

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzyme：アミノ酸水溶性肥料・有機液肥のタンパク質加水分解に用いるプロテアーゼ系酵素

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

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、タンパク質性原料をペプチドや遊離アミノ酸へ低分子化し、アミノ酸水溶性肥料、有機液肥、粉末水溶性肥料向け原料の処理を支えるプロテアーゼ系酵素資材です。Enzymes.bioは本製品を製造業者ではなく供給業者としてオンラインで1 kg単位販売しており、注文時にCoAおよびSDSが併せて提供されます。本製品の価値は「作物効果を単独で保証すること」ではなく、タンパク質副産物を水系処方に組み込みやすい可溶性窒素成分へ変換する工程機能にあります。

製品の位置づけ：肥料そのものではなく、原料変換のための酵素資材

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、魚粉、植物性タンパク、酵母・発酵由来原料、食品加工副産物など、タンパク質を含む有機原料を水溶性肥料処方へ近づけるために使われる酵素です。Enzymes.bioの土壌・作物向け酵素カテゴリーでは、肥料製造、土壌・作物用途、有機物分解、コンポスト、有機廃棄物処理に関わる酵素資材が掲載されており、本製品もその文脈で理解するのが適切です。

農業資材の現場では、「アミノ酸肥料」「有機液肥」「水溶性肥料」「バイオスティミュラント」「有機副産物の資源化」がしばしば同じ議論に入ります。しかし、酵素資材と最終肥料は役割が異なります。酵素は反応を促進する触媒であり、窒素、リン、カリウム、微量元素を無限に生成するものではありません。最終的な肥料価値は、原料中のタンパク質量、窒素含量、ミネラル組成、処方設計、土壌条件、施用方法に依存します。

特に本製品は、タンパク質のペプチド結合を加水分解するプロテアーゼ系の働きを利用する点が中心です。未分解のタンパク質は水中で不均一な懸濁、沈殿、粘度上昇、濁り、配管やノズルの目詰まり要因になり得ます。これに対し、酵素加水分解でペプチドやアミノ酸を増やすと、水系処方における分散性・可溶性・取り扱い性の改善が期待されます。

なぜアミノ酸水溶性肥料にプロテアーゼ処理が使われるのか

アミノ酸水溶性肥料の製造では、原料タンパク質をそのまま混ぜるだけでは、処方の均一性と施用適性に限界が出ます。高分子タンパク質は分子量が大きく、原料ごとに熱履歴、脂質量、繊維量、灰分、変性度が異なるため、水中で同じ挙動を示しません。水溶性肥料として安定した原料に近づけるには、タンパク質をより短いペプチド、さらに遊離アミノ酸へ低分子化する工程が有効です。

プロテアーゼは、タンパク質中のペプチド結合を水で切断する酵素群です。反応の概念は単純で、タンパク質に水が関与し、酵素の触媒作用によってペプチドやアミノ酸が生成します。工業酵素では、温度、pH、基質構造、阻害物質、処理時間などが反応効率に影響し、安定性や工程適合性が用途設計の重要点になります^[1]。

この低分子化は、単に「溶けやすくする」だけではありません。肥料処方では、ほかの成分との相互作用も変わります。たとえば、微量元素、腐植酸、フルボ酸、有機酸、海藻抽出物、糖由来成分、リン酸塩、カリウム塩と混合する場合、高分子タンパク質が多い処方では沈殿や凝集が起きやすくなることがあります。低分子ペプチドやアミノ酸を主体にした処方は、こうした水系配合での均一化を進めやすい方向に働きます。

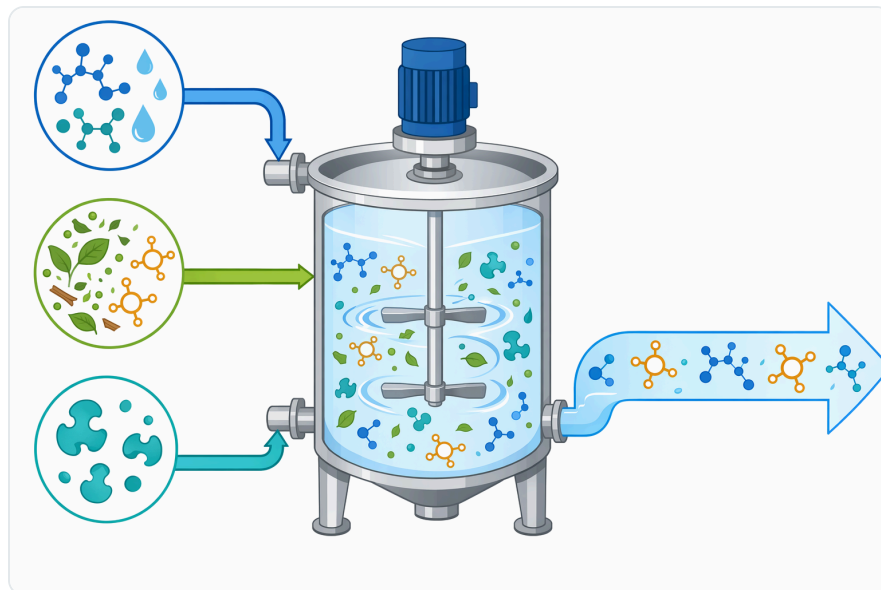


Figure 1. 이 효소는 아미노산 기반 수용성 영양소와 유기 인 전환이 만나는 지점에서 촉매적 가공 성분으로 자리한다.

