家 畜 と 微 量 元 素

川 島 良 治

京都大学農学部, 京都市 606

Trace Element Nutrition in Domestic Animals

Ryoji KAWASHIMA

Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto-shi 606

は じ め に

家畜の微量元素栄養に関する研究は, 1930 年代に極めて盛んに行なわれ, そこに一つの山がみられた. この時期に, 古くから原因不明の奇病とされていたウシやヒツジなどの地方病が, Co, Cu などの微量元素の欠乏によることが明らかにされ, 当時の畜産業に寄与するところが少なくなかった. しかし, その後研究があまり活発でない時期がしばらく続いたが, 1960 年代に入ってふたたび活発化し, 現在に至るまで微量元素栄養の研究は第2の山を迎えている.

最近このように微量元素に関する研究が活発化した原因として, UNDERWOOD¹⁾ は(1)測定機器の開発にともないごく微量なレベルの定量が可能になったこと, (2)精密な実験方法の開発により新しい必須元素があいついで発見されたこと, (3)世界的な都市化傾向にともなう環境汚染と関連して, ヒトや動物に対する微量元素の働きに一般の関心が高まってきたこと, などをあげている.

研究の内容からみると, 第1の山では自然条件下で発生する微量元素の欠乏症や中毒症に関するものが中心となっていたが, 第2の山においては, 微量元素の必須性とその機能, 家畜に対する要求量とその利用性に影響を及ぼす要因などについての研究がむしろ主体を占めてきている.

微量元素の研究については, UNDERWOOD²⁾ の著書をはじめ, すぐれた総説³⁻¹⁴⁾が最近つぎつぎと発表されている. そこで, ここではそれらの研究をすべての分野にわ

たって紹介するということはず, いくつかの重要と思われる項目につき, 研究の動向ととくにその問題点をのべてみたいと思う.

必須微量元素

現在, 動物に必須と考えられている微量元素は, Table 1 に示すごとく 14 元素である. 1950 年までは, Fe, I, Cu, Mn, Zn, Co の6元素のみが必須と考えられてい

Table 1. Discovery of essential trace elements

Elements	Year of discovery	References
Fe	17th century	SYDENHAM and WILLIS ¹⁵⁾
I	19th century	CHATIN ¹⁶⁾
Cu	1928	HART <i>et al.</i> ¹⁷⁾
Mn	1931	KEMMERER <i>et al.</i> ¹⁸⁾
Zn	1934	TODD <i>et al.</i> ¹⁹⁾
Co	1935	UNDERWOOD and FILMER ²⁰⁾ MARSTON ²¹⁾ LINES ²²⁾
Mo	1953	DE RENZO <i>et al.</i> ²³⁾ RICHART and WESTERFELT ²⁴⁾
Se	1957	SCHWARZ and FOLTZ ²⁵⁾
Cr (III)	1959	SCHWARZ and MERTZ ²⁶⁾
Sn	1970	SCHWARZ <i>et al.</i> ²⁷⁾
Ni	1970	NIELSEN and SAUBERLICH ²⁸⁾
V	1971	SCHWARZ and MILENE ²⁹⁾
Si	1972	CARLISLE ³⁰⁾
F	1972	MESSER <i>et al.</i> ³¹⁾ SCHWARZ and MILENE ³²⁾

た。1950 年代に Mo, Se, Cr の必須性が確かめられ、1970 年代に入ってから Sn, Ni, V, Si, F の 5 元素があいついで必須とみなされるようになった。

1970 年代に入ってから必須性が見出された 5 元素は、いずれも SCHWARZ⁸³⁾ によって開発された隔離飼育装置を利用した研究によったものである。この装置では飼料からの汚染をできるだけ少なくするのみでなく、空気浄化装置によって大気からの汚染をも防ぐようになっている。最近必須性の確かめられた 5 元素のうち Sn⁸⁷⁾ と V²⁹⁾ とは、ラットの正常な発育に必要なことが確かめられたものである。Si は従来から鳥類の羽の構成成分として、その強度を増す作用があり、必須とはいえないまでも有効元素 (beneficial element) と考えられていたが、CARLISLE⁸⁰⁾ の研究でヒナの正常な発育のために必要なことが確かめられた。F もまた歯の珐瑯質を強くする意味で有効元素の一つとされていたが、MESSER ら⁸¹⁾ の研究でマウスの繁殖に必要なこと、また SCHWARZ and MILENE⁸²⁾ によりマウスの正常な発育に必須であることが明らかにされた。ただ、Ni に関する NIELSEN and SAUBERLICH⁸⁸⁾ の研究によると、Ni が欠乏したヒナでは脚の骨が太く短くなり、脚色が褪色し、肝臓中の脂肪含量が減少するなどの諸変状が認められるが、発育の抑制は認められない。その点 Ni の必須性にいささか疑問の点もある。しかし、Ni は各種の動物の組織中に、比較的せまい範囲の濃度で分布していること、ウサギやヒトなどの血液中には、たんぱく質と結合して nickeloplasmin の形で存在が認められることなどから、ほぼ必須元素として間違いないという意見が強い⁸⁴⁾。

