

第6章 総合考察

6.1 フィチン酸分解の重要性と問題点

リン酸は生命に不可欠のものであり、特に肥料や飼料添加物として大量に使われている。しかし、世界のリン鉱石の埋蔵量は有限であり、地球上で枯渇の傾向がみられる。リン資源を節減や開発することが厳しい問題になっている。

植物性飼料原料では、全リン中に占めるフィチン態リンの割合は、低いものでもダイズ粕で50%、一般的には70%前後と高い。しかし、豚、家禽などの単胃動物におけるフィチン態リンの利用率は低く、ほとんど消化されずに排泄される。畜産分野においては、飼料にフィターゼを添加することにより、飼料に多く含まれているフィチン態リンを加水分解させて、無機リンに転換する技術が、重要なリン資源節減課題の一つとなっている。これによって、飼料への無機リン酸塩の添加量を減少させるか、全く添加しなくても、家畜の栄養素を確保でき、リンの排泄量を30~50%減少することができる（Simonら、1990；Cromwellら、1993；Leiら1993；武政ら、1994；Adeolaら、1995；Liuら、1997；Qianら、1997；斎藤、1998, 2001）。この技術は家畜生産及び環境上の問題を解決する上で有効であろう。

今後、リン資源の節減と環境保全の観点から、飼料へのフィターゼ添加が普及され、無機リン酸塩の飼料への添加量が減少されると予想される。そうなると、家畜から排泄されたふん中のリン含量が著しく低下され、作物養分源としての価値を大きく低下させると推定される。そこで、堆肥のリン酸肥料効果を確保するた

めに、家畜の消化管に消化されずに排泄されたフィチン態リンの有効利用が重要な課題になると考えられる。それに、フィターゼによるフィチン酸の分解はZnやCuなどのミネラルに大きな影響を及ぼすため、これらの問題を解決する研究も重要になるろう。

6-2 フィターゼによる堆肥中のフィチン酸の分解

単胃家畜に消化されずに排泄されたフィチン態リンは、土壤に施用しても、植物にリン源として吸収利用されず、そのまま土壤に蓄積され、土壤中の有機態リンの50%を占めていると指摘している(Dalal, 1978)。これらのフィチン態リンを分解できれば、フィチン態リンの有効利用の向上を促進するだけでなく、環境汚染削減の点でも有意義であろう。この点について、第2章で家畜(豚、鶏及び牛)ふん堆肥及び稲わらに市販フィターゼを直接に添加する試みを行なった。実験結果は無機リンの放出量を10%程度増加できることがわかった。このことは、堆肥中のフィチン酸を加水分解させ、その肥料効果を高めることが可能であった。しかし、現状ではフィターゼの生産コストが高く、排泄されたふんにフィターゼを添加するのは、経営的に難しいであろう。

6-3 排泄されたフィターゼの残留効果の利用

飼料への無機リン酸塩添加量の節減とフィチン態リンの有効利用のために、単胃動物の飼料に植物または微生物由来のフィターゼ添加技術がさらに普及すると予想される。これによって、飼料中のフィチン態リンの一部が家畜の消化管内で無機リンに転換し吸収利用される。日本においては、微生物由来フィターゼは、1996年に飼料添加物として認可されている。それゆえ、単胃家畜

の飼料に添加して排泄されたフィターゼが、一定の時間で、家畜の消化管内で分解できず、排泄されたフィチン態リンをある程度分解し続けるかの問題となる。そこで、第3章において、排泄されたフィターゼのフィチン態リンの無機化に対する残留効果があるか否かを調べた。豚の飼料に500U/kgのフィターゼを添加した飼料で飼養した豚のふんに排泄されたフィターゼによって、豚の消化管で消化できず排泄されたフィチン態リンが、約半分に分解されることが明らかになった。これは、ふんに排泄された後でも、フィターゼは直線的に減衰することが確認された。このため、フィターゼの二次作用が発揮されることによって、残ったフィチン態リンの一部から無機リンの放出ができるし、堆肥の肥料価値の改善を促進できるものの、ふんに排泄されたフィターゼだけでは、ふん中のフィチン態リンを十分分解できないことが確認された。

