Effect of Exogenous Enzyme Supplementation on Haemato-biochemical Parameters and Antioxidant Status in Dual-type Laying Hens Fed Wheat Bran-based Diets. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*.
 13. Perez-Palencia, J., Samuel, R., & Levesque, C. (2021). Supplementation of protease to low amino acid diets containing superdose level of phytase for wean-to-finish pigs: effects on performance, postweaning intestinal health and carcass characteristics. *Translational Animal Science*, 5.
 14. Barekatin, R., Hall, L., Chrystal, P., & Fickler, A. (2024). Nutrient utilisation and growth performance of broiler chickens fed standard or moderately reduced dietary protein diets with and without β -mannanase supplementation. *Animal Nutrition*, 19, 131 - 138.
 15. Tactacan, G., Babatunde, O., & Lahaye, L. (2024). PSI-29 Enhancing growth performance and reducing environmental impact with dietary protease supplementation in growing pigs fed high- and low-density diets. *Journal of Animal Science*.


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。