さらにこのほかにも近くその必須性が明らかにされると思われるものも少なくない⁸⁹⁾。このように新しく必須性が明らかにされたり、また今後明らかにされるであろう元素は、動物にごく微量しか必要とされないか、あるいは飼料、飲水、空气中にひろく分布しているため欠乏しにくい元素である。それゆえ、実際の家畜飼養上問題になることはあまりないと思われる。しかし、1960 年頃までは家畜に欠乏症はないとされ、その重要性もほとんど知られていなかった Zn が、その後の研究で、家畜にひろく欠乏症のみられること、実際の家畜飼養上に重要な意義をもつことが明らかにされたことを考えると⁹⁾、現在はあまり作用機作も明らかでないような新しい必須元素についても、今後家畜栄養との関係について研究を進めてゆく必要があると思われる。

微量元素の作用機構

動物に対する微量元素の作用は、大きく 3 つに分けら

れる。第 1 は動物が生理的に正常な機能を営むために必要な微量元素の働きであって、生理的作用ともよばれるものである。第 2 は、微量元素を生理的作用に必要な以上に与えた場合に、動物が示す特別の反応である。たとえば、Co を多給した場合にみられる多血症⁸⁶⁾や、高濃度の Cu をブタに投与した場合にみられる増体促進効果⁸⁶⁾のごときものがこれに属する。これはむしろ薬理的作用とよぶべきであろう。第 3 は微量元素を動物がある限界以上摂取したときにみられる毒性作用である。

一般に微量元素の生理的作用としては、各元素とも酵素の構成成分、あるいは cofactor としての機能を有することが知られている。一方、元素が欠乏する場合には、動物はそれぞれ特有の欠乏症状を呈することも知られている。ところが、動物にあらわれる欠乏症状と、酵素レベルにおける機能との結びつき、すなわち症状の発生機構については、各元素ともあまりよく知られていないのが現状である。

これらの関係が比較的早く解明された例として、ヒナの Mn 欠乏症がある。ヒナは Mn 欠乏にかかると、脚の骨の形状に変化をきたし、肢勢の異常をおこし、いわゆる perosis または slipped tendon とよばれる症状を示す。症状を示した骨は石灰沈着の程度にはそれ程異常は認められないが、骨端軟骨中の基質の形成に阻害作用がみられる。LEACH⁸⁷⁾ は、Mn 欠乏のヒナの軟骨中にはムコ多糖類、とくに軟骨中でたんぱく質と結合して結合組織の強度を保つのに重要な働きを有する chondroitin sulfate が特異的に少なく、これが Mn 欠乏症を表わす原因であるとした。さらに LEACH⁸⁷⁾ は、Mn が二つの酵素系、すなわち polymerase と galactotransferase を通して、chondroitin sulfate の生合成に関与していることを明らかにした。

また Cu は各種酸化酵素の構成成分であることはよく知られている。Cu の欠乏症状は、動物の種類、年齢、欠乏の程度などによって異なり、貧血、骨の異常、運動失調、有色毛の褪色、毛の角化異常、繁殖障害、循環器障害、下痢など、多方面の症状の発生がみられる。

このうち、循環器障害として、O'DELL ら⁸⁸⁾ は Cu 欠乏をおこしたヒナの大動脈組織に異常を認め、血管の破裂による内部出血のため死に至る例を報告している。その後、米国、英国を中心として、血管壁の構成たんぱく質であるエラスチンと Cu との関係について広範囲な研究が進められたが、最近 CARNES⁸⁹⁾ によってこれらの研究の概要がまとめられている。それによると、Cu が欠乏すると動脈壁中の amine oxidase 活性が低下し、このためエラスチンのリジン残基の ϵ -amino group の酸

化的脱アミノ反応が低下し、リジンから desmosine への変化が抑えられる。desmosine はエラスチンの弾性を保つのに重要な働きをしており、desmosine の減少は動脈の弾性低下を招き、そのため動脈血管の破裂をもたらすとしている。このように、Mn, Cu がともに結合組織に関係したい成分の生合成に関与している点はきわめて興味深い。

また Cu 欠乏にもとづく運動失調の例として、英国のヒッジに swayback とよばれる地方病の発生が知られている。これについては、脳中の Cu 含量が低下し、それにともない脳、とくに運動神経元中の cytochrome oxidase 活性の低下が認められており^{40,41)}、これがヒッジの運動失調をおこす原因と考えられている。

同じ Cu 欠乏でも、その他の各種欠乏症状の発生機構については、十分解明されていない。たとえば KAWASHIMA and ISHIDA⁴²⁾ は、ヒッジに Mo を多給して Cu 欠乏をおこした場合の羊毛のクリンプ形成に対する影響の機構を酵素レベルにおいて研究を進めているが、いまだ結論に達していない。また最近、Zn^{43~48)} や Se^{49~53)} の作用機構についても数多くの研究が行なわれているが、これらも生体反応と酵素活性の関連性についてはなお不明の点が少なくない。in vitro における作用と in vivo の反応を結びつける機構の解明に関する研究が各微量元素について今後とくに必要であろう。

微量元素の要求量

各種栄養素のうち、微量元素の家畜に対する要求量に関するデータは、もっとも不完全な現状である。それでも、最近、NRC 標準においては各家畜について一応微量元素の要求量が示されるようになった。それを示すと Table 2 のごとくである。

微量元素の要求量がもともとにくい理由としては、微量元素の定量方法がまだ不確実で、測定誤差の大きいこと

もあるが、また微量元素の代謝経路が複雑で要求量の決定方法に困難性があること、さらに微量元素の家畜に対する利用性に対して、多くの要因がこれに関与しており、飼育条件によって要求量に大きい差の生ずることなどがあげられる。