ただし、酵素処理がすべての安定性問題を解決するわけではありません。金属イオン、pH、塩濃度、有機酸濃度、フミン物質、乾燥工程、保管温度などは、最終製品の外観や流動性に影響します。Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、処方全体の万能安定化剤ではなく、タンパク質画分を水溶性肥料原料として扱いやすくするための前処理酵素として位置づけるべきです。

作用機序：タンパク質からペプチド、アミノ酸への段階的な変換

タンパク質は、アミノ酸がペプチド結合で連結した高分子です。プロテアーゼ処理では、まずタンパク質鎖の内部や末端が切断され、大きなタンパク質が中鎖ペプチド、短鎖ペプチド、遊離アミノ酸へ段階的に変換されます。この過程で分子サイズが低下し、水相中での分散性が変化します。

簡略化すると、反応は次のように表せます。

タンパク質 + 水 → ペプチド + 遊離アミノ酸

この反応では、酵素は消費される原料ではなく、反応の活性化エネルギーを下げる触媒として働きます。したがって、原料のタンパク質量が少ない場合、生成されるアミノ酸・ペプチド量も限られます。逆に、タンパク質含量が高くても、原料が強く変性していたり、脂質や繊維に包埋されていたりすると、酵素が基質へ接触しにくくなります。

プロテアーゼ処理の実務的な意味は、「原料中の有機窒素を、処方上扱いやすい形態へ移す」ことです。未分解タンパク質は懸濁固形物として残りやすいのに対し、ペプチドやアミノ酸は水相へ移行しやすく、液状肥料や粉末水溶性肥料の中間原料として利用しやすくなります。工業酵素の応用では、こうした基質特異性、反応環境、酵素安定性の組み合わせが製造工程の成否を左右します^[1]。

アミノ酸肥料の農学的背景：直接の栄養源だけでなく、根圏との相互作用が重要

アミノ酸肥料は、単なる有機窒素源としてだけでなく、根圏微生物や植物生理と関係する資材として研究されています。2023年の研究では、アミノ酸肥料が作物収量や品質への肥料効果を示すだけでなく、有益な根圏微生物のリクルートを通じて土壌健康に寄与する可能性が報告されています^[2]。これは、アミノ酸資材の効果を植物体への直接吸収だけで説明するのではなく、根圏環境の変化として捉える必要があることを示します。

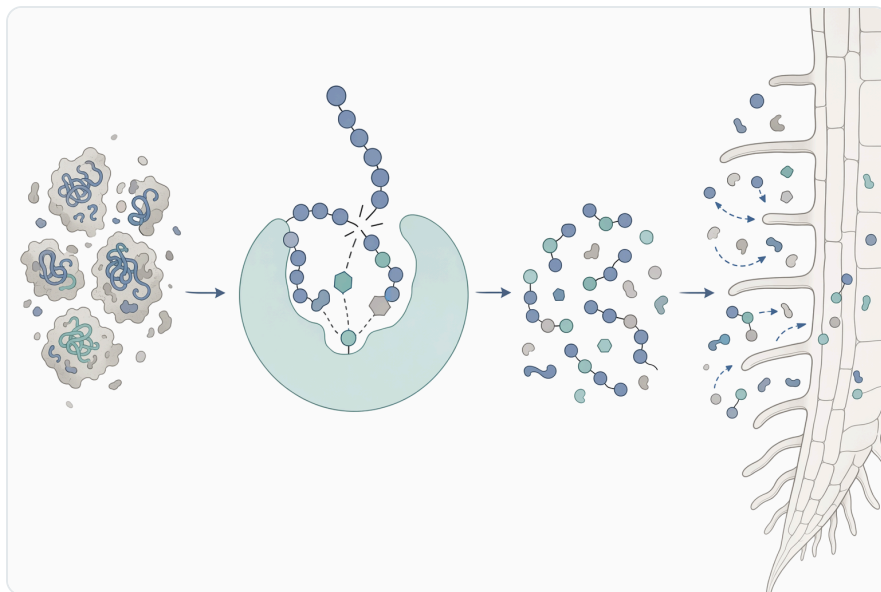


Figure 2. 가수분해는 기존 염을 단순히 용해하는 것이 아니라 피틴산 유형 기질에서 인산기를 점진적으로 제거한다.

