

アミノ酸肥料

アミノ酸 (amino acid) は、アミノ基とカルボキシ基の両方の官能基を持つ有機化合物の総称で、タンパク質を構成する基本単位で、自然界では 20 種類が知られている。「味の素」という名前で広く知られているグルタミン酸もアミノ酸の一種である。

アミノ酸は窒素を含有する小分子の有機物で、1946 年フィンランドの生物学者 Virtanen と Linkola 氏は植物根がアミノ酸を直接に吸収することを報告して以来、多くの研究もその結果を追認する。本邦でも東北大、東大、京大などの研究者も花芽分化時、低温や日照不足時などにアミノ酸や核酸類は特別の効果があることを報告している。

1990 年代から一部の中小肥料メーカーから「アミノ酸肥料」という商品名でアミノ酸入り液体肥料を販売している。特に葉面散布用液肥としてある程度の認知を得ている。ただし、アミノ酸肥料といっても、その中身は大体アミノ酸数%の水溶液に尿素やりん酸一安 (MAP)、りん酸一加里 (MKP) と微量元素などを溶かしたものである。保証成分は配合している化学肥料から由来するものであり、肥料登録も液体複合肥料として登録されることに注意すべきである。

アミノ酸肥料に配合している化学肥料や微量元素の製造方法については、当肥料製造学の該当する章や節を参照してください。本篇はアミノ酸の製造方法だけを記述する。

肥料用アミノ酸はその原料と製造方法により酸分解法、酵素分解法と発酵法に大別される。以下はそれぞれの製造方法について簡単に説明する。

一. 酸分解法

酸分解法は強酸で動物性または植物性タンパク質を加水分解して、アミノ酸を生成する方法である。原料は家畜や家禽の屠殺場廃棄物 (皮、屑肉、毛、蹄角、羽毛など)、製革工場の廃革、魚類残渣などの動物性ものから大豆粕など植物性のものまで幅広く、タンパク質含有量が 20%以上あれば大体問題なく使用できる。特に分解しにくい動物系廃棄物の皮、毛、蹄角、羽毛はこの方法を使用するしかない。使用できる原料種類が多く、製造工程が簡単で、生産コストが安く、製品の品質が良いため、肥料用アミノ酸は主にこの方法で製造している。

1. 反応原理：

タンパク質は数 10~数 100 個のアミノ酸がペプチド結合を形成し構成されたものである。塩酸または硫酸のような強酸が存在している状態に加熱処理されれば、タンパク質のペプチド結合が加水分解してカルボキシ基とアミノ基に戻され、個々のアミノ酸に分解される。その反応は図 1 に示す。

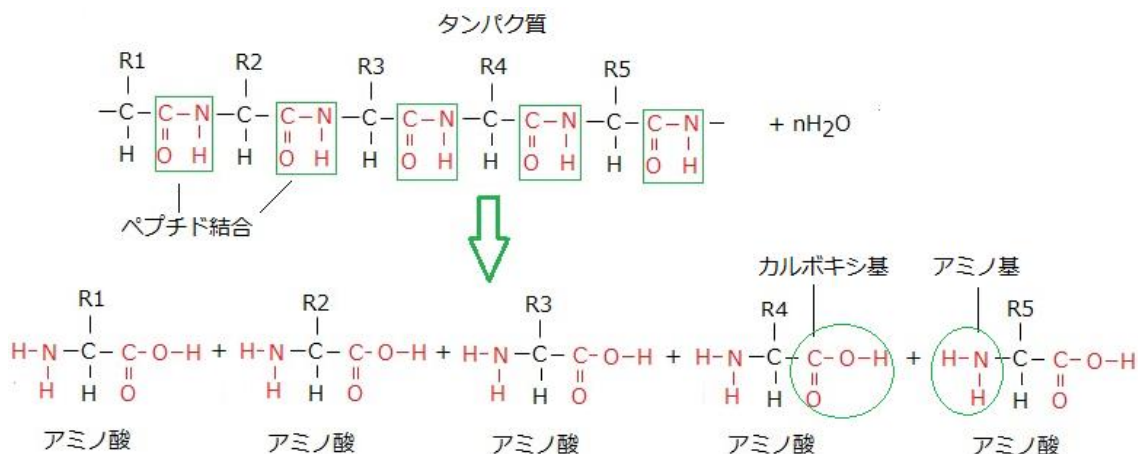
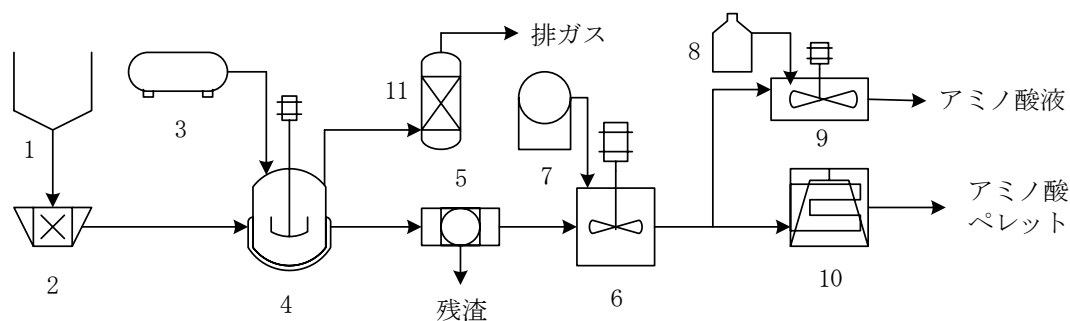