要求量の決定方法

家畜に対する微量元素の要求量は、つぎに示すいずれかの方法によってもとめられる¹²⁾。(1)飼料中の微量元素含量と動物の生理反応との関係、(2)平衡試験における出納、(3)体の構成成分および内生的排出量の変化にもとづく要因ごとの要求量からの推定、(4)野外条件での欠乏症の発生と飼料中の微量元素含量との関係。

自然条件で比較的欠乏症の発生しやすい場合は(4)の方法が便利であり、ウシやヒッジの Co 欠乏症の発生限界がこの方法でもとめられている⁵⁸⁾。しかし、自然条件下で欠乏症の発生がみられる元素でも、その利用性に影響する要因の働きが大きい場合には、(4)の方法では正確な要求量を求め難い。Cu や Zn はその例である。その場合は(1)~(3)の方法にたよるざるをえない。

加藤⁵⁹⁾はラットに低 Cu 飼料を与えると、飼料の Cu 含量がある限度までは血液 Cu 含量、尿中 Cu 排出量ともに一定値を保つが、限度以下 (1.6 ppm 以下) になると、血液、尿ともに Cu 低下がみられる。この点を Cu の最少要求量と推定している。

また、(1)の方法によって要求量を求めようとする研究が少なくないが、この場合動物の各種生理反応によって、要求量が異なることがある。たとえば、MILLS ら⁶⁰⁾によると、半精製飼料を与えている場合の子牛の Zn の要求量は、正常な発育を保つには 8 ppm で十分であるが、血液中の Zn 含量を正常値に維持するには 10~14 ppm 必要とするとしている。また、ヒナの発育には 38~44 ppm の Zn で十分であるが、正常な羽毛の発育には 3 週

Table 2. Requirements of trace elements in domestic animals (mg per kg of dry matter)

Elements	Starting ⁵⁴⁾ chicken (0-8 weeks)	Swine ⁵⁶⁾	Dairy cattle ⁵⁶⁾ (lactating cow)	Beef cattle ⁵⁷⁾ (growing and finishing)	Sheep ¹¹⁾
Fe	80	80	100	10	30-50
Cu	4	6	10	4	5
Mn	55	20	20	1-10	20-40
Zn	50	50	40	10-30	35-50
Co	—	—	0.1	0.05-0.1	0.1
I	0.35	0.2	0.6		0.1-0.8
Se	0.1	0.1	0.1	0.05-0.1	0.1
Mo					0.5

令までは少なくとも 52 ppm, とくに最初の 1 週間は 78 ppm の Zn を必要とするという報告もある⁶¹⁾。また、ブロイラーに対する Cu 要求量も、増体のためには 0.9 ppm, 肝臓中の Cu 含量の蓄積を考慮すると 1.7 ppm が必要であるとされている⁶²⁾。

より極端な例として, MARSTON ら⁶³⁾が行なったヒツジの Co 要求量に関する研究がある。それによると, ヒツジの正常な発育のためには, 1 日 0.07 mg の Co があれば十分である。一方血液と肝臓中のビタミン B₁₂ 含量が平衡状態に達するには, 少なくとも 1 日 1 mg の Co を与える必要があるとしている。Co はビタミン B₁₂ の形を通して体内で機能するが, 余分なビタミン B₁₂ は肝臓などの組織中に蓄積される。この場合, 組織中にビタミン B₁₂ が飽和状態になるまで蓄積されるのに必要な Co 量は, 体内蓄積による安全性が加味されたもので, 生理的な最少要求量とは区別して考えるべきであろう。しかし, 多くの場合, 微量元素の生体内における生理機能は, まだ十分に解明されていないので, 異なった生理反応に対する要求量の違いを適当に評価することが難しい。PLUMLEE ら⁶⁴⁾は繁殖めす豚に対する微量元素の供給が不十分であると, 母豚の栄養状態には何ら悪影響はないのに, 受胎率の低下, 流・死産, 奇型の多発など繁殖面に障害が表われるとしているが, とくに繁殖のために要求される微量元素の必要量については不明の点が多い。

微量元素の利用性

微量元素に限らず, 無機物は一般にほかの栄養素とはかなり異なった代謝の様相を示す。たとえば, 消化管から吸収された後, 唾液, たん汁, 脾液, 腸液などを通して, 消化管内に再排出されるものがきわめて多い。とくに, 唾液などを通して消化管の上部に再排出されたものは, 小腸などからふたたび吸収される。すなわち, 体内で循環することになる。さらに, 体液・組織・骨などに含まれて体内にプールされている量の多いことも微量元素代謝の特徴である。

さらに, 微量元素の多くは飼料中では他の物質と結合した形で存在している⁶⁵⁻⁶⁸⁾。それが消化過程を通じて, 結合状態が変化しつつ吸収段階に至る^{69,70)}。その結合の仕方によって吸収ならびに体内での利用性がかわってくる。それゆえ, 微量元素の利用性は各種要因によって大きく影響をうける。

微量元素の利用性という場合, 二つの段階が含まれている。一つは吸収段階での吸収率であり, 今一つは吸収された元素の体内代謝過程における利用率である。吸収率の高いものが必ずしも体内での利用率が高いとは必ら