根圏では、植物根、微生物、有機酸、アミノ酸、酵素、無機養分が相互作用します。内生・根圏の有益細菌は、窒素固定、リン可溶化、植物ホルモン様物質の生成、ストレス応答の調節など、複数の機序で植物成長を支援し得ることが整理されています^[3]。このため、アミノ酸水溶性肥料の設計では、化学組成だけでなく、土壌微生物相や根圏反応への影響も検討対象になります。

一方で、酵素で作ったアミノ酸含有原料が、どの作物でも同じ効果を示すとは限りません。アミノ酸肥料の効果は、作物種、品種、生育段階、土壌有機物、pH、水分、既存施肥、微生物相に左右されます。したがって、Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeの役割は「収量向上を直接発生させる投入材」ではなく、「アミノ酸・ペプチド含有肥料を設計するための原料変換ツール」と表現するのが科学的に正確です。

葉面施用・根圏施用におけるアミノ酸液肥研究との接点

アミノ酸液体肥料の葉面施用に関する研究では、単独施用と微生物資材との組み合わせが作物収量や葉面微生物相に影響する可能性が示されています。ササゲを対象にした研究では、アミノ酸液体肥料を葉面施用し、*Bacillus amyloliquefaciens* SQR9を併用した条件も含めて、収量および葉の微生物叢への影響が検討されています^[4]。この結果は、アミノ酸資材が植物表面・根圏・微生物相と結びついて評価されることを示すものです。

ただし、このような研究は「アミノ酸液体肥料」や「特定微生物との組み合わせ」を対象としており、Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeそのものの圃場効果を直接示すものではありません。本製品は最終施用材ではなく、原料タンパク質を処理する酵素資材であるため、最終製品の性能は処方設計に依存します。

たとえば、同じプロテアーゼ処理原料を使っても、葉面散布用、灌注用、点滴灌漑用、粉末水溶性肥料用では、求められる溶解性、塩濃度、pH、相溶性、沈殿リスクが異なります。葉面施用では葉面残渣や薬害リスク、灌注では土壌中での微生物分解や吸着、点滴灌漑では濾過性やノズル閉塞が問題になります。酵素処理はこれらのうち、主にタンパク質由来の不溶性・不均一性を低減する役割を担います。

水溶性肥料技術との関係：溶けること、放出されること、利用されることは別問題

水溶性肥料では「水に溶ける」ことが重要ですが、それだけで肥料効果が決まるわけではありません。溶解性は施用時の均一性、配管適性、タンク混合性に関係しますが、作物が利用する段階では、根圏での保持、移動、吸収、微生物変換、土壌粒子への吸着も影響します。

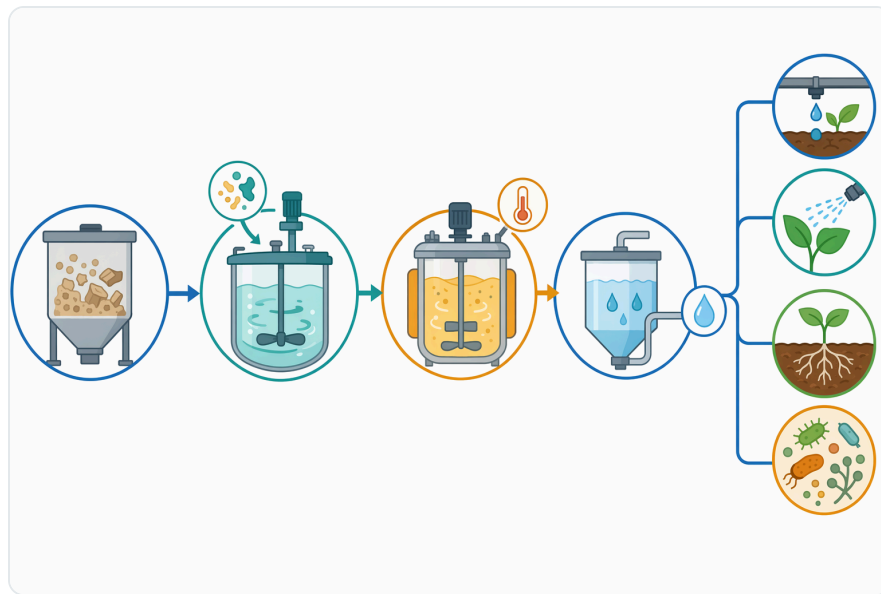


Figure 3. 수용액 효소 처리는 미네랄 및 아미노산 성분이 수용성 비료 혼합물로 최종 확정되기 전에 선택된 유기 영양 성분을 전환할 수 있다.