図 1. タンパク質の加水分解模式図

2. 生産工程

酸分解法の生産工程の概略は図 2 に示す。



1. タンパク質原料貯槽、 2. 粉砕機、 3. 酸貯槽、 4. 分解缶、 5. 遠心分離機、 6. 中和槽、 7. アルカリ貯槽、 8. 防腐剤貯槽、 9. 攪拌機、 10. 濃縮乾燥機、 11. 排ガス処理塔

図 2. タンパク質の酸分解法の生産工程概略図

まず、小石や金属片、木屑などの異物を取り除いた原料を粉砕機 (2) に投入し、0.5～2mm 程度に切断または破碎して攪拌機付の加圧分解缶 (4) に入れ、塩酸または硫酸を添加して、100～110℃に加熱し、攪拌しながら分解を行う。分解時間が6～24時間とする。

分解を終えた分解液を遠心分離機またはろ過機 (5) で分離し、未分解の残渣を除去する。アミノ酸の入っている上澄みを中和槽 (6) に送り、水酸化カリウム、炭酸水素アンモニウムなどアルカリ薬剤で pH6～7 まで中和してから防腐剤を添加して、液体製品とする。アミノ酸粉末を必要とする場合は、中和した上澄みに防腐剤を添加せず、濃縮乾燥器 (10) で減圧濃縮してペレット状まで乾燥させ、製品とする。

3. 注意事項

- ① 加熱分解時間： 加熱分解時間は原料種類により事前にテストして決定する。屑肉、大

豆粕など分解しやすいものは分解時間を短くにして、蹄角、毛髪などを構成するケラチンのような硬タンパク質は長くする必要がある。

② 分解に使う酸の種類と濃度： 塩酸または硫酸を使う場合が多い。塩酸を使う利点として、分解後の減圧蒸留濃縮の際に残留塩酸を揮発させ、製品から塩素を取り除くことができる。硫酸を使う場合は、価格が安く、塩化水素の漏洩がなく、設備などの初期投資が省く。通常、塩酸では 6N 前後のもの、硫酸では 50%前後のものを使用する。それより薄い酸を使う場合は、分解に時間がかかり、分解が不完全で、収率が低下する恐れがある。それより濃い酸を使う場合は、タンパク質の脱水炭化を引き起こすことがあり、アミノ酸の収量と品質が悪くなる。

③ 分解に使う酸の量： 分解時間の短縮とアミノ酸の収量向上を狙い、完全分解より過剰の酸を使用する。その後の中和工程では、残留している酸は水酸化カリウムまたは炭酸水素アンモニウムで中和され、カリウムまたはアンモニウム塩となり、肥料養分として無駄にすることがない。

