

Keratinase（ケラチナーゼ）酵素：動物飼料と羽毛・ケラチン副産物処理での主要用途

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

Keratinase（ケラチナーゼ）は、羽毛、毛、角、蹄、魚鱗などに含まれる難分解性ケラチンを、より利用しやすいペプチドやアミノ酸へ加水分解するプロテアーゼ系酵素です。動物飼料では、羽毛ミールやその他のケラチン性タンパク質原料の消化性改善、未利用窒素の低減、副産物の付加価値化を目的に検討されます^[1]。Enzymes.bioはKeratinase enzymeをオンラインで1 kg単位から供給するB2B酵素サプライヤーであり、製造業者または研究機関としてではなく、産業用途向け酵素の供給元として位置づけられます。

Keratinaseとは：一般プロテアーゼと異なる「ケラチン分解」に焦点を当てた酵素

Keratinaseは、ケラチンを基質として分解できる酵素群の総称です。ケラチンは、羽毛、羊毛、毛髪、角、蹄、爪、魚鱗などに豊富に存在する構造タンパク質で、システイン残基に由来するジスルフィド結合、疎水性アミノ酸の密な相互作用、 α ヘリックスまたは β シートを含む高次構造によって、通常のタンパク質よりも分解されにくい性質を持ちます^[2]。そのため、単に「タンパク質を切る」だけの酵素ではなく、ケラチンの立体構造がほどけ、ペプチド結合へ酵素がアクセスできる状態をつくることが重要になります。

一般的なプロテアーゼは、可溶性タンパク質や熱変性したタンパク質には有効でも、未処理または部分処理された羽毛ケラチンのような不溶性・高架橋タンパク質には十分に作用しない場合があります。これに対し、keratinase enzymeは、ケラチン表面への吸着、構造の緩和、ペプチド鎖の切断を通じて、難消化性のケラチン性素材をより低分子の可溶性画分へ変換する点が特徴です^[1]。

研究上、ケラチナーゼは単一の酵素ファミリーに限定されません。セリンプロテアーゼ、金属プロテアーゼ、アルカリ性プロテアーゼ、微生物由来の複合酵素系など、さまざまなタイプが報告されています。近年の研究では、Ectobacillus属由来の新規ケラチナーゼがM4ファミリー金属プロテアーゼとして解析され、羽毛分解に関与する酵素特性が検討されています^[3]。この多様性は、Keratinaseという名称が「特定の1分子」ではなく、「ケラチンを分解できる機能を持つ酵素群」を指すことを示しています。

Keratinaseが対象にするケラチン系副産物

畜産・食肉加工・水産加工・皮革・ペットフード・飼料産業では、羽毛、毛、角質、蹄、魚鱗などのケラチン系副産物が発生します。これらは窒素とアミノ酸を含むタンパク質資源である一方、そのままでは不溶性が高く、消化酵素へのアクセスも限られるため、栄養価が実際の含有タンパク質量に比例しにくいという課題があります^[1]。

羽毛は特に代表的な基質です。家禽産業では羽毛が大量に発生しますが、主成分である β ケラチンは架橋が強く、未処理の状態では飼料原料としての利用性が限定されます。Keratinaseを用いると、羽毛タンパク質を酵素的に低分子化し、可溶性ペプチドやアミノ酸を増やす方向に反応を進められるため、羽毛廃棄物を単なる処理対象ではなく、タンパク質資源として再利用する技術と結びつきます^[4]。

