

豚ふん堆肥中の銅・亜鉛含量はなぜ高いのか

独立行政法人 農研機構畜産草地研究所
家畜生理栄養部 高田良三

1. はじめに

現在の我が国の畜産は、その飼料の多くは海外より輸入しており、特に豚や鶏はトウモロコシや大豆粕等濃厚飼料が中心なため、海外への依存度が高い。その飼料成分は、家畜に摂取されて家畜が生きていくための維持、増体、繁殖、生産物等に利用され、消化吸收されなかったものは糞中へ、および体内で老廃物として処理されたものは尿として排泄される。かつてはこの家畜糞尿は、窒素、リンの重要な供給源として堆肥化等の処理後植物に養分として利用されてきた。しかし近年の化学肥料体系の確立から堆肥利用は減少し、さらに畜産の専門化、大規模化によって家畜糞尿の局所的集中により家畜糞尿中に含まれる窒素、リン、重金属による環境汚染問題が大きな課題となってきた。家畜糞尿中の環境負荷物質としての窒素、リンは、一方では家畜に対して重要な栄養成分である。そこで家畜から排泄される窒素、リンを低減しようとする研究課題は、家畜の生産性に利用される窒素、リンは損なわないという大前提が伴う。そのような背景で、尿中窒素排泄量低減を目的とした低蛋白質アミノ酸添加飼料、リンの糞中排泄量低減を目的としたフィターゼの利用等多くの研究技術開発が試みられている。

重金属に関しては最近豚ふん中の銅、亜鉛含量が極めて高いことが指摘されており、これが豚ふん堆肥利用の妨げの一因となっている。ではなぜ堆肥中の銅、亜鉛含量が高いと問題になるのか。それは環境汚染問題、特に重金属は土壌汚染の問題から法的規制がかけられているからである。その規制、すなわち作物の生育傷害を防止するため「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係わる管理基準について」(昭和59年11月8日環境庁水質保全局長)においては、亜鉛を重金属の基準とし、その濃度は土壌(乾土)1kgにつき120mgと定めている。また、銅については「土壌の汚染に係わる環境基準」(平成3年8月環境庁告示第46号)で農用地(田に限る)においては土壌(乾土)1kgにつき125mgと定めている。

一方、本来堆肥の持つ緩行性肥料としての役割および土壌改良材としての機能が注目され、耕種農家による安全で使いやすい家畜堆肥の利用が見直されつつある。このように法的規制が掛けられ、さらに堆肥の利用者からもその使用にあたっての安全な内容が要望されているにも関わらず、なぜ今日の豚ふん(堆肥)中の銅、亜鉛含量が高いのか。ここではその原因を探り、解決策を考えてみる。

2. 豚用飼料中の銅、亜鉛含量

表1に豚用飼料中の銅、亜鉛の添加限量(自主規制値)と要求量を示す。銅の栄養的要求量は、ほ乳期子豚育成期では5ppmであるにもかかわらず、飼料製造業界による自主規制値は125ppmである。すなわち要求量の25倍量の銅を添加している。亜鉛については栄養素要求量としての値が比較的高く、それに対する自主規制値としての添加量は銅ほどは高くない。銅において飼料から糞へは4倍、糞から堆肥へは2倍に濃縮されるとすると、ほ乳期子豚由来の豚ふん堆肥は最大1000ppmの銅濃度になる。

表1 豚用飼料への銅と亜鉛の自主規制上限添加量
(平10.5改訂)

	上限添加量 (ppm)	
	銅	亜鉛
ほ乳期子豚育成用(体重30kg以下)	125	120

子豚育成用(体重30?70kg)	45	55
肉豚肥育用(体重70kg以上)	10	50
種豚用(体重60kg以上)	10	50
これらの数値は添加の限量であって、元々飼料には原料由来の銅3-5ppm、亜鉛20-30ppm程度含まれる。		

3. 高濃度銅添加

1) 増体促進効果

銅が高濃度に飼料中に添加されている理由は第一に増体量の促進を期待しているからである。これに関しては海外を中心にすでに多くの報告がされているため、代表的なものを離乳子豚の増体促進効果について紹介してみる。