④ 分解液の中和： 分解後、必ず分解液に残留している酸を中和する。中和には水酸化カリウムまたは炭酸水素アンモニウムを使う。廉価の水酸化ナトリウムを使うメーカーもあるが、製品に高濃度のナトリウムを有し、作物に悪影響を与える恐れがある。

二、 酵素分解法

酵素分解法は、タンパク質のペプチド結合をプロテアーゼという酵素を使って加水分解する方法である。酵素のタンパク質消化とも呼ばれる。タンパク質を組成するペプチド鎖のどちらかの一端から順次切断する酵素をエキソペプチダーゼ、ペプチド鎖の中程から切断する酵素をエンドペプチダーゼという。また、プロテアーゼは酵素分子の活性中心の違いによって以下の四つに分類される。セリン残基を活性中心に含むセリンプロテアーゼ(トリプシン、キモトリプシンなど)、システイン残基を含むチオールプロテアーゼ(パパインなど)、酸性アミノ酸を活性中心に含む酸性プロテアーゼ(ペプシンなど)、補酵素として金属イオンを含む金属プロテアーゼ(カルボキシペプチダーゼ A など)である。

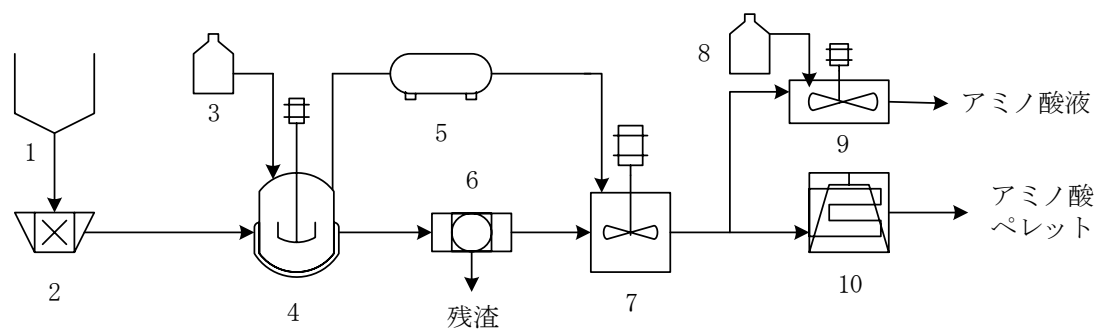
酵素分解法は使用できる原料が限定され、分解にかかる時間が長く、生産コストが高いうえ、分解が不完全で、収率が悪く、製品純度もよくないため、肥料用アミノ酸はこの方法を使用するところが少ない。

1. 原理

酵素の触媒作用でタンパク質を組成するペプチド鎖を加水分解して、アミノ酸またはペプチドを生成する。その分解式は図 1 と同じである。酵素分解は酸分解に比べ、分解条件が緩やかで、加熱や高圧の条件が必要ないが、分解には時間がかかり、分解産物はアミノ酸だけではなく、数個のアミノ残基より成るオリゴペプチドも生成する。

2. 生産工程

酵素分解法の生産工程概略は図 3 に示す。



1. タンパク質原料貯槽、 2. 粉砕機、 3. 分解酵素貯槽、 4. 分解缶、 5. pH調整剤貯槽、
6. 遠心分離機、 7. 中和槽、 8. 防腐剤貯槽、 9. 攪拌機、 10. 濃縮乾燥機

図 3. タンパク質の酵素解法の生産工程概略図

まず、小石や金属片、木屑などの異物を取り除いたタンパク質原料を粉砕機（2）に投入し、0.1～1mm 程度に破砕して攪拌機付の分解缶（4）に入れ、適宜の水を添加し、スラリーにする。pH を調節してからプロテアーゼを添加して、分解缶内の液温を 45～60℃に保ちながら攪拌し、分解させる。分解時間が 12～24 時間とする。

分解を終えた分解液を遠心分離機またはろ過機（6）で遠心分離またはろ過し、未分解の残渣を分離除去する。アミノ酸の入っている上澄みを中和槽に送り、硫酸または水酸化ナトリウムで pH6～7 まで中和してから防腐剤を添加し、液体製品とする。アミノ酸粉末を必要とする場合は、中和した上澄みに防腐剤を添加せず、濃縮乾燥器（10）で加熱濃縮してペレット状または粉状まで乾燥させ、製品とする。