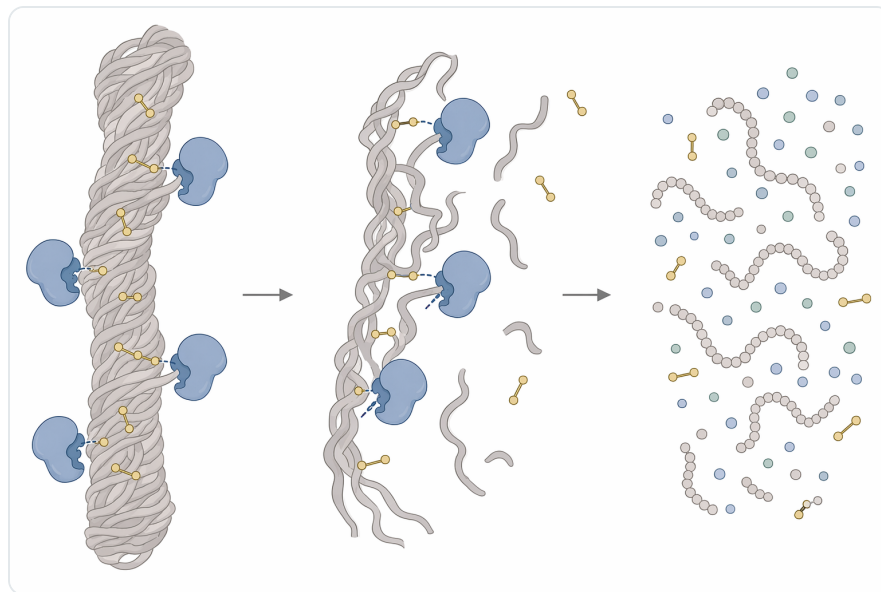


Figure 1. 케라티나아제는 노출된 표면에 흡착해 조밀한 구조를 약화시키고 펩타이드 결합을 더 작은 조각으로 가수분해함으로써 분해되기 어려운 케라틴 섬유에 작용한다.

このような副産物利用は、農産・畜産・食品加工由来の未利用資源を複数の用途へ変換する「アグロインダストリアル廃棄物の多面的価値化」とも整合します。近年のレビューでは、農産業廃棄物を単一の廃棄物として扱うのではなく、タンパク質、ペプチド、アミノ酸、機能性素材、発酵原料として段階的に利用する考え方が整理されています^[5]。Keratinaseは、この中でケラチン性タンパク質という特に扱いにくい画分を対象にする酵素技術です。

作用機序：ケラチン分解は「切断」と「構造緩和」の組み合わせ

Keratinaseの作用は、単純にペプチド結合を切るだけでは説明しきれません。ケラチンは多数のジスルフィド結合と疎水性相互作用によって密に折りたたまれているため、まず酵素が接近できる表面部位が限られています。反応初期では、酵素が羽毛や角質素材の表面に接触し、露出したペプチド領域を切断します。この局所的な切断により、構造の一部が緩み、さらに内部のペプチド結合が露出しやすくなります^[2]。

ただし、ジスルフィド結合が高度に残ったままでは、ペプチド鎖の完全な分解は進みにくい場合があります。そのため、実際の羽毛分解では、keratinase enzymeによる加水分解と、ジスルフィド結合を還元または再配置する作用が相乗的に働くことが重要です。Bacillus subtilisを用いた組換え KerJY-23の研究では、羽毛分解がケラチナーゼとジスルフィド還元酵素の協調過程として説明されており、ケラチン分解における「タンパク質切断」と「架橋構造の解除」の両方の重要性が示されています^[4]。

実務的には、Keratinaseの働きは次のように整理できます。第一に、羽毛ミールや角質系原料の表面に酵素が接触する。第二に、アクセス可能なペプチド結合が切断され、表面構造が崩れ始める。第三に、ジスルフィド結合で固定された高次構造が緩和され、内部のタンパク質鎖がさらに分解される。第四に、可溶性ペプチド、短鎖ペプチド、遊離アミノ酸が増え、飼料原料や発酵原料としての利用性が高まる、という流れです^[1]。



Figure 2. 산성, 중성, 알칼리성 프로테아제는 접근 가능한 단백질을 가수분해하는 반면, 케라티나아제는 깃털, 머리카락, 양모, 뿔처럼 이황화 결합으로 강화된 케라틴 물질에 작용한다는 점에서 구별된다.

この機序を理解すると、Keratinaseが「どのような原料でも瞬時にタンパク質を完全分解する酵素」ではないことも明確になります。基質の粒度、前処理、熱履歴、水分、混合状態、反応時間、pH、温度域などが酵素アクセスと分解度に影響します。特に羽毛のような不溶性基質では、酵素量だけでなく、基質表面積と水分環境が反応の進み方を左右します^[2]。

動物飼料での主要用途：羽毛ミールと難消化性タンパク質の利用性改善

動物飼料分野でKeratinaseが注目される理由は、ケラチン性タンパク質を「含有量としてのタンパク質」から「動物が利用しやすいタンパク質」へ近づけられる点にあります。羽毛ミールはタンパク質を多く含む一方、ケラチン構造のために未処理または不十分な処理では消化性が限定されます。Keratinaseによる加水分解は、タンパク質鎖を短くし、消化酵素が作用しやすいペプチドへ変換するため、配合飼料におけるアミノ酸利用性の改善を目的に検討されます^[1]。

Enzymes.bioで取り扱われるKeratinaseは、動物飼料調製向けのkeratinase enzymeとして掲載されており、羽毛ミールなどのケラチン性タンパク質原料の処理に関連づけられています。同社は製造元や研究機関ではなく、B2B利用者がオンラインで購入できる酵素供給業者です。製品は1 kg単位で直接購入でき、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。