要求量をはるかに超える量の銅添加については古くからヨーロッパ(イギリス)を中心に進められてきた。その結果をまとめたのが図1で、銅添加量と成長促進との関係を示している。この図から換算すると125ppmの銅添加はおおよそ5%程度の増体量改善が期待できそうである。例えば離乳直後の子豚28日間の増体量を400g/日とすると、銅125ppm添加によって420g/日に改善されることになる。

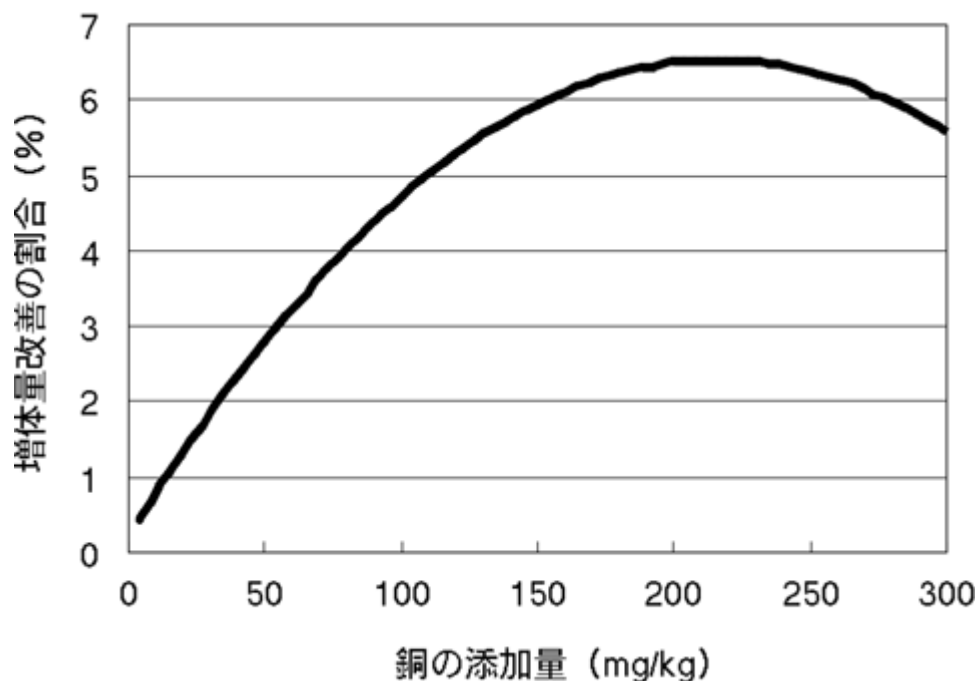


図1 飼料への銅添加と増体改善効果との関係
(Cooke,1983)

アメリカにおいても銅について同様な検討が多くなされている。Stahlyら(1980)は銅給与と抗生物質との関係を離乳子豚を用いて検討した。その結果、抗生物質の有無に係わらず250ppmの銅添加によって増体は改善されたが、抗生物質添加によって銅の増体促進効果は弱まった。ただし、この時の飼料中リジン含量は1.1%で4週離乳後の4週間にわたる増体量は250g/日(抗生物質添加、銅無添加)と比較的低い。銅の添加量を検討した実験では125ppmでその効果は現れ、対照区(銅無添加)の226g/日に対して125ppm銅添加で260g/日に改善された。Apgarら(1995)は離乳子豚を用いて銅添加量の検討を硫酸銅および銅リジンコンプレックスを用いて行った。ただし、この時の飼料中リジン含量は1.2%である。その結果銅添加量が100ppmから200ppmへと増えるにつれて増体量は改善され、100ppm添加で無添加区に比べて9%改善された。また、硫酸銅と銅リジンコンプレックスとの間には差は見られなかった。この時の増体量(5週間)は対照区で296g/日であった。この2つの報告例で明らかなのは、銅添加の増体への改善効果が明確に現れているこ

