

# Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymes : 家禽・豚用飼料の $\beta$ -マンナン分解と栄養利用を支える飼料用酵素

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

**Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymes**は、家禽・豚の植物性配合飼料に含まれる $\beta$ -マンナン系非デンプン性多糖を分解し、飼料中栄養素へのアクセスを高める目的で用いられる飼料用酵素です。 $\beta$ -マンナーゼ補給は、家禽および豚における飼料誘導性の免疫応答、消化管生態、栄養利用との関係がレビューされており、低エネルギー飼料を給与したブロイラーでのメタ解析も報告されています<sup>[1][2]</sup>。

Enzymes.bioは本酵素を1kg単位でオンライン販売する供給業者であり、注文時にはCoAおよびSDSが併せて提供されます。

## マンナーゼ酵素の位置づけ：家禽・豚飼料中の $\beta$ -マンナンを標的にする炭水化物分解酵素

マンナーゼは、植物性飼料原料に含まれるマンナン、ガラクトマンナン、グルコマンナンなどの $\beta$ -マンナン系多糖に作用する炭水化物分解酵素です。鶏や豚のような非反芻動物は、反芻動物のように前胃発酵で繊維性多糖を広範に分解する仕組みを持たないため、飼料中の非デンプン性多糖（NSP）は消化管内で物理的・生理的な負荷になり得ます。 $\beta$ -マンナーゼ補給に関する家禽・豚のレビューでは、飼料由来 $\beta$ -マンナンが単なる難消化性繊維ではなく、消化管内環境や飼料誘導性免疫応答に関与し得る基質として整理されています<sup>[1]</sup>。

Enzymes.bioが供給する **Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymes** は、家禽用飼料および豚用飼料における植物性原料利用を支援するための酵素製品です。ここでの説明は、製品の科学的背景、作用機序、飼料設計上の意味を理解するための技術文書であり、疾病の予防・治療効果を示すものではありません。Enzymes.bioは製造業者または研究機関ではなく、B2B向け酵素のオンライン供給業者として、1kg単位で本製品を販売しています。注文時には、製品に関連するCoAおよびSDSが提供されます。

## なぜ家禽・豚飼料でβ-マンナンが問題になるのか

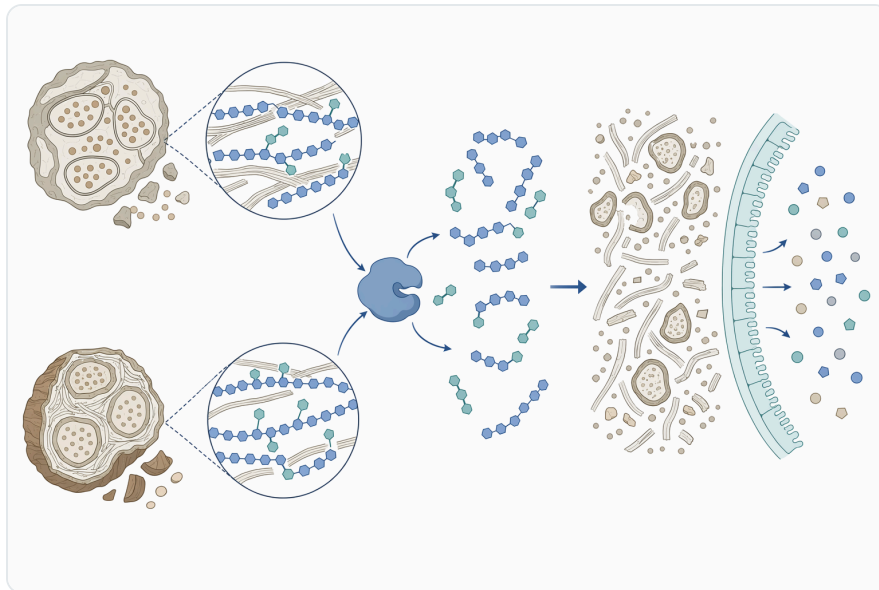
### β-マンナンは栄養素ではなく「消化管内で作用する基質」として考える

β-マンナンは、植物細胞壁や種子貯蔵多糖に由来する水溶性または不溶性の多糖であり、配合飼料中では豆類原料、植物性タンパク質原料、一部の副産物原料に伴って存在します。これらはデンプンや可消化タンパク質のように単純にエネルギー源として利用されるのではなく、消化管内容物の粘性、栄養素の拡散、内因性消化酵素の基質接触、微生物発酵の基質供給に影響します。β-マンナーゼに関するレビューでは、家禽および豚において、β-マンナンが飼料誘導性免疫応答や消化管生態に関連し得る点が論点化されています<sup>[1]</sup>。