飼料用途で期待される利点は、単に「タンパク質量を増やす」ことではありません。既に存在するタンパク質を低分子化し、消化管内酵素との相補性を高め、未消化タンパク質として排泄される割合を下げる方向に働くことが重要です。特に若齢動物や、消化負荷の高いタンパク質原料を含む配合では、外部酵素による前処理または飼料内酵素補助の考え方が利用されます^[6]。

また、タンパク質利用性が改善されると、未利用窒素の排泄を抑える可能性があります。これは、飼料原料コストだけでなく、糞尿由来の窒素負荷、アンモニア発生、畜舎環境、堆肥化工程にも関連します。ただし、窒素排泄の実際の変化は動物種、配合設計、摂取量、飼養環境、原料の処理状態に左右されるため、Keratinaseの効果は「ケラチン性タンパク質を含む配合で利用性を高める酵素的手段」として捉えるのが適切です^[1]。

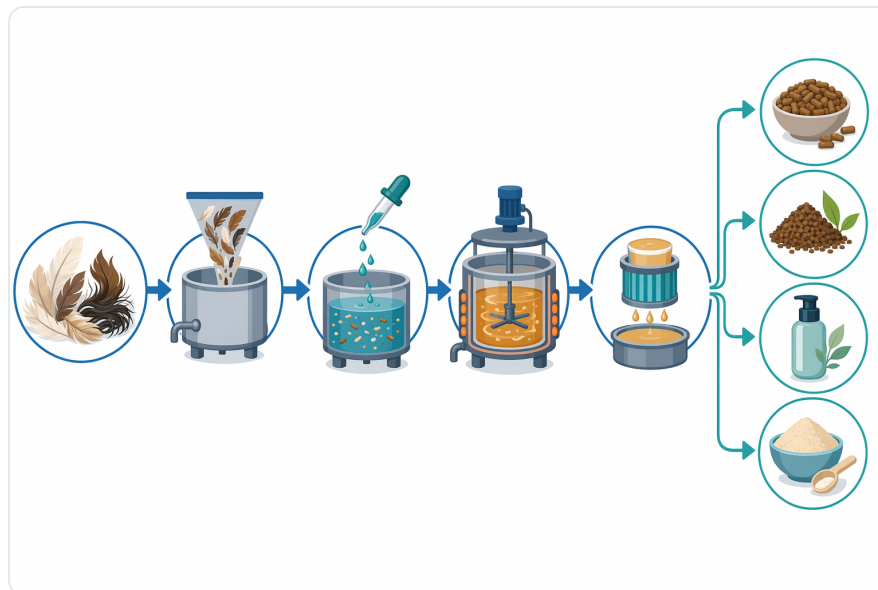


Figure 3. 깃털 분말 처리에서는 수화된 케라틴 풍부 물질을 케라티나아제와 혼합한 뒤 가수분해가 진행되도록 유지하여 사료 제조용 펩타이드 풍부 원료를 생산한다.

羽毛処理での価値：廃棄物からペプチド資源へ

羽毛は、家禽加工で大量に発生する代表的なケラチン性副産物です。従来の処理では、高温・高圧・化学処理などにより羽毛を加工する方法が用いられますが、強い処理はエネルギー負荷やアミノ酸損失、品質ばらつきにつながる場合があります。Keratinaseを利用する酵素処理は、より穏やかな条件でタンパク質を分解し、可溶化されたペプチド画分を得る選択肢として研究されています^[4]。

羽毛分解の研究では、微生物そのものを用いる方法、精製または部分精製された酵素を用いる方法、組換え発現によって得られたケラチナーゼを利用する方法などが検討されています。ヘテロロガス発現系を用いた生産性向上は、産業利用を見据えた重要な研究テーマであり、分泌シグナル、宿主選択、タンパク質折りたたみ、プロテアーゼ安定性などが検討されています^[7]。

一方で、B2Bの利用者にとって重要なのは、研究室レベルの酵素設計そのものではなく、ケラチン基質がどの程度扱いやすくなるかです。羽毛や毛髪のような硬質基質では、酵素反応前に粒度を細かくする、十分に水和させる、均一に混合する、過度な熱失活を避けるといったプロセス設計が反応効率に影響します。これは分析法や試験手順の話ではなく、酵素と不溶性基質を物理的に接触させるための工程設計上の基本です^[2]。