ない⁷¹⁾。また, この両者は判然と区別しえない場合も少なくない。

利用性に影響する要因

1. 摂取する元素の型

前述のように, 飼料中に存在する微量元素は, 何らかと結合したものが多く, 消化の過程でこれらの結合の仕方が変化するが, それでも摂取するときの結合の型によって利用性は異なるようである。BREMNER and KNIGHT⁶⁵⁾によると, ライグラス中の Cu, Zn, Mn は, 80% エタノールにより約 60% が溶出され, 溶出部分の大部分は低分子の化合物と結合している。エタノール不溶性区分の一部はたんぱく質と結合し, 残りは細胞壁を形成する lignin-cellulose matrix と結合しているとしている。また MILLS⁶⁶⁻⁶⁸⁾ は, 牧草中の水溶性の Cu の大部分が結合した型であり, これは CuSO₄ の型で与えるより吸収がよいと報告している。

また, 微量元素は飼料に添加して補給されることが多いが, 添加する型によっても利用性が異なる。この点については最近 AMMERMAN and MILLER⁷²⁾ が多くの試験結果をとりまとめて詳細な総説を発表している。それによると, 一般的にみて試薬レベルの化合物の方が, 天然の鉱物よりも利用性が高い。さらに天然の鉱物中には目的とする元素以外の無機物が多く含有され, 化学的・物理的性質のばらつきも大きいことから, その使用にあたっては十分注意を要するとのべている。

2. 飼料に含まれる各種要因

飼料中の多くの成分が, 微量元素の利用性に影響をもつことはよく知られており, 現在もこれについて活発な研究が進められている。ここでそれらの個々の要因について詳細に検討を加える余裕はないが, MILLS and WILLIAMS¹²⁾ が各元素につき, それに影響すると思われる要因をまとめているので, それを示すと Table 3 のごとくである。

これらの飼料要因は, 微量元素と結合して複合化合物, またはキレート化合物を形成する。その化合物の溶解性, 安定性, 配位子の種類などによって吸収の程度が異なり, また体内代謝における行動も変化する¹⁴⁾。さらに, 各種飼料要因は, 相互に複雑に関連し合って作用するし, また消化管内の条件, とく pH によって結合の様相は種々変化してゆく⁶⁹⁾。すなわち, 微量元素に対する各種飼料要因の作用の仕方はかなり複雑なものである。それゆえ, 実際の飼養条件下で, どの要因がどの程度影響を及ぼしているかを把握することはきわめて難しい。

Table 3. Dietary components believed to have an adverse effect upon trace element utilization or requirement

Elements	Dietary components
Co	None known
Cu	Mo, organic and inorganic S compounds, (phytates), Fe, Zn, unidentified components, (Cd), (Ag)
Cr	(V)
I	Thiooxazolidones, Co, thiocyanate, (As), (F)
Fe	Ca, P, Cu, Zn, (phytates), carbonates
Mn	P, phytates, unidentified compounds
Mo	(W)
Se	Organic and inorganic S compounds, (Sn), (Te), (As), unidentified components
Sn	None known
Zn	Ca, Cu, (Cd), phytates, unidentified components

- This table is derived from: MILLS and WILLIAMS.¹²⁾
- Phytates are principally applicable to non-ruminant species but may also apply to ruminants before rumen function fully developed.
- Components in parentheses refer to experimental studies only; not yet established under practical circumstances.

たとえば、O'DELL and SAVAGE⁷⁸⁾ はヒナのとんぱく質源として大豆粕を用いた場合は、カゼインの場合より Zn の要求量が増すが、これは両飼料に含まれるフィチン含量の差にもとづくものとしている。さらに広く植物性たんぱく質飼料と動物性たんぱく質飼料とを比較しても、一般に植物性たんぱく質飼料の方が Zn の利用率が低く、これもフィチン含量で説明できるとしている⁷⁴⁾。これに対し、NIELSEN ら⁷⁵⁾ は、大豆粕を与えてえられたヒナの Zn 欠乏症では脚の異常が顕著にみられるが、カゼインにフィチンを加えて与えても、大豆粕の場合にみられるような脚の異常はあまりみられず、大豆粕にはフィチン以外にさらに Zn の利用性に影響する未知の要因のあることを示唆している。その後、大豆粕を与えているヒナは、カゼインを与えているものよりも血液中のアルギニン含量が高いこと、カゼインを与えているヒナにアルギニンを添加すると、脚の異常が判然と表われることから、大豆粕によっておこる Zn 欠乏症状の発生にアルギニンが関与しているのではないかと推察している⁷⁶⁾。さらにまた、大豆粕を与えて発生した Zn 欠乏症のヒナにヒスチジンを与えると、脚の異常が緩和されるが、その他成長などにみられる Zn 欠乏の影響は緩和されないという報告もある⁷⁷⁾。

一方、大豆粕を与えて発生した Zn 欠乏のヒナに EDTA を給与すると、その症状が軽減されることが認められているが、これは EDTA が Zn と結合することにより、Zn とフィチンとの結合をさまたげるためと考えられている⁷⁹⁾。しかし、ヒナに対して EDTA を給与

すると、Zn, Mn, Cu の利用率が向上するが⁷⁹⁾、Fe の吸収は阻害される⁸⁰⁾。また、FRITZ ら⁸¹⁾ は、ヒナに多量の EDTA を与えると、Fe, Mn の吸収が阻害されるが、少量の添加ではむしろ吸収が促進されるとしている。

さらにラットを用いた試験で、アミノ酸と結合した形の Cu は、CuSO₄ や、ペプチド、ポリペプチドと結合した形の Cu よりも吸収され易いとされているが⁸²⁻⁸⁴⁾、一方、ラット腸管を用いた *in vitro* の滯留実験の結果では、アミノ酸を添加すると Cu の吸収が阻害されることが報告されている⁸⁵⁾。