とである。しかし現在のNRC飼養標準のリジン含量からすると、少なくとも試験開始の2週間は1.1-1.2%のリジン含量は不足である。増体量が比較的悪いのはそれが原因かもしれない。この当時のアメリカを中心とした報告の多くはほとんどがリジン不足で増体量が低い。増体量が比較的低い時に銅の過剰給与は効果が現れやすいかもしれない。最近、12の州立大学がこの課題に関して共同で行った大規模な研究が報告された(Hillら、表2)。そこでは銅と亜鉛の過剰給与による成長促進効果について離乳子豚を用いて検討している。飼料中のリジン含量は、3週離乳後(開始体重6.55kg)の最初の1週間は1.4%であり、その後の3週間は1.2%である。1998年版のNRCの要求量よりもまだ低いようであるが従来と比べると高くなっている。さて、増体量であるが、対照区(無添加)の375g/日に対し、銅250ppm添加区では409g/日と約9%改善された。この改善効果はCookeがまとめたヨーロッパ中心のデータと似ている。

表2 高濃度の銅、亜鉛給与による
離乳子豚の飼養成績(4週間)

	対照区	高亜鉛	高銅	高亜鉛・高銅
日増体量(g/日)	375	422	409	415
飼料摂取量(g/日)	637	690	671	681
飼料効率(g/kg)	586	611	611	612
(Hillら、2000)				

銅の過剰添加による増体促進効果は大体以上のような結果に平均されるが、ではなぜ増体が促進されるのであろうか。まず第一に抗生物質様の生理作用を有するのではないかとされてきたが、抗生物質添加状態でもその効果は認められるため、メカニズムはそれ程簡単ではない。ただ一つ明らかなことはほとんどの論文で銅の過剰給与により子豚の飼料摂取量が確実に増えることである。通常、離乳直後の1?2週間はそのストレスから飼料摂取量は極端に落ちる。したがって銅の過剰給与効果が離乳子豚で最も明確に現れることを考えると、過剰な銅摂取による何らかの生理作用が飼料摂取量を増加させるようである。

銅過剰給与の増体促進効果について、もう一つ提案されているのは脂肪との関係である。LuoとDoveは離乳子豚を用いて250ppm銅添加と5%油脂添加との関係を検討した。表3にその結果を示す。その結果、銅添加によって小腸のリパーゼ、ホスホリパーゼA活性が高くなり、それによって脂肪の消化率が改善されて増体が促進されたとしている。

表3 離乳子豚での銅、脂肪添加による飼養成績
及び酵素活性への影響

	15ppm銅		250ppm銅	
	0%脂肪	5%脂肪	0%脂肪	5%脂肪
日増体量(g/日)	190	229	220	224
飼料摂取量(g/日)	286	306	312	309
飼料効率(g/kg)	647	741	714	723
脂肪消化率(%)	59.3	78.3	66.6	83.4
小腸リパーゼ (Units/g組織)	39.1	42.9	48.2	51.9
小腸ホスホリパーゼA (Units/g組織)	12.7	13.3	17.1	16.4
(Luo, Dove, 1996)				

2) 糞性状の改善効果

銅の過剰給与により、下痢症状が軽減され、糞中の水分含量が低下する。下痢の発生が低下すれば増体に影響するかもしれないが、軟便程度であれば必ずしも増体量に影響を及ぼすとは限らない。それよりも軟便の減少によって糞尿処理における固液分離が容易となり、環境汚染問題の解決に大きく貢献できる。また、銅の過剰給与により便の色が黒くなる。このことは豚には特に影響ないと思われるが、豚を飼養している人間側からすると豚が健康そうに見えるようである。

3) その他の効果

繁殖豚に銅の過剰給与を行うと出生時及び離乳時の子豚の体重が大きくなるという研究報告がある(Cromwellら、1993)

4. 高濃度亜鉛添加

現在の我国の飼料工業会における亜鉛の自主規制添加量は哺乳期子豚育成用で120ppmである。これは本来の栄養学的要求量(80ppm)が銅の過剰給与によって上げられたためであって、これから述べる薬理的効果を期待した話とは性質が異なる。