飼料中のβ-マンナンが多い場合、消化管内で粘度上昇や栄養素の包埋が起こり、デンプン、アミノ酸、脂質、ミネラルなどに対する消化酵素のアクセスが制限される可能性があります。これは「栄養素が飼料中に存在すること」と「動物が実際に利用できること」が同じではないことを示します。マンナーゼは、β-マンナン骨格を短いオリゴ糖鎖へ切断することで、この物理的障壁を緩和し、飼料設計で想定したエネルギー・栄養素価を動物側で利用しやすくする役割を担います<sup>[1]</sup>。

### 植物性原料の多様化と酵素の必要性

家禽・豚生産では、トウモロコシ、大豆粕、小麦、副産物原料、油粕類など、多様な植物性原料が利用されます。原料の種類や産地、加工履歴が変わると、同じ粗タンパク質や代謝エネルギーに見える飼料でも、NSPの組成や可溶性繊維の挙動が変わります。非反芻動物栄養では、酵素、植物由来添加物、有機酸、プロバイオティクスなどの非抗菌性飼料添加物が、消化性、腸内環境、生産性、環境負荷の観点から継続的に検討されています<sup>[3]</sup>。



**Figure 1.**  $\beta$ -만나나아제는  $\beta$ -만난, 갈락토만난, 글루코만난 구조의  $\beta$ -1,4 결합을 표적으로 하여 더 짧은 만노스 함유 조각을 형성합니다.

マンナーゼの実務的価値は、単に「マンナンを糖にする」ことだけではありません。飼料原料のロット差、植物性タンパク質原料の利用拡大、エネルギー密度を調整した配合、抗菌剤使用を抑えた飼養体系など、複数の制約がある条件で、 $\beta$ -マンナンという特定基質に対して機能する点にあります。したがって、マンナーゼは一般的な消化促進剤ではなく、 $\beta$ -マンナンを含む飼料設計で意味を持つ基質特異的な酵素と捉えるべきです<sup>[1]</sup>。

## 作用機序：マンナーゼが飼料中で変えるもの

### 1. $\beta$ -1,4-マンナン主鎖の切断

マンナーゼの中心的作用は、 $\beta$ -マンナンの主鎖を構成する $\beta$ -1,4結合を加水分解し、長鎖多糖をより短いマンノオリゴ糖へ変換することです。長鎖の $\beta$ -マンナンは、消化管内で水を抱え込みやすく、内容物の粘性を高める場合があります。長鎖が短くなると、粘性低下、基質表面積の変化、栄養素の拡散改善が起こりやすくなり、内因性酵素がデンプンやタンパク質に接触する機会が増えます。家禽・豚における $\beta$ -マンナーゼ補給の評価では、消化管生態と飼料誘導性免疫応答の両面から作用が検討されています<sup>[1]</sup>。

この切断反応は、飼料中の全炭水化物を無差別に分解するものではありません。マンナーゼは、キシランに作用するキシラーゼ、 $\beta$ -グルカンに作用する $\beta$ -グルカナーゼ、フィチン酸に作用するフィターゼとは標的基質が異なります。そのため、マンナーゼの有用性は飼料中にどの程度 $\beta$ -マンナン系基質が存在するか、またその基質が可溶性か不溶性か、他のNSPとどのように共存するかによって変わります<sup>[1]</sup>。

## 2. 栄養素の「閉じ込め」を緩和する

植物細胞壁多糖は、細胞内のデンプン粒、タンパク質、脂質を物理的に囲い込み、消化酵素や胆汁酸が標的栄養素に到達することを妨げます。β-マンナンが細胞壁構造や粘性マトリックスの一部として働く場合、マンナーゼによる部分分解はこの閉じ込めを緩めます。結果として、同じ飼料配合であっても、栄養素の実利用性が変化する可能性があります。ブロイラーの低エネルギー飼料におけるβ-マンナーゼ補給を扱ったメタ解析は、エネルギー密度を調整した飼料設計と酵素補給を組み合わせて評価する意義を示しています<sup>[2]</sup>。