6-4 フィターゼによるフィチン態リンの分解に及ぼすZn及びCuの影響の低減

フィチン酸のリン酸基はCaやZn及びCuなどのミネラルと結合しやすいので、植物飼料中のZnやCuの大半は、フィチン態リンと結合した形で存在していると考えられる(斎藤, 2001)。将来、飼料へのフィターゼの添加技術が普及することによって、フィターゼの作用により、フィチン態リンから無機リンを遊離するとともに、ZnやCuなども遊離し、家畜における吸収率が高まることが期待できる。子豚におけるZnとCuの排泄量に及ぼすフィターゼの影響についての研究によれば、子豚の飼料へのフィターゼ1,500U/kg(飼料)の添加により、ふんへのZnとCuの排泄量が

約 20% 減少することが示されている (Adeola, 1995)。

日本飼養標準 (農林水産技術会議事務局, 1998) では, 豚の微量無機物の要求量は, 発育ステージで異なるが, Zn で 50~100 mg/kg, Cu で 3~6 mg/kg (風乾飼料) とされている。しかし, 現在飼料への Zn や Cu などのミネラルは多量に添加されている (若澤ら, 1984, 磯部ら, 1999)。高濃度の Zn や Cu の飼料添加は, フィターゼによるフィチン態リンの分解にどれくらい影響を与えるか, さらに, 多量の Zn や Cu をふんに排泄されて, ふん中のフィチン態リンの分解に影響を与えるかなどの問題を懸念するため, 第 4 章で, トウモロコシ, マイロ及びダイズ粕中のフィチン態リンの分解に及ぼす Zn 及び Cu の影響を調べた。結果としては, トウモロコシ中のフィチン態リンの分解阻害率は Zn 及び Cu によって最も高かったが (5~20%), 単胃家畜の飼料では, 通常トウモロコシの配合比率が高くなっている。これゆえ, フィターゼによる飼料中のフィチン態リンの分解阻害に対する Zn 及び Cu からの影響も高くなると考えられる。これらは Zn 及び Cu を単独に添加したときの結果であるが, 実際には消化に伴って炭水化物, タンパク質, 脂肪などの栄養素が 80% 程度吸収されていくのに対して (亀高ら, 1991), Zn や Cu は 10~20% 程度しか吸収されない (高田, 2004)。このため, 消化管内での Zn と Cu の濃度は消化とともに高まって, フィチン態リンの分解阻害率はもっと数倍に達すると推定される。さらに, 飼料には Ca, Mg や Fe などのミネラルも添加されており, これらのミネラルも加わって, フィチン態リンの分解阻害は無視できないであろう。これらのミネラル同時に添加する場合には, フィチン態リンの分解がどの程度影響を受けるのか, また, ミネラルの間に相互作用があるかは今後の研究課題になる。

Zn 及び Cu は多量に飼料へ添加することに伴って、フィターゼによるフィチン態リンの分解に影響を与えるし、かつて家畜から排泄される Zn と Cu が高濃度に含むふんから調製した堆肥を施用した土壤に Zn や Cu が蓄積されて、重金属を過剰に蓄積した作物中のこれらの濃度が高まり、人間に対しても害作用を及ぼす危険性をはらんでいると考えられる。家畜の Zn 及び Cu の排泄量を減らすために、飼料への必要以上（日本飼養標準）の Zn と Cu の添加量を抑制させることは、飼料に添加したフィターゼの活性を最大限に発揮させ、フィチン態リンから無機リンに転換することを促進できるし、さらに、Zn 及び Cu による環境汚染の軽減を有意義であろう。