実用的には可能性はないが、薬理的効果を期待して3000ppmの亜鉛を添加する報告がいくつかみられるので紹介する。

Hahnら(1993)は離乳子豚に亜鉛を300ppmおよび5000ppm添加した飼料を給与し、3週間の飼養試験を行った。その結果、増体量は対照区の463g/日に対し、3000ppm区で540g/日と改善された。しかし、5000ppm区では456g/日と対照区との差は見られなかった。このことは亜鉛3000ppm添加では薬理的効果が期待できるが5000ppmでは過剰すぎてその効果は打ち消されるようである。一方、Schellら(1996)は同様な試験を行っているが、3000ppmの亜鉛添加で増体促進効果は認められなかったとしている。前出の12の州立大学が行った大規模の共同実験(Hillら、表2)では銅の過剰給与と同時に亜鉛の過剰給与も検討している。その結果、増体量は対照区の375g/日に対して亜鉛3000ppm添加区で422g/日と12%改善された。しかし亜鉛と銅を同時に3000ppmおよび250ppm添加した区では増体量は415g/日であり、亜鉛と銅の相加的作用は見られなかった。両者の過剰給与によるメカニズムについてはまだ不明であるが、相加的作用が全く見られないことから共通の部分があるのかもしれない。飼料摂取量、飼料効率も同様な結果であった。

5. 銅、亜鉛の過剰給与の意義は？

亜鉛の過剰給与は3000ppmというかなり高濃度の添加量であり、またその作用を否定する報告もみられるため、実用的には我国では問題にならない。むしろ人間の栄養学において現代人には亜鉛が不足しているとされており、そのため亜鉛含量の高い食品が要望されている。したがって亜鉛含量の高い農産物を生産するためには、ある程度亜鉛含量の高い堆肥利用も考えてよいかもしれない。

一方、銅に関してはその増体促進作用は多くの研究報告にみられるようにほぼ確実と考えてよい。ただし問題になるのはその添加量と増体促進作用との関係である。Cookeの報告が標準的と考えられるが、離乳子豚の場合最も多くの研究者が採用している添加量は250ppmである。この添加量であれば増体量は約6%改善される。我国における現時点での飼料工業会の自主規制値(125ppm)の添加量であれば5%程度の改善である。離乳時の数週間における5%の増体量改善と、環境汚染防止のための銅含量の低い堆肥の利用促進と、どちらが重要かを畜産関係者全体で考える時期かと思われる。

LuoとDove(1996)は離乳子豚に油脂を添加し、銅の過剰給与の検討を報告しているが、ここで5%の油脂添加区と250ppmの銅添加区では増体量はほぼ同じであった。この結果は、離乳子豚の飼料をさらに栄養学的に改善すれば銅の過剰給与と同等の効果が得られる可能性を示している。重金属の過剰給与よりも栄養学的機能を十分に生かした新しい飼料の開発が、環境問題の解決のみならず、安全性を重視する近年の消費者ニーズによく合い、より重要ではないかと思われる。

6. 銅、亜鉛の豚からの排泄量低減

銅、亜鉛の排泄量を低減する方法は2つに分けられ、1つは過剰な給与量を避けること、他の1つ

は銅、亜鉛の消化吸収率を高めることである。

1) 過剰な給与量を避ける

銅、亜鉛ともに消化吸収率は一般的に低く、銅は10%前後、亜鉛は20%前後である。すなわち摂取された銅、亜鉛の多くは吸収されずに糞中に排泄される。したがって銅、亜鉛の添加量を低くすればその分糞中への排泄量は低減される。銅は通常の配合で飼料原料由来のもので要求量をまかなうことができる。すなわち基本的には飼料への銅添加は必要ない。特に肥育前後期の豚には銅添加は全く意味がなく、最近の肥育豚用飼料中の銅含量を分析すると原料由来の銅含量程度になっている。