比較表：Keratinase、一般プロテアーゼ、熱化学処理の違い

処理アプローチ	主な作用	ケラチン系原料での利点	注意すべき限界	適した位置づけ
Keratinase	ケラチン構造にアクセスし、ペプチド結合を加水分解する。ジスルフィド結合の緩和と組み合わせると分解が進みやすい	羽毛、毛、角質などの難分解性タンパク質をペプチド化し、飼料原料や発酵原料としての利用性を高める	基質の前処理、水分、混合、温度、pH、接触時間に影響される	羽毛ミール、ケラチン副産物、難消化性タンパク質原料の酵素処理 ^[1]
一般プロテアーゼ	可溶性または変性タンパク質のペプチド結合を切断する	大豆、魚粉、肉骨粉など、比較的アクセスしやすいタンパク質では有効	未処理ケラチンの高架橋構造には作用が限定される場合がある	非ケラチン性タンパク質の加水分解、飼料消化補助
熱処理・高圧処理	タンパク質を変性させ、物理的に構造を崩す	連続処理に組み込みやすく、羽毛ミール製造で広く利用される	過処理でアミノ酸損失や品質低下が起こり得る	酵素処理の前処理または既存工程の一部
強い化学処理	アルカリ、還元剤、酸化剤などで架橋や構造を破壊する	反応が速く、強固な構造を崩しやすい	廃液処理、腐食、安全性、残留物管理が課題になりやすい	研究・特殊工程。飼料用途では慎重な設計が必要

この比較から、Keratinaseの強みは、ケラチンという特定の難分解性タンパク質に対して、過度に強い化学処理へ依存せずに低分子化を進められる点にあります。特に羽毛タンパク質のように、栄養資源としての価値はあるが構造的に利用しにくい原料では、酵素反応による選択的な分解が実務上の意味を持ちます^[4]。

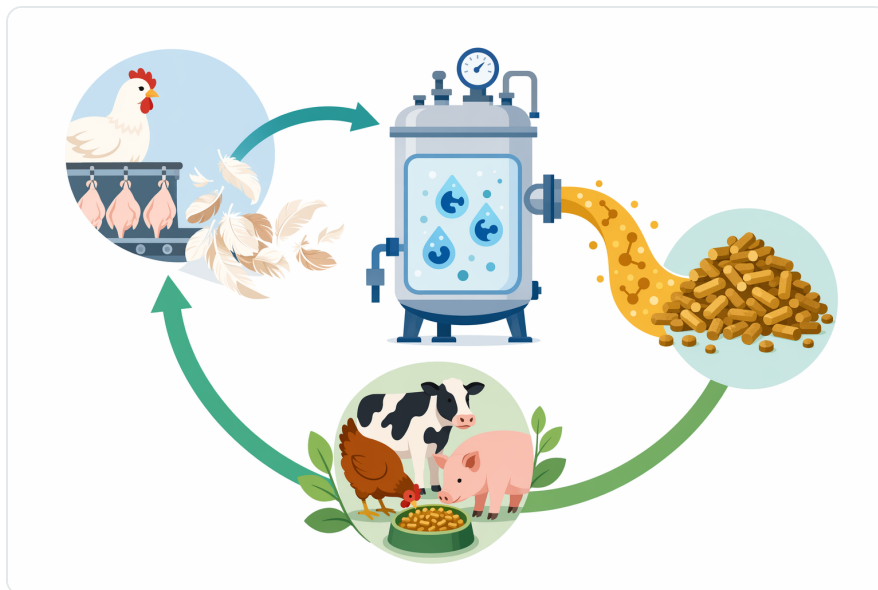


Figure 4. 케라티나아제는 가금류 깃털 폐기물을 단순 폐기물이 아니라 가수 분해물로 전환함으로써 순환형 단백질 회수를 지원한다.

Keratinaseの産業用途：飼料を中心に広がる応用領域

動物飼料・ペットフード原料調製

最も現実的な用途は、動物飼料向けのタンパク質原料処理です。羽毛ミール、家禽副産物、角質系原料、その他の難消化性タンパク質を含む配合において、Keratinaseはペプチド化を通じてアミノ酸利用性を高める目的で使用されます。研究レビューでは、ケラチナーゼが飼料、洗剤、皮革、廃棄物処理、農業など複数の産業分野に展開し得る酵素として整理されています^[1]。

ペットフードや特殊飼料原料でも、タンパク質の消化性、嗜好性、ペプチド化は重要な設計要素です。ただし、最終製品の適合性は対象動物、配合基準、熱加工条件、規制区分に依存します。Enzymes.bioのKeratinaseは、動物飼料調製向け酵素として供給される製品であり、人用の食品、医薬品、化粧品用途を前提にした記述へ拡張すべきではありません。