このように、各種飼料要因が、動物に対する微量元素の利用性に及ぼす影響の表われ方は、元素の種類、元素と飼料要因との量的関係、動物の種類によってかなり異なるようである。このように影響の表われ方に差のある原因、ひいては飼料要因が微量元素の利用性に影響をもたらす機構についてはよくわかっておらず、今後の研究にまつべき点が少なくない。

3. 消化管内の条件

前述のごとく、消化管内の pH の変化にともない、微量元素の結合の仕方が変わるので⁶⁹⁾、それが吸収に影響する。ラット腸管を用いた *in vitro* の試験⁸⁶⁾ では、Cu の吸収は生理的 pH 域である 6~7 附近がもっともよく、pH 5 以下、または 8 以上では著しく低下する。反すう動物では、Ca を多給すると Cu の吸収が低下するが⁸⁷⁾、これを消化管内の pH が高まるためとしている。胃内 pH のかなり低いブタやニワトリではこの関係はあまり

はつきりしない⁸⁸⁾。

なお、無菌ラットでは Zn の要求率が正常なものより低いことが認められており⁸⁹⁾、消化管内の微生物の存在が、Zn の利用性に影響することを示唆している。このことは、多数の微生物の棲息する反すう胃をもつ、反すう動物においては、微量元素の利用性、ひいては要求量に関して特異性のあることを推察させる。しかし、消化管内の微生物の有無は、Zn の利用性に何ら影響しないという報告もあるので⁹⁰⁾、今後これらの点についても検討が必要であろう。

4. 動物の生理条件

微量元素の体内蓄積状態は、その元素の吸収、利用の程度に影響を及ぼす。とくに Fe においてこれが顕著である⁷⁾。SCHWARZ and KIRCHGESSNER⁹¹⁾ はラットにおいて、低 Cu 飼料給与時には Cu の吸収率が高いこと、低 Zn 飼料給与時には Zn と Cu の吸収率が高まること、さらに低 Fe 飼料給与時には Fe の吸収は高まるが、Cu の吸収には影響しないとしている。

また動物の年齢によっても利用性に差があるようであり、ラットを用いた試験で、幼若なものは成熟に達したものより Fe, Sr, Pb の吸収率の高いことが示されている⁹²⁾。

ヒナの血液は哺乳動物のそれに比較して Cu 含量が数分の一にすぎないが、Fe, Zn, Mn などはほぼ哺乳動物と同じ含量が保たれている。それが産卵前になると、いずれも 2~3 倍に高まり、産卵がとまると産卵前の値までもどる^{93,94)}。ヒナにエストロゲンを投与すると血液中のこれらの元素含量が高まることから、内分泌腺が、微量元素の代謝に影響を及ぼしているものと考えられる⁹⁵⁾。ただしこの場合微量元素の吸収やリテンションは、とくに高まっていないようである⁹⁴⁾。

5. 動物の遺伝的条件

1940 年に、GOLDRING ら⁹⁶⁾は産卵鶏の Mn 要求量は、品種によって差があることを報告しているが、それ以後、微量元素の要求量や利用性に関する遺伝的な影響についてはあまり注意がむけられてこなかった。ところが、1966 年に WIENER⁹⁷⁾ が、英国の Cu 欠乏地帯のヒッジに発生する swayback の発生率が品種、ならびに系統によって大きく異なることを指摘して以来、微量元素代謝における遺伝的影響に関心がむけられるようになった⁹⁸⁾。さらに血液中の Cu 含量⁹⁹⁾や、Cu 中毒症の発生率¹⁰⁰⁾にも品種間差異のあることが認められている。しかし、遺伝的要因が微量元素の利用性にどのように関与しているのか、また利用性のどの段階に影響するのかなどについては、あまりよく知られておらず、家畜の微

量元素栄養における新しい分野として、今後さらに研究が進められなければならない問題であろう。

微量元素の栄養状態の判定

微量元素の供給が適当でないと、家畜は欠乏症状や中毒症状を呈する。欠乏症状や中毒症状は、元素によってかなり特異性があるので、その場合は症状からどの元素に異常があるのかある程度判断がつく。

しかし、家畜に判然とした欠乏症や中毒症の症状が表われるのは、微量元素栄養にかなり著しい異常がおこった場合である。実際に家畜飼養上問題になるのは、このように判然とした症状が表われるのではなく、増体、泌乳、産卵などの生産能力にいくらかの影響がみられる程度の異常である。あるいは短期的な生産能力には何の影響もないのに、長期にわたる繁殖性、健康、長命性などにある程度の影響が見られるほどの異常である。

この程度の栄養状態を判定するには、どうしても家畜の生理的な変化に頼らざるをえない。もっともよく用いられるのは血液中の成分である。たとえば、わが国においてもブタの微量元素栄養をみるために、血液中の微量元素含量を測定した研究がみられる^{101,102)}。ただ血液中の成分は比較的恒常性をもっているため、微量元素の栄養状態を鋭敏に反映しないことのあること、また栄養状態以外の生理条件の変化にともない、血液中の含量に変動がみられることに注意する必要がある。その点、大部分の微量元素にとって、肝臓が貯蔵組織になっているので、肝臓中含量を測定するか、Zn では骨中含量、I では牛乳中含量などを測定するのが、より好ましい方法と考えられる。