亜鉛については銅とは異なり、栄養要求量が比較的高く、通常では飼料原料由来の亜鉛のみでは不足する。したがって要求量を十分に満たせるように亜鉛を添加するが、要求量の高い離乳期子豚用飼料でおおよそ50ppm程度の添加量で十分である。

2) 消化吸収率の改善

リンの消化吸収率を改善するためフィターゼの利用が有効であるが、これは消化吸収率の低いフィチンをフィターゼによって分解し、リンの形態を吸収されやすい無機態リンに変換することである。亜鉛や銅も一部フィチンに結合しており、リンと同様なフィターゼ効果が期待できる。そこで高田ら(2000)は飼料に1500IU/kgのフィターゼを添加し、亜鉛の消化吸収率を検討したところフィターゼ無添加区の20%から33%へと有意に改善される事を確認した(図2)。しかし銅の消化吸収率においては亜鉛のような傾向は認められず、フィターゼは有効ではなかった。一方、Adeolaら(1995)は同様な試験を行い、亜鉛と共に銅の吸収もフィターゼ(1500IU/kg)添加で改善されることを報告している。

松井らは大豆粕を発酵することによってフィチンを分解し、それによって大豆粕中の亜鉛の利用性が高まることを報告している(表4)。

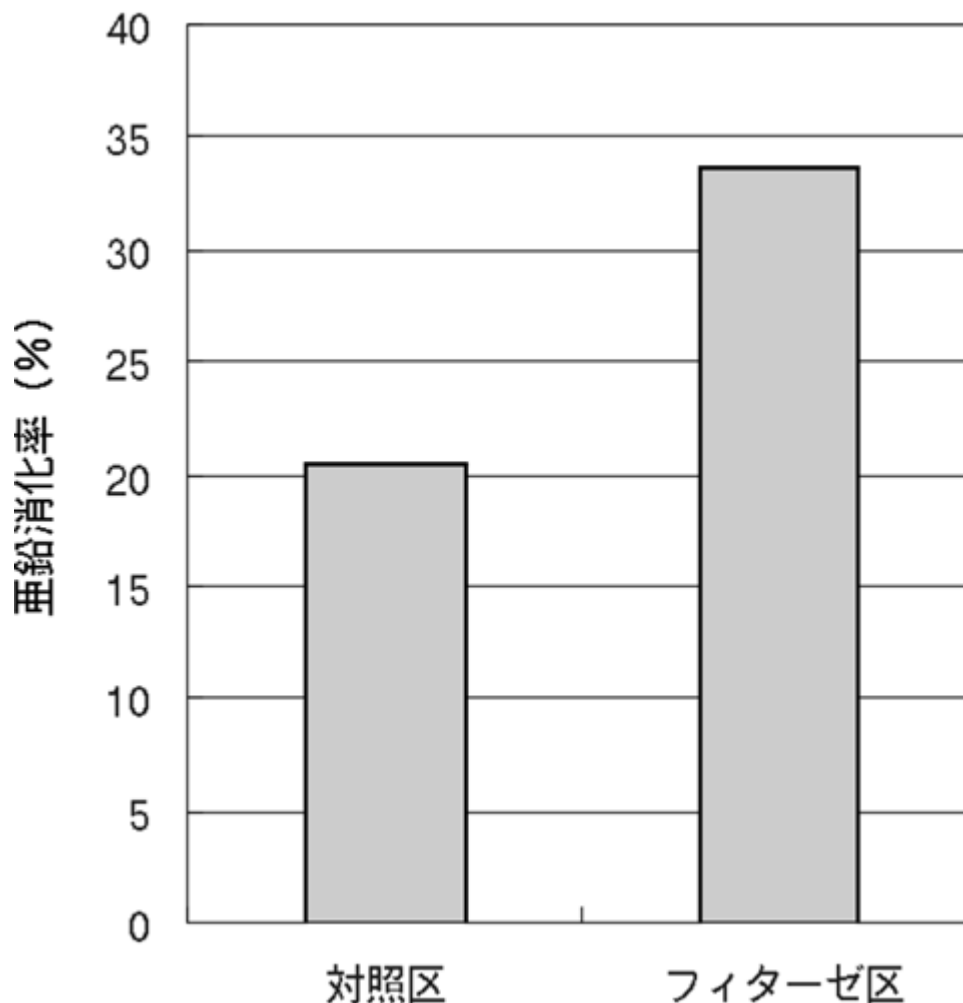


図2 フィターゼ添加による亜鉛消化率への影響
(高田、甘利、2000)