羽毛廃棄物の付加価値化

羽毛廃棄物の酵素分解は、タンパク質廃棄物削減と資源循環の両方に関係します。Keratinaseによって羽毛を可溶化できれば、加水分解物は飼料原料、アミノ酸源、発酵原料、場合によっては植物栄養関連素材としての利用可能性を持ちます。組換えKerJY-23を用いた研究では、ケラチナーゼとジスルフィド還元酵素の協調によって鶏羽毛の生分解が進むことが示されており、羽毛処理における複合酵素的な視点の重要性が強調されています^[4]。

羽毛加水分解物は、単に「分解された廃棄物」ではなく、ペプチド、アミノ酸、硫黄含有化合物を含む複合的な有機素材になります。農業分野では、ケラチナーゼで処理した羽毛由来加水分解物を植物ストレス耐性や栄養供給と関連づける研究もあり、近年のレビューでは農業産業化を見据えたケラチナーゼの触媒能改良が論じられています^[6]。

皮革・脱毛工程

皮革産業では、脱毛や浸灰工程で強い化学薬品が使われることがあり、排水負荷や作業環境が課題になります。Keratinaseは、毛のケラチンを選択的に分解し、コラーゲンを過度に損なわない条件を設計できれば、より穏やかな脱毛補助技術になり得ます。ケラチナーゼの産業展開を扱うレビューでは、皮革加工が有望用途の一つとして整理されています^[1]。

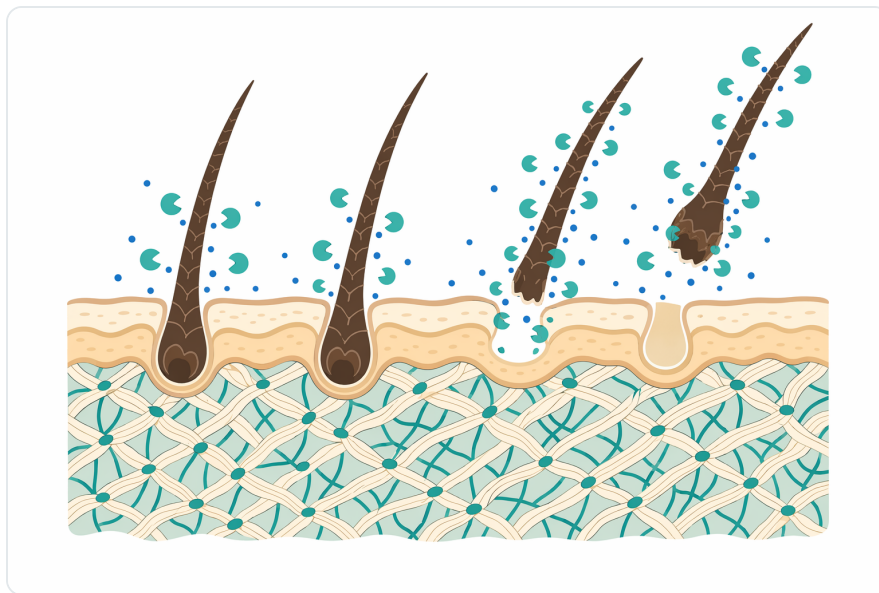


Figure 5. 가죽 제모에는 콜라겐이 풍부한 원피 기질의 손상을 제한하면서 털 구조의 케라틴을 공격하는 과정이 필요하다.

ただし、皮革用途では飼料用途と異なる難しさがあります。皮の価値はコラーゲン繊維の品質に依存するため、毛だけを分解し、皮本体を傷めない選択性が必要です。ケラチン分解力が高い酵素であっても、コラーゲンや他の構造タンパク質への影響が大きければ、高品質皮革の工程には適しません。このため、皮革用途は研究上有望であっても、用途適合性を慎重に区別して説明する必要があります^[2]。

洗剤・洗浄用途

Keratinaseは、タンパク質性汚れや角質由来汚れの分解に関連して、洗剤用途でも検討されています。一般的な洗剤プロテアーゼが食品タンパク質や皮脂と混在したタンパク質汚れに作用するのに対し、ケラチン性汚れを対象とする場合にはKeratinaseの特性が関係します。レビューでは、洗剤

分野もケラチナーゼの産業応用候補として挙げられています^[1]。

ただし、洗剤用途では界面活性剤、漂白剤、pH、保管安定性、顆粒化、粉じん管理など、飼料用途とは異なる処方上の要件があります。Enzymes.bioで動物飼料調製向けに掲載されているKeratinaseを、洗剤完成品の処方用途にそのまま読み替えることは適切ではありません。用途の違いは、酵素そのものの性質だけでなく、製品設計、規制、最終使用条件の違いによって生じます。

