

ヒートダメージサイレージと牛の銅欠乏症との関連

仲宗根 一 哉 安 里 左知子*

千 葉 好 夫 平 安 名 盛 己*

I はじめに

近年、沖縄県においても畜産基地建設事業や団体営草地開発整備事業等により、ボトムアンローダー装備の大型気密サイロが多数導入されており、低水分サイレージ（ヘイレージ）の利用が増加してきている。その中で貯蔵中にサイレージが発熱するという事例も聞かれるようになってきた。

発熱の原因はサイロの気密性の不良や、取り出し時における暴露等により好気性発酵が起り、それに伴って高温と蓄熱が生ずるためである¹⁾。蓄熱が進むと場合によっては自然発火が起こることもある²⁾。実際、県下でこれまでに数件のサイロ内火災が発生している。また県内農家のサイレージを収集、分析したところ、非消化性蛋白質の含有率が高いものがあり、牧草中の蛋白質の熱変性が考えられた³⁾ことから、農家サイロでの発熱が少なくないことが推察された。

一方、数年前から本島北部、八重山のいくつかの農家でサイレージを長期間給与していた舎飼牛に銅欠乏症が多数発生している。これらの農家のサイレージを調査した結果⁴⁾、貯蔵中に発熱した痕跡があることから、いわゆるヒートダメージサイレージと牛の銅欠乏症との間に何等かの関連があるものと推察された。

一般にヒートダメージを受けた牧草では、乾物、可消化蛋白質の損失があり、家畜栄養の面から問題とされているが、ヒートダメージサイレージ中のミネラルの家畜栄養に関する知見は少ない。

牧草サイレージ中のミネラルの定量に関連して、著者はサイレージ中の銅及び亜鉛を原子吸光法で定量する際、1規定塩酸による銅及び亜鉛の抽出率が乾草の場合と比較して低いことを報告している。また気密サイロ内での発熱を想定して、牧草試料を人工的に加熱（40～80℃）し、“蒸れ”の状態に数日置いた場合、1規定塩酸による銅及び亜鉛の抽出率が漸次低下することや酵素による牧草の成分分析中の銅及び亜鉛の分布が変化することから“蒸れ”により牧草体内で生ずる化学的变化が銅及び亜鉛の形態に影響を与えている可能性があることを報告している⁵⁾。

本報では、銅欠乏症が発生した本県の一農家で飼養されている放牧牛、育成牛、肥育牛、繁殖牛の血清中銅濃度及び給与飼料中銅含有率を測定し、1規定塩酸抽出法により得られる飼料中銅含有率が牛の栄養生理上どのような意味をもつのか、牛の銅欠乏症に関連して考察したのでその結果を報告する。

* 沖縄県家畜衛生試験場

II 材料及び方法

1. 供試牛

本県の一農家で飼養されている黒毛和種（放牧牛4頭、育成牛6頭、肥育牛4頭、繁殖牛14頭の計28頭）。放牧牛は生後5年～12年の雌、育成牛は生後半年～1年の雌3頭、去勢牛3頭、肥育牛は生後1年半～2年の去勢牛、繁殖牛は生後1年半～8年半の経産牛で妊娠牛は含まない。

2. 牛群の飼養形態及び飼料給与量

各牛群の飼養形態及び飼料給与量を表-1に示した。

表-1 調査牛の飼養形態及び飼料給与量

| 区 分 | 飼養形態 | 飼料給与量（1日1頭あたり） |
|-----|------|---------------------------------|
| 放牧牛 | 放 牧 | 周年放牧。週に1回乾草を給与。 肉牛用配合飼料1kg |
| 育成牛 | 群 飼 | サイレージ4kg、乾草1kg、肉牛用 配合飼料2kg |
| 肥育牛 | ” | 乾草2.5kg、圧ぺん大麦4kg、肉牛 用配合飼料4kg |
| 繁殖牛 | ” | サイレージ20kg、肉牛用配合飼料2 kg |

3. 血清中銅濃度の測定

1990年1月11日に調査牛の頸静脈から血液を採取し、採取後速やかに3000rpm、15分間の条件で遠心分離して得た血清に蒸留水を加えて3倍容に希釈し、試料液として原子吸光分光光度計で測定した。

4. 飼料中銅含有率の測定

各牛群に給与している飼料を全て採取し、飼料中の銅含有率を原子吸光法により測定した。その際、同一試料について前処理を硝酸一過塩素酸により湿式灰化法及び1規定塩酸抽出法の両法で行った。なお牧草サイレージ試料は当該農家のサイロから1989年7月～10月の間5点、乾草試料は同年9月～11月の間4点を採取し分析に供した。