3. 注意事項

- ① 原料： 酵素分解は穏やかな条件で分解を行うため、動物体の蹄角、爪、髪、羽毛などに含まれているケラチンのような硬蛋白質の分解には不適である。通常、屑肉、血液のような動物原料と大豆粕や菜種粕の植物原料を使う。
- ② 分解に使う酵素の種類： プロテアーゼの種類が多く、最終分解産物もアミノ酸からオリゴペプチドまでいろいろある。セリンカルボキシペプチダーゼとチオールプロテアーゼをよく使用する。事前分解テストを行って、基質により適するプロテアーゼを選定する必要がある。なお、分解時間の短縮と不完全分解で生成するオリゴペプチドを減らすため、数種類のプロテアーゼを配合して使用することが多い。
- ③ 分解液の pH： 酵素の活性が pH に強く影響されるので、事前テストで分解液の最適な pH を確定する必要がある。また、分解中に常に分解液の pH を観測して、最適な状態を維持する必要がある。通常、分解液の pH を 7～9 にすることが多い。
- ④ 分解温度： 酵素の活性が温度にも強く影響されるので、大体 60℃まで温度が高いほど

酵素活性が強くなる。但し、60℃を超えると、ほとんどの酵素が熱変性し、活性が失ってしまう。通常、液温を45～55℃に保つことが多い。

⑤ 分解液の殺菌： 分解後、必ず分解液を殺菌する。分解液に多量のアミノ酸があり、微生物の繁殖に適している。殺菌しない場合はすぐ腐ってしまう。殺菌は蒸発濃縮に伴う加熱殺菌または防腐剤を添加する方法があり、製品の用途と形態に合わせて最適の方法を採用する。

三、発酵法

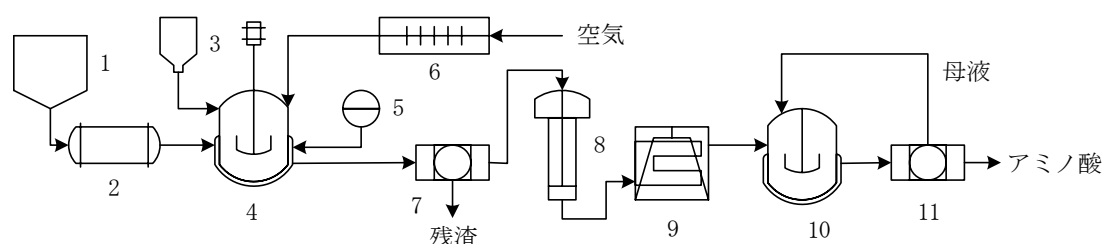
発酵法は、微生物が外部から栄養をとって微生物自身に必要なさまざまな生体成分に変換していく仕組みを利用してアミノ酸を作る方法である。食用調味料のグルタミン酸、家畜飼料用リジン、トレオニンなどはすべてこの方法で生産している。大がかりの設備が必要であるが、生産コストが安く、品質が非常によい特徴がある。一部の肥料用アミノ酸はこの方法で生産した飼料用アミノ酸を使用している。

1. 原理

糖蜜などの原料を使って、微生物を培養し、微生物の増殖とともに微生物体内にアミノ酸が生成される。ここで重要な役割を担うのが微生物である。微生物の体内に多くの酵素を有し、酵素の働きで、炭水化物と窒素からアミノ酸を合成する。発酵のプロセスには微生物体内に10～30種類ほどの酵素が関与し、さまざまなアミノ酸がつくられる。

2. 生産工程

発酵法の実験工程の概略は図4に示す。



1. 培地調整タンク、2. 培地殺菌器、3. 発酵菌種タンク、4. 発酵槽、5. 培地pH調節装置、6. 空気殺菌器、7. 遠心分離機Ⅰ、8. 分離精製装置、9. 濃縮器、10. 結晶缶、11. 遠心分離機Ⅱ