6-5 フィチン酸分解菌の分離と利用

微生物由来のフィターゼ製剤を用いて、飼料に含まれるフィチン態リンの分解に関する報告が多くなされている（Zyla ら，1989；Kornegay ら，1996；Qian ら，1996）。ダイズのフィチン酸含量がカビの接種によって減少することが認められている。（Wang ら，1980）。将来、フィターゼが家畜の飼料添加物として使用する技術の普及につれて、ふんに残ったフィチン態リンは難分解性のものが多くなると推定される。この部分のフィチン態リンを強力なフィチン酸分解菌によって、無機リンに遊離できれば、肥料価値を向上できるであろう。

自然界には、フィターゼを持つ微生物が多く存在しているが、その中から強力なフィチン態リン分解菌を分離できるかを目的として試みを行なった。研究結果により、堆肥化途中の牛ふんからフィチン酸 Na を入れた培地を用いて、糸状菌、細菌及び放線

菌のフィチン酸分解菌が多く分離された。特に糸状菌の中に、難分解性のフィチン酸 Zn やフィチン酸 Cu の分解菌を分離できることが明らかにした。

本実験で、フィチン酸 Zn とフィチン酸 Cu の分解能の高い糸状菌株及び未熟な牛ふん堆肥を直接市販の豚ふん堆肥に接種して、90 日間培養することにより、水分含量を 55%とした豚ふん堆肥の場合、無接種のものに比べて、無機リンの増加率は 17%、フィチン態リンの減少率は 21%高かったことが明らかにした。

このように、フィチン酸 Zn 及びフィチン酸 Cu のような難分解性のものを分解できる微生物を直接堆肥に接種して、微生物が生息している間に産生したフィターゼの作用で、堆肥中のフィチン態リンを分解できることが認められた。

今回の実験において、糸状菌株を接種してから 30~45 日目における当初含量に比した無機リンの増加率またはフィチン態リンの減少率は 90 日目の 70~90%に達した。この間に糸状菌株が活発に生育したと推定される。堆肥中の無機リンの増加はフィチン態リンからのものもあり、糸状菌の新陳代謝によるものもあり、また、菌株がほかのホスファターゼをもち、ほかの有機酸からの可能性があり、さらに、堆肥を培養した間に存在していたほかの微生物によるフィチン酸かほかの有機酸か由来したものもあると考えられる。

今回の実験で、時間的な制約により、堆肥中のフィチン酸塩の種類やフィターゼ活性の検証などの実験が行なわれなかった。しかし、堆肥に接種した糸状菌はフィチン酸 Zn 及びフィチン酸 Cu のような難分解性の分解能をもつことが確認されたので、堆肥中に難分解のフィチン態リンがあっても分解できるであろう。

未熟な牛ふん堆肥からフィチン酸分解菌が多く分離できたので、接種源として市販豚ふん堆肥に直接に接種した結果より、堆肥中のフィチン態リンの分解を促進できることが認められたが、分離した糸状菌株より低かった。しかし、経費・人力などから考えれば、豚や家禽などの単胃動物のふんに接種して、堆肥中のフィチン態リンの一部が分解できる方法と考えられる。堆肥のフィチン態リンの分解をもっと促進するには、フィチン酸 Zn 及びフィチン酸 Cu のような難分解性のフィチン酸を強力に分解できる菌株を多量に堆肥に接種することが必要であろう。

将来、家畜の飼料へのフィターゼ添加技術が普及すれば、家畜ふん中の無機リン含量が低下し、家畜ふん堆肥のリン酸肥料としての価値が低下すると予想される。このため、フィチン酸の分解能の高い糸状菌菌株を直接堆肥に接種し、堆肥に残ったフィチン態リンを分解させて、堆肥のリン酸肥料効果を向上する上で、微生物を直接利用により、フィターゼ生産のための人力や経費なども節約できるし、かつ環境汚染の軽減にも貢献するものと考えられる。