III 結果及び考察

1. 飼料中銅含有率

各牛群で給与されている個々の飼料の銅含有率を表-2に示した。放牧牛については生草中の銅含有率を掲げた。

生草、乾草、配合飼料等では湿式灰化法及び1規定塩酸抽出法のいずれの前処理においても銅の分析値はほぼ等しい。しかし、サイレージでは湿式灰化法で得られる分析値に対して1規定塩酸抽出法で得られる分析値がかなり低くなる傾向にあった。このことから、これらのサイレージはかなりのヒートダメージを受けていたと考えられた。^{6,7)}

表-2 飼料中の銅含有率

| 飼料名 | 銅含有率 (湿式灰化法) | | 銅含有率 (1規定塩酸抽出法) | |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | FM ppm | DM ppm | FM ppm | DM ppm |
| 肉牛用配合飼料 | 11.1 | 12.8 | 10.7 | 12.3 |
| 庄 べ ん 大 麦 | 7.1 | 8.2 | 7.1 | 8.2 |
| イネ科牧草(生草) | 1.1 (0.6~1.1) | 6.8 (4.0~7.1) | 1.1 (0.6~1.1) | 6.8 (4.0~7.1) |
| イネ科乾草 | 5.4 (5.2~5.6) | 6.3 (6.2~6.4) | 4.9 (4.4~5.2) | 5.7 (5.5~5.9) |
| サイレージ | 2.2 (2.0~2.4) | 6.9 (6.3~8.0) | 0.8 (0.7~0.9) | 2.5 (1.9~2.9) |
| (鉍 塩) | 73.8 | 77.7 | 72.2 | 76.0 |

注) 生草の平均乾物率 : 16.18%、乾草 : 82.7%、サイレージ : 32.3%

個々の飼料の銅含有率と飼料給与量から各牛群の給与飼料全体の銅含有率を算出し、表-3に示した。なお、放牧牛については体重比で9.4%の生草の採食量を見積り¹⁰⁾、銅含有率を算出した。

放牧牛、肥育牛では湿式灰化法及び1規定塩酸抽出法のいずれの前処理を用いても給与飼料全体の銅含有率はほとんど変わらないが、育成牛や特に繁殖牛では、給与飼料全体に占めるサイレージの割合が高いため、前処理法によって給与飼料全体の銅含有率がかなり異なってくる。

従って、各牛群の給与飼料中銅含有率は湿式灰化法で7.5~9.5ppmの範囲であるのに対して、1規定塩酸抽出法では4.6~9.2ppmの範囲となった。

表-3 各牛群の給与飼料中銅含有率

| 区 分 | 銅含有率 (DM ppm) | |
|-------|---------------|----------|
| | 湿式灰化法 | 1規定塩酸抽出法 |
| 放 牧 牛 | 7.5 | 7.5 |
| 育 成 牛 | 9.4 | 7.6 |
| 肥 育 牛 | 9.5 | 9.2 |
| 繁 殖 牛 | 8.2 | 4.6 |

2. 牛群の血清中銅濃度

供試した牛群の血清中銅濃度を表-4に示した。

各牛群の血清中銅濃度は24.5~101.9 $\mu\text{g}/\text{dl}$ と広い範囲にあった。このうち育成牛の2頭と繁殖牛の全頭が銅欠乏症の臨界値¹¹⁾である65 $\mu\text{g}/\text{dl}$ を下回った。特に繁殖牛の平均値は40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 以下の低レベルで、削瘦、眼周囲の被毛の退色、荒毛等の銅欠乏の臨床症状¹²⁾を呈するものが半数以上を占めていた。

一般に放牧牛の血清中には80~160 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 程度の銅が含まれているが、銅欠乏の症状を現したものは40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 以下となるといわれており¹³⁾、今回調査した繁殖牛の場合と一致していた。

表-4 各牛群の血清中銅濃度

| 区 分 | 血清中銅濃度 ($\mu\text{g}/\text{dl}$) |
|-------|---------------------------------------|
| 放 牧 牛 | 93.7a (84.0~101.9) |
| 育 成 牛 | 67.8b (51.0~ 82.5) |
| 肥 育 牛 | 82.1ab (69.0~ 87.9) |
| 繁 殖 牛 | 37.0c (24.5~ 56.6) |