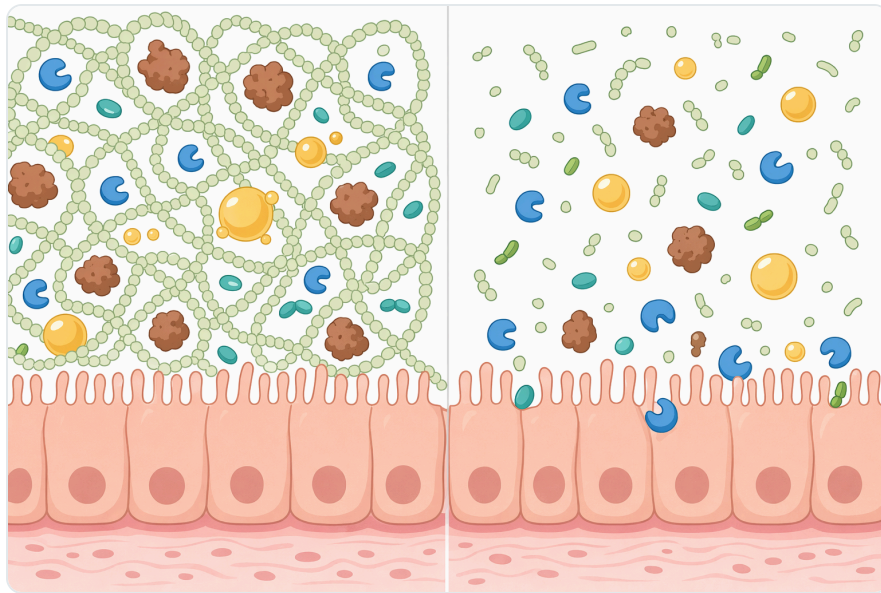


Figure 2. 분자량이 큰 수용성 β-만난 중합체는 소화물의 점도를 높이고 영양소, 소화효소, 흡수 표면 간의 접촉을 줄일 수 있습니다.

この機序は、低エネルギー飼料で特に重要です。配合設計上、油脂添加量を抑えたり、副産物原料を増やしたりすると、理論上の栄養価と動物側の利用率の差が拡大しやすくなります。マンナーゼは、β-マンナン由来の物理的制限を低減することで、低エネルギー設計における性能低下リスクを緩和する技術として検討されます。ただし、効果は基質量と飼養条件に依存するため、低エネルギー飼料であれば必ず同じ反応が得られるという意味ではありません<sup>[2]</sup>。

## 3. 飼料誘導性免疫応答への関与

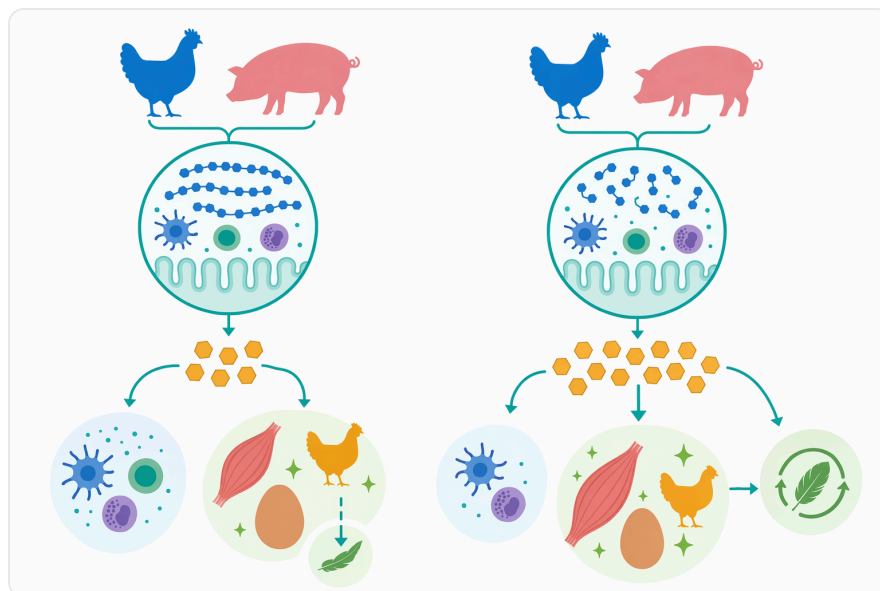
β-マンナンは、消化管内で免疫系に「微生物由来構造」と誤認される可能性が議論されてきた基質です。この仮説では、飼料由来β-マンナンが不要な免疫刺激を引き起こすと、成長や生産に使われるべきエネルギーやアミノ酸が免疫応答へ振り向けられる可能性があります。β-マンナーゼ補給が飼料誘導性免疫応答を調節するかどうかを扱ったレビューでは、この点が家禽・豚の消化管生態と関連づけて評価されています<sup>[1]</sup>。