さらに、血液や組織中に含まれる微量元素は、必ずしもすべてが生理的に活性な状態にあるとはいえない。体内において活性のある微量元素の程度を判定するには、その元素の活性型、たとえばその元素を含む酵素量を測定するのがよいと思われる。たとえば、Cu の栄養状態をみるのに、血液中の celulo plasmin を測定するがごとくである。celulo plasmin は Cu を含む酵素であるのみでなく、TODD¹⁰³⁾によると、測定のためにごく微量の血液量で十分であること、測定中汚染による誤差が少ないこと、比較的安定な物質であることなどから、celulo plasmin は野外における家畜の Cu 栄養の状態を知るのにきわめて有効であるとしている。その他、組織中の cytochrome oxidase 活性から Cu の栄養状態を知ろうとする試みもなされている^{104,105)}。

野外条件でもっとも採取され易い試料は毛である。毛には重金属の蓄積することがよく知られているが、家畜

においても、毛の微量元素含量はその元素の栄養状態をいくらか反映するようである^{106,107}。FLYNN and FRANZ-MANN¹⁰⁸ はアラスカの大シカの毛をひろく採取して、その微量元素含量を測定することにより、冬期間に大シカが Mn 欠乏になる恐れのあることを認めている。この試験のように、対象とす動物の採食状況を十分把握できないような場合には、毛の分析は微量元素の栄養状態を知る有効な方法であろう。しかし、KIRCHGESSNER¹⁴ は、動物の毛の微量元素含量は、あるごく限られた範囲内では確かにその元素の体内蓄積の状態を示すが、一般的に毛の分析値をもって蓄積状態を知ろうとするには無理があるのではないかと述べている。

ま と め

かつて家畜の微量元素に関する研究といえば、欠乏症または中毒症の発見とその対策に主体がおかれた時代があった。わが国でも家畜栄養における微量元素の重要性が認識されるようになったのは、ウシのくわす症、すなわち Co 欠乏症や、ウシの Mo 中毒症の研究が進められた結果である。しかし、一般的な傾向として、自然条件下の欠乏症や中毒症の発生は次第に少なくなってきた。これは、それらの発生地帯で適当な対策がとられるようになったこともあるが、また世界的傾向として家畜が土地からはなれた条件で飼育されることが多くなったことも一因であろう。しかし、これは家畜における微量元素の重要性が減少したことを意味するものではない。

むしろ最近では家畜の生産能力を高めるために、かなり偏った飼料が給与されるため、微量元素のアンバランスをひき起す機会が多くなってきている。また、都市化にともなう環境汚染のために重金属が家畜に影響を及ぼすことも無視できない。すなわち、欠乏症とか中毒症とかの判然とした症状を表わすことは少なくなったとしても、あまり目立たない程度での微量元素栄養の異常をもたらす機会は、むしろ次第に多くなりつつある。このような状態を、欠乏症や中毒症に対して不足症や過剰症とでもよべばどうかと思う。そうして微量元素栄養の研究も、従来の欠乏症・中毒症の研究にとどまることなく、さらに不足症・過剰症に対しての研究が進められなければならないであろう。その意味からも、微量元素の作用機構とその利用性、とくにそれに影響する interaction の研究は、家畜栄養の面から今後さらに重要性を増すものと考えられる。

文 献

- 1) UNDERWOOD, E. J., Trace Element Metabolism in Animals ed. by C. F. MILLS p. 5. Livingstone. Edinburgh and London. 1970.
- 2) UNDERWOOD, E. J., Trace Elements in Human and Animal Nutrition 3rd ed. Academic Press. New York and London. 1971.
- 3) PARASAD, A. S., Fed Proc 26: 172. 1967.
- 4) FAO/IAEA, Trace mineral studies with isotopes in domestic animals. STI/PUB/218. IAEA. Vienna. 1969.
- 5) MILLS, C. F., ed. Trace Element Metabolism in Animals. WAAP/IBP. Livingstone. Edinburgh and London. 1970.
- 6) AMMERMAN, C. B., J Dairy Sci 53: 1097. 1970.
- 7) THOMAS, J. W., J Dairy Sci 53: 1107. 1970.
- 8) MILLER, W. J., J Dairy Sci 53: 1123. 1970.
- 9) HOGUE, D. E., J Dairy Sci 53: 1135. 1970.
- 10) HEMKEN, R. W., J Dairy Sci 53: 1138. 1970.
- 11) POPE, A. L., J Anim Sci 33: 1332. 1971.
- 12) MILLS, C. F., and R. B. WILLIAMS, Proc Nutr Soc 30: 83. 1971.
- 13) MILLER, J. K., J Dairy Sci 55: 1211. 1972.
- 14) KIRCHGESSNER, M., Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene 63: 164. 1972.
- 15) SYNDENHAM, and WILLIS, (2) より引用).
- 16) CHATIN, A. C. R., Acad Sci 30-39. 1850-1854. (14) より引用).
- 17) HART, E. B., G. E. STEENBOCK, and C. A. ELVEHJEM, J Biol Chem 77: 797. 1928.
- 18) KAMMERER, A. R., C. A. ELVEHJEM, and E. B. HART, J Biol Chem 92: 623. 1931.
- 19) TODD, W. R., C. A. ELVEHJEM, and E. B. HART, Amer J Physiol 107: 146. 1934.
- 20) UNDERWOOD, E. J., and J. F. FILMER, Aust Vet J 11: 84. 1935.
- 21) MARSTON, H. R., J Councl Sci Ind Res Aust 8: 111. 1935.
- 22) LINES, E. W., J Councl Sci Ind Res Aust 8: 117. 1935.
- 23) DE RENZO, E. C., E. KALEITA, P. HEYLER, J. J. OLESON, B. L. HUTCHINGS, and J. H. WILLIAMS, J Amer Chem Soc 75: 753. 1953.
- 24) RICHERT, D. A., and W. W. WESTERFELT, J Biol Chem 203: 915. 1953.
- 25) SCHWARZ, K., and C. M. FOLTZ, J Amer Chem Soc 79: 3292. 1957.
- 26) SCHWARZ, K., and W. MERTZ, Arch Biochem Biophys 85: 292. 1959.
- 27) SCHWARZ, K., D. B. MILNE, and E. VINYARD, Biochem Biophys Res Comm 40: 22. 1970.
- 28) NIELSEN, F. H., and H. E. SAUBERLICH, Proc Soc Exp Biol Med 134: 845. 1970.