水溶性肥料の栄養放出制御に関する研究では、ポリ乳酸／セルロースアセテート系バイオ複合膜を用い、水溶性肥料からの養分放出を制御・遅延させるアプローチが検討されています^[5]。これは、肥料設計では「成分を水に溶かす」だけでなく、「いつ、どこで、どの速度で利用可能にするか」が重要であることを示しています。

また、フルボ酸を富化した水溶性肥料をジャガイモに用いた研究では、点滴灌漑条件下で生育、収量、水・肥料利用効率への影響が評価されています^[6]。このような研究は、水溶性肥料が灌漑管理や有機成分との組み合わせによって機能することを示します。Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeによる加水分解原料も、最終的にはこうした水管理、施肥設計、配合成分との関係の中で評価されます。

微量元素・リン・マンガンとの処方上の考え方

アミノ酸や短鎖ペプチドは、有機窒素源としてだけでなく、処方中の微量元素や無機養分との相互作用が検討されることがあります。リンについては、根圏微生物が難溶性リンを可溶化し、植物のリン栄養を改善する可能性がレビューされています^[7]。アミノ酸肥料処方にリン酸源や微生物資材を組み合わせる場合、単一成分ではなく、根圏での養分循環全体を考える必要があります。

マンガンについても、土壌中での可給性は酸化還元状態、pH、微生物活性に左右されます。マンガン可溶化微生物に関する研究では、微生物ポテンシャルを利用して植物へのマンガン供給と土壌健康を改善する持続的アプローチが整理されています^[8]。別の研究では、マンガン可溶化Bacillus属がトウモロコシの成長とマンガン吸収に関わる可能性が示されています^[9]。

ここで重要なのは、Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeが微量元素可溶化菌ではないという点です。本製品は微生物資材ではなく、主にタンパク質加水分解を担う酵素資材です。ただし、酵素処理で得たアミノ酸・ペプチド含有原料は、リン、マンガン、鉄、亜鉛などを含む水溶性肥料処方の一部として組み込まれる可能性があります。その場合も、沈殿、相溶性、土壌中での挙動は配合全体として評価されます。

ストレス条件下の作物栄養設計との関係

塩ストレス、乾燥、重金属ストレスなどの条件では、植物の栄養吸収、酸化ストレス、光合成、浸透調整が大きく変化します。たとえば、塩ストレス条件下の小麦では、Azotobacter接種に対する品種差が検討され、微生物資材が塩ストレス下の植物応答に関与する可能性が示されています^[10]。これは、ストレス管理型の肥料設計では、窒素形態や根圏生物との関係が重要になることを示します。

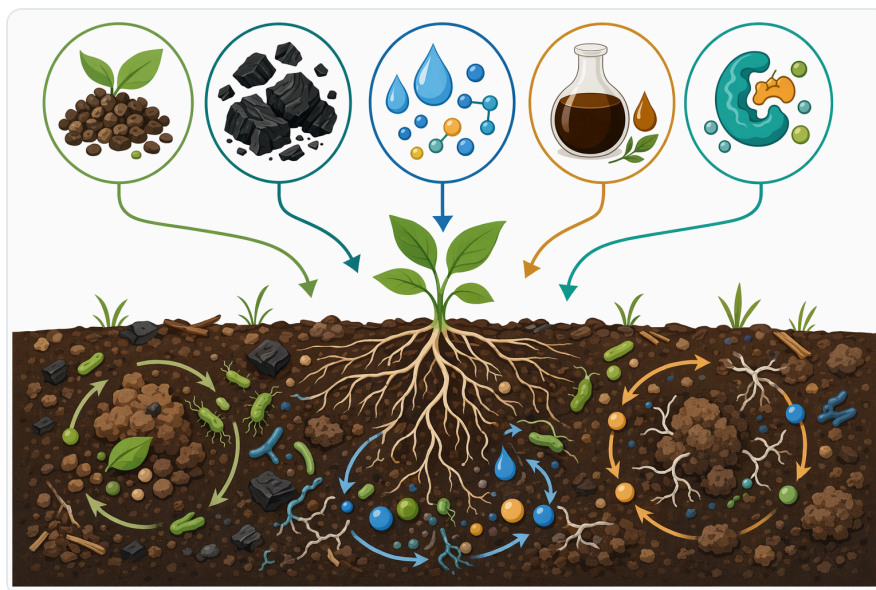


Figure 4. 비료의 성능은 토양 효소, 유기 탄소, 미생물, 뿌리 및 영양소 형태가 관여하는 생화학적 순환과 관련된다.