図4. 発酵法によるアミノ酸生産工程概略図

まず、調合した培養液は培地殺菌器(1)を通し、加熱殺菌してから攪拌機付きの発酵槽(4)に入れ、発酵菌種を投入して培養する。好気発酵であるため、空気殺菌器(6)で除塵・殺菌した無菌空気を絶えずに供給する必要がある。発酵が終了した培養液を抜き出し、遠心分離機Ⅰ(7)で発酵菌の菌体を分離して、上澄みを分離精製装置(8)でアミノ酸を分離精製する。なお、分離精製は培養液を単純に中和・濃縮して結晶を得る方法からイオ

ン交換樹脂で分離してからさらに濃縮して結晶を得る方法までアミノ酸の種類により異なる。分離したアミノ酸液が減圧濃縮器 (9) で水分を蒸発して濃縮し、結晶缶 (10) でさらに濃縮し、アミノ酸の結晶を析出させる。析出したアミノ酸を遠心分離機Ⅱ (11) で分離し、製品とする。分離した母液は再び結晶缶 (10) に戻される。

3. 注意事項

- ① 菌種： 生産効率と収量が菌種に依存する。発酵効率の良い菌株の選択が非常に重要である。また、酸分解法と酵素分解法と異なり、発酵法は 1 種類の菌に 1 種のアミノ酸だけを生産するため、数種類アミノ酸の混合物が必要な場合は、別々に発酵して、得たアミノ酸を混合するしかない。
- ② 培養液の組成： 発酵菌の増殖速度、アミノ酸の合成と収量は培養液に依存する割合が大きい。発酵菌は糖類しか利用できないため、炭素源は糖蜜またはトウモロコシやキャッサバのデンプンを糖化した異性化糖を使用する。窒素源はアンモニアを使うことが多い。ほかにりん酸、カリウム、マグネシウム、鉄などのミネラル分、ビオチン、チアミンなどのビタミン類を添加する必要がある。
- ③ 培養液の pH： 培養時間の経過に伴い生成した代謝産物が蓄積し、培養液の pH が変動しているため、常に pH を計測して、発酵菌の増殖とアミノ酸生成に最適な pH を保つ必要がある。
- ④ 通気： 好気発酵であるため、常に発酵液に酸素を含む無菌空気を導入する必要がある。また、アミノ酸収量を上げるため、酸素濃度を高めた空気を供給することが有効である。
- ⑤ 培養液の糖分濃度と浸透圧： 培養時間の経過により、培養液中の糖分濃度が低下し、アミノ酸など代謝産物の蓄積が増え、培養液の浸透圧が上昇して、発酵菌の生産活性が低下する。対応策として糖分を徐々に添加する方法や、グリシンベタインを添加する方法で生産速度を高めたことが有効である。また、培養液量を追加して、それに相当する液量を抜くことにより生産性を高める手法もある。
- ⑥ 培養液の発泡： 通常、発酵の進行に伴い、培養液から大量の泡が発生する。発泡は培地成分、菌体成分、アミノ酸やその他の生産物、温度、pH などによって起因され、特定されないことが多い。発泡が多い場合は、発酵槽から培養液の吹き出しが起こり、雑菌の汚染の原因となり、発酵液量を減らさなければならないことになる。消泡剤等で処理するほか、排気とともに泡をサイクロンに導いて、機械的に破泡する手法もある。

上記の方法で生産したアミノ酸を原料にして、尿素、りん酸一安 (MAP)、りん酸一加里 (MKP) または硝酸加里、微量元素などを加え、溶解してろ過し、不溶物を取り除いたものはアミノ酸入り液体肥料となる。その配合処方企業ノウハウであるが、大体養液栽培肥料や葉面散布用肥料の処方をベースに水の代わりにアミノ酸液を使うだけで、一部は黒糖などを添加することもある。

一方、発酵法でアミノ酸を分離精製した後の発酵残渣（主に発酵菌の菌体）にまだ多量の窒素，りん酸と加里が含まれ、菌体肥料として使用されることが多い。一例として、フェニルアラニン発酵後の発酵残渣に有機態窒素が約 8%含まれ（乾物計算）、よく使われている大豆粕など植物性有機原料よりも高い。これらの発酵残渣を原料にして作った化成肥料もアミノ酸入り肥料またはアミノ酸有機入り肥料という名称で販売することが多い。