- 29) SCHWARZ, K., and D.B. MILNE, *Science* **174**: 426. 1971.
- 30) CARLISLE, E.M., *Science* **178**: 619. 1972.
- 31) MESSER, H.H., W.D. ARMSTRONG, and L. SINGER, *Science* **178**: 893. 1972.
- 32) SCHWARZ, K., and D.B. MILNE, *Bioinorg Chem* **1**: 331. 1972.
- 33) SCHWARZ, K., *Trace Element Metabolism in Animals* ed. by C.F. MILLS p. 25. Livingstone. Edinburgh and London. 1970.
- 34) NOMOTO, S., M.D. McNEELY, and F.W. SUNDERMAN, Jr., *Biochemistry* **10**: 1647. 1971.
- 35) 上坂章次・入谷 明・並河 澄, 京大食研報告 **14**: 49. 1954.
- 36) DeGOEY, L.W., R.C. WAHLSTROM, and R.J. EMERICK, *J Anim Sci* **33**: 52. 1971.
- 37) LEACH, R.M. JR., *Fed Proc* **30**: 991. 1971.
- 38) O'DELL, B.L., B.C. HARDWICK, G. REYNOLDS, and J.E. SAVAGE, *Proc Soc Exp Biol Med* **108**: 402. 1961.
- 39) CARNES, W.H., *Fed Proc* **30**: 995. 1971.
- 40) HOWELL, J.McC., and A.N. DAVISON, *Biochem J* **72**: 365. 1959.
- 41) FELL, B.F., C.F. MILLS, and R. BOYNE, *Res Vet Sci* **6**: 10. 1965.
- 42) KAWASHIMA, R., and N. ISHIDA, *Second Intern. Symposium Trace Element Metabolism in Animals*, June 18-22. Madison. Wisconsin p. 29. 1973.
- 43) 斉藤 守・松本達郎, 日畜会報 **40**: 515. 1969.
- 44) 斉藤 守・松本達郎, 日畜会報 **41**: 9. 1970.
- 45) 斉藤 守・松本達郎, 日畜会報 **41**: 545. 1979.
- 46) 斉藤 守・松本達郎, 日畜会報 **41**: 614. 1970.
- 47) LEASE, J.G., *J Nutr* **102**: 1323. 1972.
- 48) NEATHERY, M.W., W.J. MILLER, D.M. BLACKMAN, F.M. PATE, and R.P. GENTRY, *J Dairy Sci* **56**: 84. 1973.
- 49) ROTRUCH, J.T., A.L. POPE, H.E. GANTHER, and W.G. HOEKSTRA, *J Nutr* **102**: 689. 1972.
- 50) SIAMI, G., A.R. SCHUBERT, and R.A. NEAL, *J Nutr* **102**: 859. 1972.
- 51) GRIES, C.L., and M.L. SCOTT, *J Nutr* **102**: 1287. 1972.
- 52) BRODERIUS, M.A., P.D. WHANGER, and P.H. WESWIG, *J Nutr* **103**: 336. 1973.
- 53) NOGUCHI, T., M.L. LANGEVIN, G.F. COMBS, Jr., and M.L. SCOTT, *J Nutr* **103**: 444. 1973.
- 54) National Academy of Science, *Nutritional Requirements of Poultry*. 1971.
- 55) National Academy of Science, *Nutritional Requirements of Swine*. 1968.
- 56) National Academy of Science, *Nutritional Requirements of Dairy Cattle*. 1971.
- 57) National Academy of Science, *Nutritional Requirements of Beef Cattle*. 1970.
- 58) McNAUGHT, K.J., *New Zealand J Sci Technol Section A* **20**: 14. 1938.
- 59) 加藤啓介, 日畜会報 **43**: 26. 1972.
- 60) MILLS, C.F., A.C. DALGARNS, R.B. WILLIAMS, and J. QUARTERMAN, *Brit J Nutr* **21**: 751. 1967.
- 61) SUNDE, M.L., *Poultry Sci* **51**: 1316. 1972.
- 62) GRASSMAN, E., M. KIRCHGESSNER, G. HAMPEL, and D.A. ROTH-MAIER, *Arch Geflüg* **35**: 67. 1971.
- 63) MARSTON, H.R., *Brit J Nutr* **24**: 615. 1970.
- 64) PLUMLEE, M.P., D.M. THRASHER, W.M. BEESON, F.N. ANDREWS, and H.E. PARKER, *J Anim Sci* **15**: 352. 1956.
- 65) BREMNER, I., and A.H. KNIGHT, *Brit J Nutr* **24**: 279. 1970.
- 66) MILLS, C.F., *Biochem J* **57**: 603. 1954.
- 67) MILLS, C.F., *Biochem J* **63**: 190. 1956.
- 68) MILLS, C.F., *Soil Sci* **85**: 100. 1958.
- 69) BREMNER, I., *Brit J Nutr* **24**: 769. 1970.
- 70) 金 聖元・川島良治・上坂章次, 日畜会報 **43**(別号): 39. 1972.
- 71) KIRCHGESSNER, M., and E. GRASSMAN, *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* **26**: 340. 1970.
- 72) AMMERMAN, C.B., and S.M. MILLER, *J Anim Sci* **35**: 681. 1972.
- 73) O'DELL, B.L., and J.E. SAVAGE, *Pro Soc Exp Biol Med* **103**: 304. 1960.
- 74) O'DELL, B.L., C.E. BURPO, and J.E. SAVAGE, *J Nutr* **102**: 653. 1972.
- 75) NIELSEN, F.H., M.L. SUNDE, and W.G. HOEKSTRA, *J Nutr* **89**: 24. 1966.
- 76) COLEMAN, B.W., E.M. REIMANN, R.N. GRUMMER, M.L. SUNDE, and W.G. HOEKSTRA, *J Nutr* **101**: 1695. 1971.
- 77) LEASE, J.G., *J Nutr* **102**: 1323. 1972.
- 78) O'DELL, B.L., J.M. YOKE, and J. E. SAVAGE, *Poultry Sci* **43**: 415. 1964.
- 79) DAVIS, P.N., L.C. NORRIS, and F. H. KRATZER, *J Nutr* **72**: 212. 1962.
- 80) VOHRA, P., and D.C. BOND, *Poultry Sci* **49**: 565. 1970.
- 81) FRITZ, J.C., G.W. PLA, and J.W. BOEHNE, *Poultry Sci* **50**: 1444. 1971.
- 82) KIRCHGESSNER, M., U. WESER, and H. L. MÜLLER, *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* **22**: 76. 1967.
- 83) KIRCHGESSNER, M., and E. GRASSMAN, *Z Tierphysiol Tierernährg u Futtermittelkde* **26**: 3. 1970.
- 84) KIRCHGESSNER, M., and E. GRASSMAN, *Trace Element Metabolism in Animals* ed. by C.F. MILLS p. 277. Livingston. Edinburgh and London. 1970.