実務上、この機序は「免疫を強める」「病気を防ぐ」という表現ではなく、「飼料由来基質による不必要な反応を抑え、栄養利用の効率を支える可能性がある」と表現するのが正確です。マンナーゼは医薬品ではなく、病原体を殺すものでも、ワクチンの代替でもありません。むしろ、消化管内に入る基質の性質を変えることで、腸管上皮、粘膜免疫、微生物叢が受ける栄養学的刺激を間接的に変える酵素です<sup>[1]</sup>。

#### 4. 腸内微生物叢との関係

豚の腸内微生物叢は、健康状態、栄養利用、生産成績と密接に関連することが近年のレビューで整理されています。飼料成分が変わると、消化管内で利用可能な基質が変わり、細菌群集の構成、代謝産物、腸管バリアへの影響も変化します。マンナーゼは、未分解の $\beta$ -マンナンを減らす一方で、短鎖のマンノオリゴ糖を生じさせるため、腸内細菌が利用する炭水化物プロファイルを変える可能性があります<sup>[4]</sup>。

この変化は、動物種や成長段階によって異なります。離乳豚では消化管機能と微生物叢が急速に変化するため、未消化基質の量や種類が軟便、発酵パターン、栄養損失に影響しやすいと考えられます。一方、ブロイラーでは消化管通過速度が速く、飼料の粘性や酵素による基質分解が摂取量、飼料要求率、腸管内容物の性状に反映されやすくなります。マンナーゼの評価では、単純な体重増加だけでなく、消化管生態を含めて解釈する必要があります<sup>[1]</sup>。



**Figure 3.**  $\beta$ -マンナン 구조를 가수분해하면 장내 비생산적 면역 자극을 줄이고 영양소를 생산적 기능에 보존하는 데 도움이 될 수 있습니다.

# 家禽飼料での応用：ブロイラー、採卵関連、七面鳥の飼料設計

## ブロイラー低エネルギー飼料での考え方

ブロイラー生産では、飼料費が総生産コストに占める比率が高く、代謝エネルギー設計と飼料要求率は収益性に直結します。低エネルギー飼料では、理論上のエネルギーを下げることでコストを抑えられる一方、成長速度や飼料要求率が悪化すれば経済的利益は失われます。 $\beta$ -マンナーゼ補給を低エネルギー飼料で評価したブロイラーのフェーズフィーディング・メタ解析は、飼料エネルギー密度、成長段階、酵素補給の相互作用を検討する枠組みを提供しています<sup>[2]</sup>。

フェーズフィーディングでは、スターター、グロワー、フィニッシャーなど成長段階ごとに栄養要求量と原料構成が変わります。若齢期は消化管が未成熟で、未消化NSPの影響を受けやすく、後期は摂取量増加により総基質負荷が増えます。マンナーゼは、 $\beta$ -マンナン含量が高い配合やエネルギーを抑えた配合で、栄養素の利用性を補助する目的で組み込まれます。ただし、低エネルギー飼料であっても $\beta$ -マンナンが少ない場合、マンナーゼの効果は限定されます<sup>[2]</sup>。

## 家禽の消化管環境と飼料添加物の位置づけ

家禽栄養では、抗菌剤の使用低減、腸管健康、飼料効率、環境負荷低減を同時に考える必要があります。非反芻動物栄養における植物由来添加物のレビューでは、機能的飼料添加物が生産性、腸内健康、環境上の課題と関連づけて整理されていますが、酵素は中でも基質分解を担う技術として区別されます<sup>[3]</sup>。

マンナーゼはプロバイオティクスのように有用菌を供給するものではなく、有機酸のようにpHを直接下げるものでもありません。家禽飼料中の $\beta$ -マンナンを分解し、消化管内容物の基質環境を変えることで、腸内細菌、粘膜、内因性酵素の働きやすさに間接的に関与します。このため、抗菌剤代替という言葉だけで説明するよりも、「飼料由来の難消化性多糖を減らし、栄養利用の安定化を支援する酵素」と表現する方が実態に近いといえます<sup>[1]</sup>。