重金属ストレスについても、セレンがニンニクのカドミウム毒性を軽減し、養分吸収、抗酸化応答、光合成応答を改善する可能性が報告されています^[11]。また、ヒ素毒性下のイネ苗では、植物抽出物がヒ素取り込みを抑え、抗酸化系を改善する可能性が示されています^[12]。これらは、作物ストレス応答が単一栄養素ではなく、吸収抑制、抗酸化、防御系、光合成維持の複合過程であることを示しています。

アミノ酸・ペプチド含有肥料は、こうしたストレス管理型処方の一部として検討されることがあります。しかし、本製品を使った酵素処理だけで塩害、乾燥害、重金属障害を解決できるわけではありません。Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、ストレス耐性剤ではなく、タンパク質性原料をアミノ酸水溶性肥料に適した形へ変換する工程資材です。

主要用途別の整理

以下の表は、Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeの用途を、目的、対象原料、期待される工程上の利点、注意点に分けて整理したものです。

用途	対象になりやすい原料	酵素処理の主な目的	期待される工程上の利点	注意点
アミノ酸水溶性肥料の製造	植物性タンパク、発酵副産物、魚系原料、食品加工副産物	タンパク質をペプチド・アミノ酸へ低分子化	可溶性窒素画分の増加、沈殿低減、処方均一化	最終効果は原料組成と処方に依存

用途	対象になりやすい原料	酵素処理の主な目的	期待される工程上の利点	注意点
有機液肥の原料処理	有機窒素原料、酵母系原料、タンパク質残渣	液状化しやすい有機窒素原料への変換	攪拌・混合・濾過工程の扱いやすさ向上	脂質・繊維・灰分が多い原料では別課題が残る
粉末水溶性肥料向け中間原料	酵素加水分解液、濃縮液、乾燥原料	再溶解しやすい有機成分の設計	水溶性処方への組み込みやすさ	高温乾燥や過酷な処理で酵素・成分が影響を受ける場合がある
コンポスト・有機廃棄物処理の補助	タンパク質を含む有機残渣	タンパク質画分の分解促進	有機物分解工程の一部を支援	分解全体は水分、通気、C/N比、微生物相にも依存
複合肥料処方の一部	アミノ酸・ペプチド含有液とNPK、微量要素、腐植酸など	有機窒素成分を配合へ組み込む	処方の差別化、根圏設計への応用	相溶性、沈殿、施用方法を処方全体で考える必要

この表から分かるように、本製品の中心価値は「作物へ直接作用する成分」ではなく、「タンパク質性原料を水溶性肥料へ組み込みやすくする反応工程」にあります。Enzymes.bioの土壌・作物向け酵素カテゴリーが示すように、酵素資材は肥料製造、有機物分解、コンポスト、土壌・作物用途の間をつなぐ補助技術として利用されます。

酵素処理で得られる原料と、未処理タンパク質原料の違い

未処理タンパク質原料と、プロテアーゼ処理後のアミノ酸・ペプチド含有原料では、肥料処方上の性質が異なります。下表は、製造・処方設計の観点から違いを整理したものです。

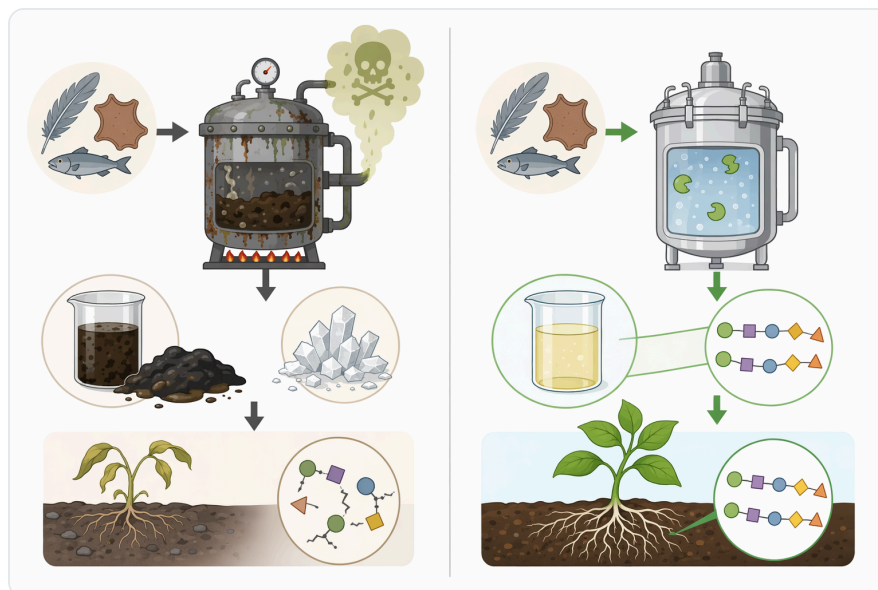


Figure 5. 무기염, 아미노산 성분, 촉매 효소, 휴믹 물질 및 바이오차 개량제는 주요 기능과 작용 메커니즘이 서로 다르다.