農業・植物関連素材への展開

近年、ケラチン性廃棄物を分解して得られる加水分解物を、植物栄養やストレス耐性の観点から評価する研究も増えています。羽毛は窒素と硫黄を含むため、酵素分解によって得られるペプチドやアミノ酸が、土壌微生物や植物生理に影響する可能性があります。ケラチナーゼの農業産業化を扱うレビューでは、酵素の触媒性能向上と、農業副産物利用の接点が議論されています^[6]。

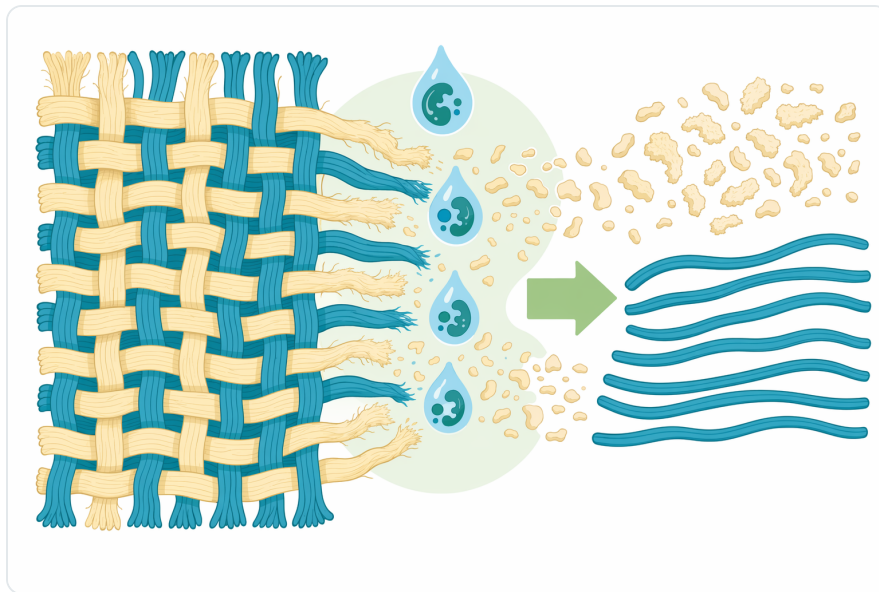


Figure 6. 케라티나아제는 섬유 분야에서 양모 케라틴을 변형하거나 양모와 폴리에스터 혼방 소재의 분리를 돕는 데 사용될 수 있다.

さらに、KerJY23で加水分解した羽毛廃棄物がトウガラシの塩ストレス耐性に関与する可能性を扱う研究も報告されています。このような研究は、Keratinaseの応用が飼料だけでなく、羽毛由来加水分解物の農業利用へ拡張し得ることを示しますが、対象作物、土壌条件、施用設計に強く依存するため、商業的効果を一般化して断定する段階ではありません^[8]。

研究と商業利用の成熟度

Keratinaseの科学的根拠は、基礎的なケラチン分解機構、微生物由来酵素の探索、タンパク質工学、飼料・廃棄物処理応用へ広がっています。特に産業化の観点では、酵素の発現量、分泌効率、熱安定性、pH適応性、基質特異性、コスト、工程への組み込みやすさが研究課題になります。ヘテロ

ロガス発現系によるケラチナーゼ生産性向上を扱うレビューでは、産業応用に向けて分子戦略が重要であることが整理されています^[7]。

一方、用途ごとに成熟度は異なります。飼料原料処理と羽毛廃棄物分解は、Keratinaseの中心的な応用領域であり、機序と用途の関係が比較的明確です。皮革、洗剤、農業、バイオ素材への応用は有望ですが、最終製品化には用途ごとの要求性能が異なります。したがって、B2B文書では「ケラチンを分解する酵素としての機能」と「特定用途での完成品性能」を分けて記述する必要があります^[1]。

応用領域	根拠の成熟度	Keratinaseの役割	表現上の注意
動物飼料・羽毛ミール処理	高い	ケラチン性タンパク質をペプチド化し、消化性とアミノ酸利用性の改善を狙う	効果は配合、対象動物、原料処理条件に依存
羽毛廃棄物の資源化	高い	羽毛ケラチンを可溶化し、飼料・発酵・農業素材への転換を支援	完全分解には構造緩和や還元系との相乗が重要
皮革工程	中程度	毛ケラチンの分解による脱毛補助	コラーゲン損傷を避ける選択性が必要
洗剤・洗浄	中程度	ケラチン性タンパク質汚れの分解	処方安定性と洗剤成分との相性が重要
農業・植物関連加水分解物	発展段階	羽毛由来ペプチド・アミノ酸の利用	作物、土壌、施用条件に依存し、一般化は慎重に行う