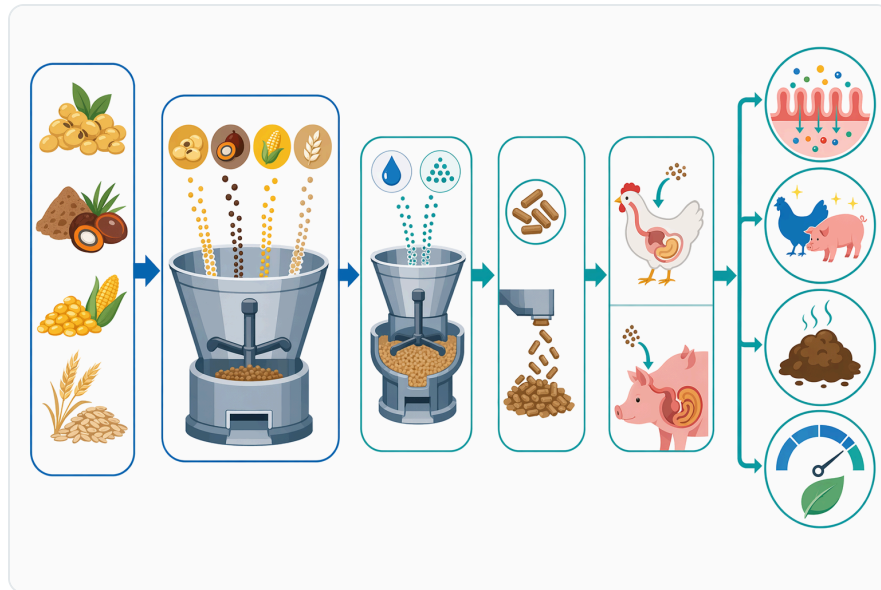


Figure 4. 사료 이용 경로는  $\beta$ -만난 함유 원료에서 시작해 효소적 가수분해, 중합체 영향 감소, 영양소 접근성 향상, 그리고 이미 공급된 배합사료의 더 나은 이용으로 이어집니다.

## 豚飼料での応用：離乳豚・肥育豚における基質特異的な消化補助

### 離乳豚では未消化基質の管理が重要になる

離乳豚は、母乳中心の栄養から植物性配合飼料へ急速に移行します。この時期には、消化酵素分泌、胃酸分泌、腸管バリア、微生物叢が同時に変化するため、未消化タンパク質や未消化炭水化物が後腸へ流入しやすくなります。豚の腸内微生物叢に関するレビューでは、微生物叢が健康と生産成績に関与することが整理されており、飼料設計はその主要な調整因子の一つです<sup>[4]</sup>。

マンナーゼを豚用飼料に用いる場合、狙いは $\beta$ -マンナン系基質を小腸通過前に部分分解し、後腸での過剰発酵や栄養損失を抑えることです。これは薬理的な止瀉効果ではなく、消化管へ入る基質の性質を変える栄養学的アプローチです。離乳期では、原料変更や飼料摂取量の不安定さが結果に影響するため、マンナーゼは単独で評価するより、タンパク質品質、繊維画分、酸結合能、微生物叢の変化と併せて考える必要があります<sup>[1]</sup>。

### 肥育豚では飼料効率と原料柔軟性が焦点になる

肥育豚では、摂取量が大きくなるため、飼料中に少量含まれる難消化性基質でも、総摂取量としては無視できない負荷になります。植物性副産物や油粕類を活用する配合では、粗タンパク質や可消化アミノ酸を満たしていても、NSPの増加によって消化率や糞便性状が変化することがあります。 $\beta$ -マンナーゼ補給の家禽・豚レビューでは、飼料誘導性免疫応答と消化管生態の観点から、豚における適用可能性も検討されています<sup>[1]</sup>。

肥育豚でのマンナーゼの価値は、日増体だけでなく、飼料要求率、栄養素利用、糞便中の未利用有機物、飼料原料の選択肢にあります。豚ふん尿の処理や環境影響に関するライフサイクル評価研究では、豚生産に伴うふん尿・廃水処理が環境負荷評価の重要項目として扱われています<sup>[5]</sup>。マンナーゼが直接ふん尿処理技術になるわけではありませんが、飼料中栄養素の利用性を高めることは、未消化有機物や窒素・炭素の排出を管理する栄養戦略の一部として位置づけられます。

## マンナーゼ、キシラーゼ、フィターゼの違い

飼料用酵素はひとまとめに語られがちですが、標的基質と期待される作用は大きく異なります。マンナーゼは $\beta$ -マンナン、キシラーゼはアラビノキシラン、フィターゼはフィチン酸を主に標的とします。したがって、どの酵素が有用かは、動物種よりもまず飼料中にどの基質が存在するかで決まります。 $\beta$ -マンナーゼに関するレビューでも、飼料中 $\beta$ -マンナンの性質と消化管応答を結び付けて考える必要性が示されています<sup>[1]</sup>。