表4 大豆粕発酵による亜鉛利用性への影響

	増 体 (kg/日)	組織中亜鉛含量		
		大 腿 骨 (mg/kgDM)	肝 臓 (mg/kgDM)	血 清 (mg/L)
無処理大豆粕	0.65±0.05	126.4±2.6	175.3±10.8	0.84±0.05
無処理大豆粕+P	0.64±0.04	115.5±7.0	161.4±3.3	0.71±0.05
発酵大豆粕	0.68±0.04	144.1±6.5	238.1±28.2	1.03±0.04

(松井ら、1998)
 体重20kgから8週間の飼養試験。無処理または発酵大豆粕20%配合
 P:リン酸一ナトリウムの添加(無処理大豆区のみリンがやや不足)

3) ペプチド(またはアミノ酸)態の銅、亜鉛の利用

ペプチド態の銅、亜鉛の利用性が無機態のそれより優れるとする結果(Duら、1996)と、等しいかあるいは劣るとする結果(Apgarら、1996)があり、現在のところ一定の見解が得られていない。

7. おわりに

豚用飼料に栄養要求量をはるかに超える量の銅が添加されている現状、およびなぜそのような添加がされているのかについて述べてきた。環境汚染問題が特になければ銅の過剰給与は許されるかもしれない。しかし現在の我国の畜産が抱える最大の課題は畜産環境汚染問題である。銅の過剰給与に関しては、ヨーロッパ(イギリス)を中心に豚に対する増体促進効果が古くから研究されてきた。しかしそのヨーロッパにおいても環境問題はきわめて大きく、銅の添加は重要な検討課題になっている。また、アメリカのNRC飼養標準(98年版)では銅の過剰給与に関して詳しく紹介している。しかし栄養要求量としての根拠が乏しいため銅の要求量としては従来どおり数ppmとなっている。おそらく亜鉛と同様に銅の過剰給与は薬理学的作用と見なしているのであろう。日本飼養標準(98年版)においても同様の見解であり、解説の項にそのことが述べられている。

以上のことより、銅の過剰給与は中止し、最新の栄養学的機能性を応用した新しい飼料の開発へ移るべきであろう。

【文 献】

- B.C. COOKE, Recent Advances in Animal Nutrition? 1983, 209-226.
- T.S. Stahly et al., J. Anim. Sci., 1980, 51: 1347-1351.
- G.A. Apgar et al., J. Anim. Sci., 1995, 73: 2640-2646.
- G.M. Hill et al., J. Anim. Sci., 2000, 78: 1010-1016.
- NRC, Nutrient Requirement of Swine, Tenth Revised Edition, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.
- X.G. Luo and C.R. Dove, J. Anim. Sci., 1996, 74: 1888-1896.
- G.L. Cromwell et al., J. Anim. Sci., 1993, 71: 2996-3002.
- J. D. Hahn and D.H. Baker, J. Anim. Sci., 1993, 71: 3020-3024.
- T.C. Schell and E.T. Kornegay, J. Anim. Sci., 1996, 74: 1584-1593.
- 高田、甘利、日本養豚学会誌、2000, 37: 78.
- O. Adeola et al., J. Anim. Sci., 1995, 73: 3384-3391.
- 松井ら、日本畜産学会報、1998, 69: 589-591.
- Z. Du, et al., J. Anim. Sci., 1996, 74: 1657-1663.
- G.A. Apgar et al., J. Anim. Sci., 1996, 74: 1594-1600.
- 日本飼養標準 豚(1998年版) 農林水産省 農林水産技術会議事務局