この整理により、Keratinaseの価値を過不足なく説明できます。すなわち、ケラチン分解という中核機能は十分に研究されている一方、用途ごとの性能は工程条件と最終製品設計に左右されます。Keratinaseを「万能添加物」としてではなく、「ケラチン性タンパク質を扱いやすくする酵素技術」として位置づけることが、技術的にも商業的にも正確です^[2]。

Enzymes.bioでの位置づけと注文時に提供される文書

Enzymes.bioはKeratinaseを含む酵素製品を供給するB2Bサプライヤーであり、製造業者または研究所としての表現は適切ではありません。Keratinaseは、動物飼料調製に関連する酵素製品としてオンライン掲載され、1 kg単位で直接購入できる形式で提供されています。この文書で述べる機序や用途は、公開文献に基づく教育的整理であり、個別工程での性能を一律に保証するものではありません。

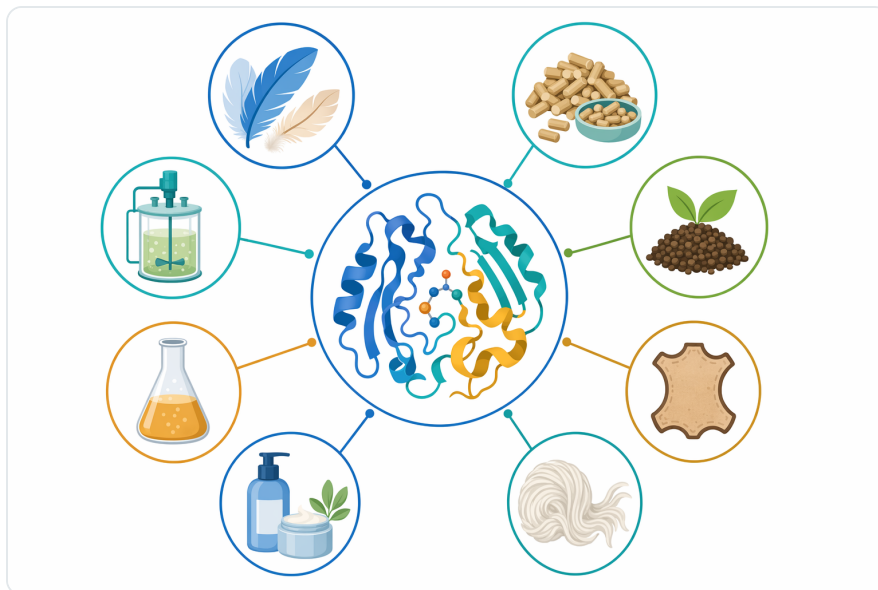


Figure 7. 케라티나아제의 활용 분야에는 사료 및 깃털 분말 가수분해, 깃털 폐기물의 고부가가치화, 가죽 제모, 양모 및 섬유 가공, 케라틴이 풍부한 단백질 잔류물 세척이 포함된다.

注文時にはCoAとSDSが併せて提供されます。CoAは受領品に関する品質関連情報を確認するための文書であり、SDSは保管、取扱い、漏出時対応、保護具、廃棄などの安全管理に用いられます。酵素はタンパク質であるため、粉体の吸入、皮膚・眼への長時間接触、作業環境での粉じん発生には注意が必要です。

Enzymes.bioのKeratinaseは、サンプル請求や個別見積を前提にした販売ではなく、オンラインで1kg単位から購入する形式に適しています。したがって、B2B利用者にとっての価値は、難分解性ケラチン原料を扱う工程で、既存の原料処理や飼料設計に組み込みやすい酵素を直接入手できる点にあります。

実務での考え方：反応条件ではなく「基質アクセス」を中心に設計する

Keratinaseを活用する際には、温度やpHだけに注目するのではなく、酵素がケラチン基質へ接触できる状態を作ることが重要です。羽毛、毛、角質のような不溶性基質では、表面積が小さい、油脂や不純物で覆われている、熱処理で過度に凝集している、水分が不足している、といった条件で反応が進みにくくなります。反対に、基質が適度に細かく、水分を含み、均一に混合されていれば、酵素がアクセスできる表面が増えます^[2]。

飼料調製では、Keratinaseを前処理工程で用いる場合と、飼料中の酵素補助として考える場合があります。前処理では、羽毛ミールや副産物原料を酵素と接触させ、あらかじめペプチド化を進める考え方になります。飼料中での補助では、動物の消化過程におけるタンパク質分解を支援する方向

の設計になります。どちらの場合も、原料のケラチン性、処理履歴、最終飼料の熱加工条件が重要です^[6]。



Figure 8. 케라티나아제 효소 제품은 산업 위생 관행과 제공된 안전 문서에 따라 취급해야 한다.