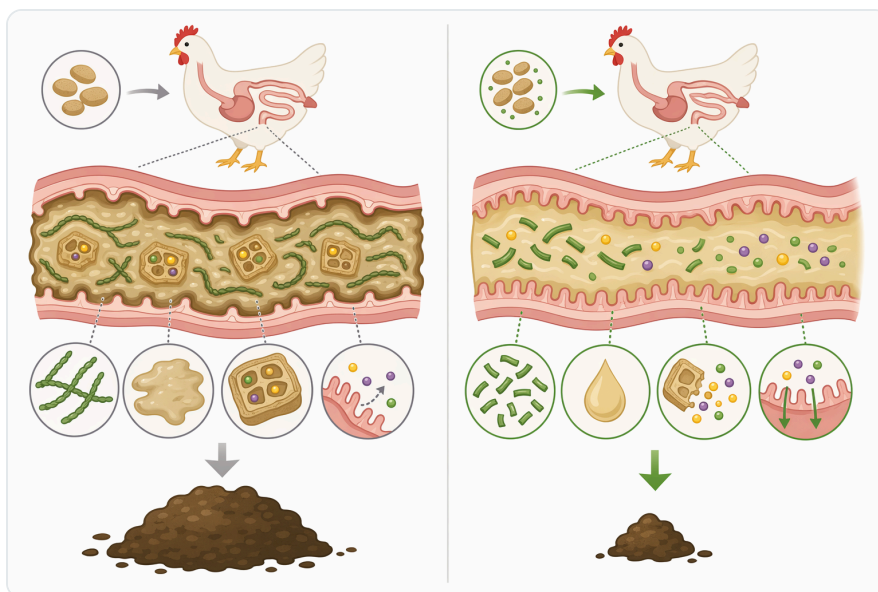


Figure 5. 만나나아제는 자일란, 피틴산, 단백질 또는 전분이 아니라  $\beta$ -만난 유형의 기질을 대상으로 선택된다는 점에서 자일라나아제, 피타아제, 프로테아아제, 아밀라아제와 다릅니다.

酵素カテゴリー	主な標的基質	家禽・豚飼料での主な狙い	マンナーゼとの違い
マンナーゼ	$\beta$ -マンナン、ガラクトマンナン、グルコマンナン	粘性・物理的包埋・飼料誘導性免疫応答の緩和、栄養素アクセス改善	$\beta$ -マンナン系基質に特異的
キシラーゼ	アラビノキシラン	小麦・ライ麦・副産物由来NSPの分解、粘性低減	キシラン系基質が多い配合向け

酵素カテゴリー	主な標的基質	家禽・豚飼料での主な狙い	マンナーゼとの違い
$\beta$ -グルカナーゼ	$\beta$ -グルカン	大麦・オート麦由来粘性多糖への対応	$\beta$ -グルカン主体の配合向け
フィターゼ	フィチン酸	リン利用性改善、フィチン酸によるミネラル・タンパク質結合の緩和	炭水化物ではなくリン貯蔵化合物を標的
プロテアーゼ	タンパク質	タンパク質消化性補助、未消化タンパク質低減	多糖ではなくタンパク質を標的

この比較から分かるように、マンナーゼは「繊維分解酵素」の一つではありますが、すべての繊維に均等に作用するわけではありません。トウモロコシ主体飼料、小麦主体飼料、大豆粕比率の高い飼料、副産物を含む飼料では、制限要因となるNSPが異なります。マンナーゼを用いる目的は、 $\beta$ -マンナンが栄養利用を制限している条件で、その制限を緩めることです<sup>[1]</sup>。

## 期待できる利点を科学的に整理する

### 飼料効率の安定化

マンナーゼの第一の利点は、 $\beta$ -マンナンによる栄養素利用の低下を緩和し、飼料効率の安定化を支援することです。ブロイラーの低エネルギー飼料に関するメタ解析は、 $\beta$ -マンナーゼ補給を飼料エネルギー設計と組み合わせて評価する視点を示しています。これは、マンナーゼを単なる追加コストではなく、飼料エネルギー密度、原料選択、成長段階の設計と連動させて考えるべきであることを意味します<sup>[2]</sup>。