比較項目	未処理タンパク質原料	プロテアーゼ処理後の原料
分子サイズ	高分子タンパク質が多い	ペプチド・遊離アミノ酸が増える
水中挙動	懸濁、沈殿、濁りが出やすい	可溶性・分散性が改善しやすい
液肥処方	粘度上昇や不均一化の要因になり得る	混合・移送・均一化に適しやすい
粉末水溶性肥料	再溶解時に残渣が出る場合がある	再分散・再溶解性を設計しやすい
根圏での挙動	微生物分解を経て徐々に変換	低分子有機成分として速やかに関与しやすい
制限要因	原料差、変性、脂質・繊維、粒子径	過加水分解、臭気、塩類、処方相溶性

この違いは、アミノ酸肥料が根圏微生物や土壌健康に関わるという研究背景とも整合します。アミノ酸肥料が有益な根圏微生物をリクルートし、作物収量・品質と土壌健康に寄与する可能性が報告されているため、酵素加水分解による原料設計は根圏機能を考える処方開発にもつながります^[2]。

産業用途：どのような現場で使われるか

アミノ酸水溶性肥料の製造

本製品の最も直接的な用途は、タンパク質性原料をアミノ酸・ペプチド含有の水溶性肥料原料へ変換することです。肥料ブレンド業者や有機液肥の処方担当者にとって、原料を「溶ける」「混ざる」「沈みにくい」形に近づけることは、製品の扱いやすさに直結します。

この用途では、最終製品が葉面散布、灌注、点滴灌漑、粉末水溶性肥料のどれを想定するかによって、必要な処方特性が変わります。点滴灌漑では水溶性と懸濁残渣が特に重要になり、粉末品では乾燥後の再溶解性が問題になります。酵素加水分解は、これらのうちタンパク質由来の不溶性を低減するための工程として機能します。

有機副産物の資源化

食品加工、発酵、農畜水産加工では、タンパク質を含む副産物が発生します。これらを低価値処理に回すのではなく、酵素加水分解でアミノ酸・ペプチド含有原料へ変換できれば、循環型肥料原料としての利用可能性が広がります。

この資源化の意義は、廃棄物削減だけではありません。原料タンパク質を低分子化することで、水溶性肥料、複合液肥、微量要素配合肥料、有機質入り肥料への組み込みが容易になります。アミノ酸肥料が根圏微生物を介して土壤健康に関与し得るという知見は、有機副産物を単なる窒素源ではなく、根圏環境に関わる処方原料として捉える根拠になります^[2]。

コンポスト・有機廃棄物処理の補助

コンポストや有機廃棄物処理では、タンパク質、セルロース、ヘミセルロース、脂質、リグニン様成分などが同時に存在します。Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeのようなプロテアーゼ系資材は、このうちタンパク質画分の分解を補助する位置づけです。

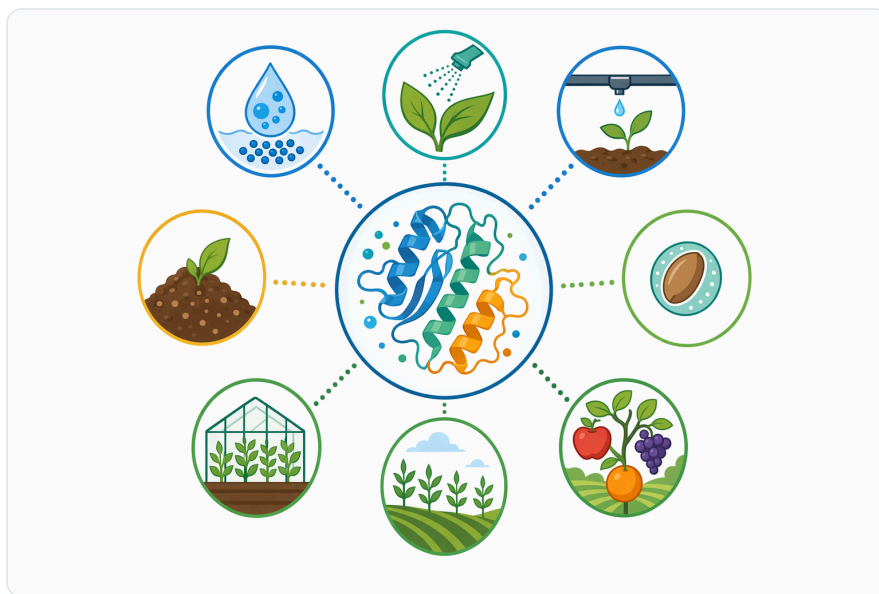


Figure 6. 이 효소는 수용성 가공, 아미노산 혼합물, 유기 원료의 고도화 또는 통제 환경 영양 관리에서 유기 인 전환이 필요한 경우에 가장 관련성이 높다.