- 85) 小原正哉・上坂章次・小林恒夫・山下知寛, 京大食研報告 **30**: 5. 1967.
- 86) 上坂章次・小原正哉, 京大食研報告 **29**: 33. 1966.
- 87) KIRCHGESSNER, M., Z Tierphysiol Tierernähr u Futtermittelkde **14**: 278. 1959.
- 88) KIRCHGESSNER, M., W. MUNZ, and W. OELSCH-LÄGER, Arch Tierernähr **10**: 1. 1960.
- 89) SMITH, J. C. Jr., E. G. McDANIEL, L. D. McBEAN, F. S. DOFT, and J. A. HALSTED, J Nutr **102**: 711. 1972.
- 90) REDDY, B. S., J. R. PLEASANTS, and B. S. WORTMANN, J Nutr **102**: 101. 1972.
- 91) SCHWARZ, F. J., and M. KIRCHGESSNER, Second Intern. Symposium Trace Element Metabolism in Animals, June 18-22. Madison. Wisconsin p. 15. 1973.
- 92) FORBES, G. B., and J. C. REINA, J Nutr **102**: 647. 1972.
- 93) RAMSAY, W. N. M., and E. A. CAMPBELL, Biochem J **58**: 313. 1953.
- 94) PANIC, B., L. J. BEZBRADICA, and N. NEDELJKOV, Second Intern. Symposium Trace Element Metabolism in Animals, June 18-22. Madison. Wisconsin p. 31. 1973.
- 95) RAMSAY, W. N. M., and E. A. CAMPBELL, Biochem J **62**: 227. 1956.
- 96) GOLDRING, W. V., P. J. SCHAIKLE, and J. A. DAVIDSON, Poultry Sci **19**: 263. 1970.
- 97) WIENER, G., J Comp Path Ther **76**: 435. 1966.
- 98) WIENER, G., Proc Nut Soc **30**: 91. 1971.
- 99) WIENER, G., and A. C. FIELD, Nature **209**: 1966.
- 100) WIENER, G., and N. S. M. MACLEOD, Vet Rec **86**: 740. 1970.
- 101) FURUGOURI, K., J Anim Sci **32**: 667. 1971.
- 102) 古郡 浩, 日豚研誌 **10**: 5. 1973.
- 103) TODD, J. R., Trace Element Metabolism in Animals ed. by C. F. MILLS p. 448. Livingston. Edinburgh and London. 1970.
- 104) POOLE, D. B. R., Trace Element Metabolism in Animals ed. by C. F. MILLS p. 465. Livingston. Edinburgh and London. 1970.
- 105) MILLS, C. F., and A. C. DALGARNO, Trace Element Metabolism in Animals ed. by C. F. MILLS p. 456. Livingston. Edinburgh and London. 1970.
- 106) MILLER, W. J., G. W. POWELL, W. J. PITTS, and H. F. PERKINS, J Dairy Sci **48**: 1091.
- 107) O'MARY, C. C., M. C. BELL, N. N. SNEED, and W. T. BUTTS, Jr., J Anim Sci **31**: 626. 1970.
- 108) FLYNN, A., and A. W. FRANZMANN, Second Intern. Symposium Trace Element Metabolism in Animals, June 18-22. Madison. Wisconsin p. 3. 1973.