ただし、飼料効率の改善は、常に一定の数値として現れるものではありません。 $\beta$ -マンナン含量が低い配合、すでに消化性の高い原料を用いた配合、飼養環境や疾病圧が主要制限要因である状況では、酵素効果は見えにくくなります。したがって、マンナーゼは「すべての飼料で同じ結果を保証する添加物」ではなく、「特定基質が存在する配合で合理性を持つ消化補助酵素」と整理するのが妥当です<sup>[1]</sup>。

### 腸管内容物の性状改善

$\beta$ -マンナンが可溶性画分として存在する場合、消化管内容物の粘性を高め、栄養素拡散や酵素接触を阻害することがあります。マンナーゼによる長鎖多糖の切断は、粘性低下や内容物の流動性改善につながる可能性があります。これは、鶏のように消化管通過が速い動物で特に意味を持ちます。 $\beta$ -マンナーゼ補給のレビューでは、消化管生態を含む作用様式が検討されています<sup>[1]</sup>。

粘性が下がると、消化酵素、胆汁酸、栄養素の混合が改善し、小腸での消化吸収が進みやすくなります。また、未消化基質が後腸へ過剰に流入することを抑えれば、微生物発酵の偏りや糞便性状の変化を抑える方向に働く可能性があります。ただし、腸管内容物の性状は水分摂取、電解質、タンパク質過剰、感染圧、飼料粒度などにも左右されるため、マンナーゼだけで評価すべきではありません<sup>[4]</sup>。



Figure 6. 사료에 의미 있는 수준의  $\beta$ -만난 기질이 포함되어 있을 때  $\beta$ -만나아제는 육계, 산란계, 칠면조, 자돈, 육성·비육돈, 모돈 등 가금류와 돼지에서 활용 가치가 있습니다.

## 植物性原料利用の柔軟性

飼料原料価格が変動する中で、植物性副産物や代替原料の活用は家禽・豚生産の重要課題です。しかし、代替原料はしばしばNSP、抗栄養因子、繊維画分の増加を伴います。非反芻動物栄養における機能性飼料添加物のレビューでは、生産性、腸内健康、環境面を含め、植物性添加物や酵素などの技術が持続的生産の文脈で議論されています<sup>[3]</sup>。

マンナーゼは、 $\beta$ -マンナンを含む原料を利用する際の制限要因を緩和するための選択肢です。これにより、飼料設計者は原料コスト、栄養価、消化性、糞便性状を総合的に見ながら配合を調整しやすくなります。重要なのは、マンナーゼが低品質原料を無条件に高品質化するわけではなく、特定の多糖基質に対する酵素的処理である点です<sup>[1]</sup>。

## 過度に期待すべきでない点

マンナーゼは、疾病対策、抗菌剤、ワクチン、衛生管理、飼養環境管理の代替ではありません。飼料由来 $\beta$ -マンナンを分解することで栄養利用や消化管生態に影響する可能性はありますが、病原体感染、換気不良、熱ストレス、飲水衛生、飼料カビ汚染、管理密度などが主要問題である場合、

酵素添加だけで生産成績を回復させることはできません。β-マンナーゼ補給の議論でも、飼料誘導性免疫応答と消化管生態は複合的要因として扱われています<sup>[1]</sup>。

また、マンナーゼはβ-マンナンを含まない、または含量が非常に低い配合では合理性が下がります。酵素は基質があって初めて作用するため、飼料中の主要NSPがアラビノキシランであればキシラーゼ、フィチン酸が問題であればフィターゼの方が適した選択肢になる場合があります。酵素の種類を飼料配合と切り離して選ぶと、期待した栄養改善が得られにくくなります<sup>[1]</sup>。