特に熱加工を含む飼料製造では、酵素の失活が起こり得ます。ペレット化、押出、乾燥などの工程は、飼料物性と衛生性には有利ですが、酵素タンパク質には負荷となる場合があります。そのため、Keratinaseをどの段階で加えるか、前処理で反応させるか、後添加に近い形で扱うかは、工程全体の設計と関係します。これは特定の試験法の問題ではなく、酵素をタンパク質触媒として扱ううえでの基本的な工程理解です^[7]。

まとめ：Keratinaseの価値は「難分解性ケラチンを利用可能なタンパク質資源へ近づける」こと

Keratinaseは、羽毛、毛、角、蹄、魚鱗などに含まれるケラチンを分解し、低分子ペプチドやアミノ酸へ変換する酵素です。ケラチンはジスルフィド結合と疎水性相互作用によって強固に安定化されているため、一般的なタンパク質原料よりも分解が難しく、keratinase enzymeの役割は、酵素アクセスが困難なタンパク質構造を段階的に崩すことにあります^[1]。

動物飼料用途では、羽毛ミールやケラチン性副産物の利用性改善、アミノ酸消化性の向上、未利用窒素の低減、副産物の付加価値化が主要な目的になります。羽毛分解の研究では、ケラチナーゼによるペプチド結合の加水分解に加え、ジスルフィド結合を緩和する酵素系との相乗作用が重要であることも示されています^[4]。

Enzymes.bioは、Keratinaseを1 kg単位でオンライン供給するB2B酵素サプライヤーです。製品は動物飼料調製向けの用途に関連づけられており、注文時にはCoAとSDSが提供されます。Keratinaseの実務上の価値は、誇張すれば「万能な分解酵素」ではなく、正確には「難分解性ケラチンを、飼料・副産物処理・資源循環で扱いやすいペプチド資源へ近づける酵素技術」にあります。

Keratinase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。

[Keratinase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. Su, C., Gong, J., Qin, J., Li, H., Li, H., Xu, Z., & Jin-Shi (2020). The tale of a versatile enzyme: Molecular insights into keratinase for its industrial dissemination. *Biotechnology Advances*, 107655 .
2. Wang, Z., Chen, Y., Yan, M., Li, K., Okoye, C., Fang, Z., Ni, Z., ... et al. (2023). Research progress on the degradation mechanism and modification of keratinase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, 1003-1017.
3. Shuai-Peng, Li, H., Zhang, S., Zhang, R., Cheng, X., & Kun-Li (2023). Isolation of a novel feather-degrading Ectobacillus sp. JY-23 strain and characterization of a new keratinase in the M4 metalloprotease family. *Microbiology Research*, 274, 127439 .
4. Li, K., Li, G., Shuai-Peng, & Tan, M. (2023). Effective biodegradation on chicken feather by the recombinant KerJY-23 Bacillus subtilis WB600: A synergistic process coupled by disulfide reductase and keratinase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127194 .
5. Prado-Acebo, I., Cubero-Cardoso, J., Lu-Chau, T., & Eibes, G. (2024). Integral multi-valorization of agro-industrial wastes: A review. *Waste Management*, 183, 42-52 .
6. Yan, M., Chen, Y., Feng, Y., Saeed, M., Fang, Z., Zhen, W., Ni, Z., ... et al. (2024). Perspective on Agricultural Industrialization: Modification Strategies for Enhancing the Catalytic Capacity of Keratinase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
7. Yahaya, R. S. R., Normi, Y. M., Phang, L., Ahmad, S., Abdullah, J., & Sabri, S. (2021). Molecular strategies to increase keratinase production in heterologous expression systems for industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105, 3955 - 3969.

8. Duan, C., Wang, Y., Xiong, T., Zhang, Z., Han, H., & Peng, S. (2026). Signal peptide engineering of a novel M4 family keratinase and the action mechanism in promoting pepper tolerance to salt stress through KerJY23-hydrolyzed feather waste. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 13, 480 - 492.

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。