ただし、コンポスト全体の分解速度は、温度、水分、通気、炭素窒素比、粒子径、微生物相に大きく左右されます。プロテアーゼはタンパク質分解には関与しますが、繊維質や脂質の分解を単独で担うものではありません。したがって、コンポスト用途では複合的な有機物分解プロセスの一部として扱う必要があります。

複合肥料・バイオスティミュラント系処方

アミノ酸・ペプチド含有原料は、窒素源としてだけでなく、フルボ酸、腐植酸、海藻抽出物、糖類、有機酸、微量要素、微生物資材などと組み合わせられることがあります。水溶性肥料研究では、フルボ酸富化肥料が灌漑条件下で生育や水・肥料利用効率に関係することが示されており、有機成分を組み込んだ処方設計の重要性が高まっています^[6]。

ただし、複合化は利点だけでなく、相溶性の課題も伴います。アミノ酸やペプチドは金属イオンと相互作用する場合があります、pHやリン酸、硫酸塩、炭酸塩、腐植物質の存在下で沈殿や濁りが起こることがあります。そのため、酵素処理原料を最終肥料へ組み込む際には、処方全体の物理化学的な整合性が重要です。

期待できる利点と、過大評価すべきでない点

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeの主な利点は、タンパク質性原料の可溶化、液状・粉末水溶性肥料への適合性向上、有機副産物の付加価値化、処方開発の柔軟性です。強酸・強アルカリによる分解と比べ、酵素処理は穏やかな水系条件で進められる可能性があり、過度な化学的負荷を避けたい処方で選択肢になります。

一方で、本製品を「収量向上剤」「耐乾燥剤」「土壌改良剤」と単純に表現するのは適切ではありません。アミノ酸肥料や微生物資材が作物収量、品質、根圏微生物、土壌健康に関与する研究はありますが、それらは特定処方、特定作物、特定条件での結果です^{[4][2]}。酵素処理資材そのものが、すべての作物条件で同じ農学的効果を生むわけではありません。

特に注意すべき点は、酵素が栄養素を「生成」するのではなく、原料中に存在するタンパク質を別の形へ「変換」することです。原料に十分なタンパク質がなければ、アミノ酸・ペプチドの生成量も限られます。原料中に塩類、脂質、難分解繊維、阻害性成分が多い場合、酵素処理後も沈殿、臭気、濁り、相溶性の問題が残ることがあります。

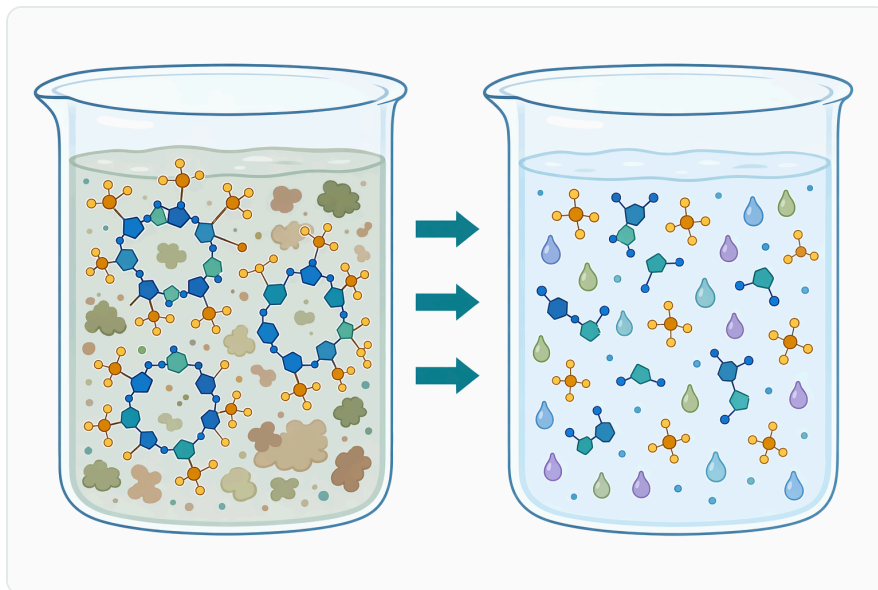


Figure 7. 효소 처리는 피틴산을 함유한 혼합물을 더 작은 인 중간체와 방출된 인산염 쪽으로 전환시킨다.