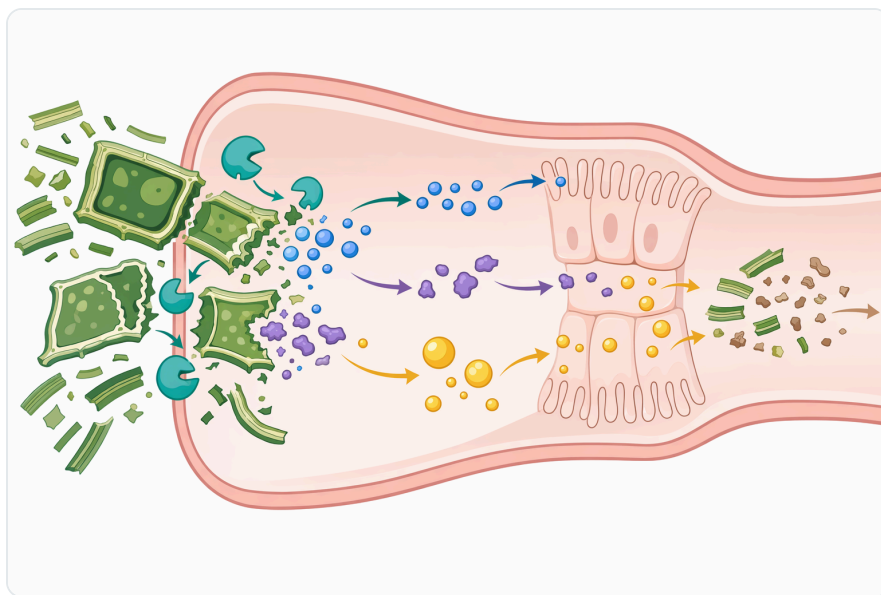


Figure 7. 만나나아제는 β-만난 관련 차폐 효과와 점도를 낮춤으로써 식물성 사료 내 에너지, 아미노산, 지방 분획에 대한 접근성을 개선할 수 있습니다.

## Enzymes.bioでの購入形態と実務上の位置づけ

Enzymes.bioは、Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymesを1kg単位でオンライン販売する酵素供給業者です。製品は、家禽用飼料、豚用飼料、植物性配合飼料、β-マンナンを含む原料設計に関心を持つB2Bユーザー向けに位置づけられます。Enzymes.bioは製造業者または研究所として本酵素を提示するものではなく、供給業者として、注文処理と配送、注文時のCoAおよびSDS提供を行います。

この製品の技術的価値は、配合飼料中のβ-マンナンを標的にし、栄養素へのアクセス、消化管内容物の性状、飼料誘導性免疫応答、腸内基質環境を変える可能性にあります。家禽ではブロイラーの低エネルギー飼料設計、豚では離乳期から肥育期までの植物性原料利用において、マンナーゼは基質特異的な消化補助酵素として検討されます<sup>[1][2]</sup>。

## まとめ：マンナーゼは $\beta$ -マンナンを含む家禽・豚飼料の栄養利用を支える酵素

Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymesは、家禽・豚の植物性配合飼料に含まれる $\beta$ -マンナン系NSPを分解し、消化管内での粘性、栄養素の包埋、飼料誘導性免疫応答、微生物利用基質を変える目的で用いられる飼料用酵素です。特に、低エネルギー飼料、植物性タンパク質原料、副産物利用、離乳豚・肥育豚の消化性管理、ブロイラーの飼料効率安定化といった場面で、配合設計と組み合わせて考える価値があります<sup>[1][2]</sup>。

一方で、マンナーゼは万能な成長促進剤ではなく、疾病予防薬でもありません。効果は、飼料中の $\beta$ -マンナン量、原料構成、動物種、成長段階、飼養環境、他の添加物との組み合わせに左右されます。Enzymes.bioでは、本製品を1kg単位でオンライン購入でき、注文時にCoAおよびSDSが提供されるため、家禽・豚飼料における $\beta$ -マンナン対策を検討するB2Bユーザーにとって、実務的に導入しやすい酵素供給形態となっています。

### Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymes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。

[Mannanase Enzyme For Poultry Feed - Pig Feed Enzymes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. Kiarie, E., Steelman, S., & Martinez, M. (2022). Does supplementing  $\beta$ -mannanase modulate the feed-induced immune response and gastrointestinal ecology in poultry and pigs? An appraisal. *Frontiers in Animal Science*, 3.
2. Nuamah, E., Okon, U., Kim, J., Cheon, I., Cho, S., Kang, D., Choi, N., ... et al. (2026). Impact of  $\beta$ -mannanase supplementation on broilers fed low-energy diets: A phase feeding meta-analysis. *Poultry Science*, 105.
3. Biswas, S., & Kim, I. (2025). A thorough review of phytogenic feed additives in non-ruminant nutrition: production, gut health, and environmental concerns. *Journal of Animal Science and Technology*, 67, 497

- 519.

4. Wang, J., Tong, T., Yu, C., & Wu, Q. (2025). The research progress on the impact of pig gut microbiota on health and production performance. *Frontiers in Veterinary Science*, 12.
5. Liu, B., Zhou, H., Li, L., Ai, J., He, H., Yu, J., Li, P., ... et al. (2023). Environmental impact and optimization suggestions of pig manure and wastewater treatment systems from a life cycle perspective. *Science of the Total Environment*, 167262 .


## 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](mailto: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。