Enzymes.bioからの入手形態と文書提供

Enzymes.bioは本製品の製造業者・研究所ではなく、B2B向け酵素供給業者です。Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、オンラインで1 kg単位の直接購入に対応する土壌・作物向け酵素カテゴリーの製品として扱われます。CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されるため、購入後の受領文書として安全情報とロット関連情報を確認できます。

この位置づけから、本稿で扱う内容も「製品を用いた特定作物の圃場成績」ではなく、「プロテアーゼ系酵素がタンパク質性原料をアミノ酸水溶性肥料向けに変換する技術的背景」に限定されます。供給業者として提示できる価値は、オンラインでの入手性、1 kg単位の販売、注文時の文書提供、用途理解のための技術情報です。

まとめ：水溶性アミノ酸肥料の品質設計を支える前処理酵素

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzymeは、タンパク質性原料をペプチドと遊離アミノ酸へ加水分解し、アミノ酸水溶性肥料、有機液肥、粉末水溶性肥料の原料処理を支えるプロテアーゼ系酵素資材です。未処理タンパク質に由来する沈殿、不均一性、粘度、溶解性の課題を低減し、処方へ組み込みやすい低分子有機窒素成分を得る工程に適しています。

農学的には、アミノ酸肥料が根圏微生物、作物品質、土壌健康に関与する可能性が報告されており、葉面施用や微生物資材との併用研究も進んでいます^{[4][2]}。しかし、本製品は最終肥料の効果を単独で保証するものではなく、原料タンパク質を水溶性肥料に適した形へ変換するための工程資材です。

Enzymes.bioでは本製品を1 kg単位でオンライン直接販売しており、CoAおよびSDSは注文時に併せて提供されます。タンパク質性副産物の資源化、アミノ酸水溶性肥料の製造、有機液肥の処方設計、コンポスト・有機廃棄物処理の補助において、本製品は「肥料効果を直接語る成分」ではなく、「肥料原料を使いやすく変換する酵素」として評価するのが最も実務的です。

Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzyme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。

[Amino Acid Water-Soluble Fertilizer Enzyme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. Wu, H., Chen, Q., Zhang, W., & Mu, W. (2021). Overview of strategies for developing high thermostability industrial enzymes: Discovery, mechanism, modification and challenges. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63, 2057 - 2073.
2. Wang, X., Zhang, Y., Xu, W., Cheng, J., Liu, J., Pei, W., Wang, J., ... et al. (2023). Amino acid fertilizer (AAF) strengthens its fertilizer effects on crop yield and quality by recruiting beneficial rhizosphere microbes, which contributes to improved soil health. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*.
3. Afzal, I., Shinwari, Z., Sikandar, S., & Shahzad, S. (2019). Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbiology Research*, 221, 36-49 .
4. Wang, D., Deng, X., Wang, B., Zhang, N., Zhu, C., Jiao, Z., Li, R., ... et al. (2019). Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. *PLoS ONE*, 14.
5. Assimi, T. E., Blažic, R., Vidović, E., Raihane, M., Meziane, A. E., Baouab, M., Khouloud, M., ... et al. (2021). Poly(lactide)/cellulose acetate biocomposites as potential coating membranes for controlled and slow nutrients release from water-soluble fertilizers. *Progress in Organic Coatings*.
6. Xu, F., Liu, Y., Li, J., Zhu, J., Wu, N., & Meng, A. (2025). Effects of a novel fulvic acid-enriched water-soluble fertilizer on potato growth, yield, and water-fertilizer use efficiency under different drip irrigation regimes. *Frontiers in Plant Science*, 16.

7. Sindhu, S. S., Phour, M., Choudhary, S., & Chaudhary, D. (2014). Phosphorus Cycling: Prospects of Using Rhizosphere Microorganisms for Improving Phosphorus Nutrition of Plants.
8. Khoshru, B., Mitra, D., Nosratabad, A. F., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R., ... et al. (2023). Enhancing Manganese Availability for Plants through Microbial Potential: A Sustainable Approach for Improving Soil Health and Food Security. *Bacteria*.
9. Ijaz, A., Mumtaz, M., Wang, X., Ahmad, M., Saqib, M., Maqbool, H., Zaheer, A., ... et al. (2021). Insights Into Manganese Solubilizing Bacillus spp. for Improving Plant Growth and Manganese Uptake in Maize. *Frontiers in Plant Science*, 12.
10. El-Nahrawy, S., & Yassin, M. (2020). Response of Different Cultivars of Wheat Plants (Triticum aestivum L.) to Inoculation by Azotobacter sp. under Salinity Stress Conditions.
11. Sepehri, A., & Gharehbaghli, N. (2019). Selenium Alleviate Cadmium Toxicity by Improving Nutrient Uptake, Antioxidative and Photosynthetic Responses of Garlic. *Russian journal of plant physiology*, 66, 152-159.
12. Gautam, A., Pandey, A., & Dubey, R. (2019). Azadirachta indica and Ocimum sanctum leaf extracts alleviate arsenic toxicity by reducing arsenic uptake and improving antioxidant system in rice seedlings. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26, 63 - 81.

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。