異符号間に有意差有り ($p<0.01$)。

3. 銅欠乏症と銅吸収の阻害要因

前述のとおり湿式灰化法により得られた給与飼料中銅含有率は7.5~9.5ppmであり、日本飼養標準¹⁴⁾の4~10ppmの要求量を満たしていた。しかし牛血清中銅濃度では育成牛の2頭と繁殖牛の全頭で臨界値を下回る値を示したことから、繁殖牛の半数以上が銅欠乏の臨床症状を呈していたことから、飼料中の銅の利用を阻害する要因があることが推察された。

我が国でこれまで報告された銅欠乏症の事例¹⁴⁻¹⁷⁾では、ほとんどがモリブデンの過剰摂取による銅の吸収抑制が原因であった。その外、飼料中の鉄、亜鉛、炭酸カルシウムもまた制限因子と考えられている¹⁸⁾。

給与飼料中、配合飼料では銅を含む微量元素の要求量をほぼ満たし、モリブデン含有率も1 ppm以下であることが報告されており問題は無いものと考えられる。一方、粗飼料中のミネラル含有率は粗飼料の種類、施肥条件、土壌により大きく変動することから、粗飼料を主体に飼養される牛の微量元素栄養に影響を与えているものと推察される。

当該農家草地の牧草中の微量元素を含むミネラルの測定を行ったところ、各種ミネラル含有率は表-5のとおりであった。モリブデンの含有率は6 ppm以上で中毒の発生のおそれがあると考えられているが、牧草中のモリブデン含有率は1 ppm以下の低い値であった。早川²⁰⁾らはCu/Mo比が2.0を下回るとモリブデン障害発生の危険があると指摘しているが、Cu/Mo比は6.7以上であった。鉄、亜鉛、カルシウムはほぼ要求量を満たす範囲であり、制限因子となる含有率ではなかった。

またWord²⁾は銅欠乏症を4つのグループに分類しており、(1)飼料中に高い含有率のモリブデン(20ppm以上)を含む場合、(2)飼料中の銅含有率は低い、十分量のモリブデンを含む場合($Cu/Mo < 2 : 1$)、(3)飼料中の銅の欠乏(< 5 ppm)、(4)飼料中の銅及びモリブデン含有率は正常値であるが高濃度の可溶性蛋白質を含む場合に銅欠乏症が発生すると報告している。

(1)~(3)については前述したように湿式灰化法により得られた飼料中銅及びモリブデン含有率から否定される。(4)についても暖地型イネ科牧草を利用していることから蛋白質の含量が低い²⁾ため該当しない。

以上のことから、今回確認された銅欠乏症はこれまでに国内で報告された事例とは発生の原因が全く異なるものと判断された。

表-5 牧草中のミネラル含有率(湿式灰化法)

| Ca (%) | Mg (%) | K (%) | P (%) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Mn (ppm) | Fe (ppm) | Mo (ppm) | S (%) |
|--------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 0.2 | 0.12 | 0.9 | 0.1 | 4.0 | 14.0 | 200 | 60 | 0.3 | 0.2 |
| } | } | } | } | } | } | } | } | } | } |
| 0.5 | 0.15 | 1.4 | 0.15 | 7.1 | 25.0 | 350 | 120 | 0.6 | 0.4 |

注) 数値は全て乾物あたり。

銅欠乏症が発生した育成牛、繁殖牛では長期間サイレージを採食しており、特にサイレージの給与量が多い繁殖牛では、各牛群中最も血清中銅濃度が低く、半数以上に銅欠乏症が現れていた。また給与されていたサイレージはヒートダメージを受けており、1規定塩酸抽出法により得られた給与飼料中銅含有率はかなり低い値であった。

そこで各牛群の血清中銅濃度の平均値と湿式灰化及び1規定塩酸抽出の両前処理法により得られた各牛群の給与飼料中銅含有率の相関をそれぞれ求め、図-1及び図-2に示した。

湿式灰化法により得られた給与飼料中銅含有率と血清中銅濃度の相関係数は-0.053と低い値であったが、1規定塩酸抽出法の場合は0.825となり高い相関を示した。

このことから1規定塩酸抽出法により得られる飼料中銅含有率が牛の血清中銅濃度と密接な関係にあることが示唆され、繁殖牛に銅欠乏症が発生した原因は1規定塩酸による銅の抽出率が低いヒートダメージサイレージを長期間多量に採食していたためと推察された。

また1規定塩酸抽出法により得られた給与飼料中銅含有率は4.6~9.2ppmで、要求量の範囲内であったが、実際に銅欠乏症が発生していることから要求量は4ppmより高い値であると考えられた。

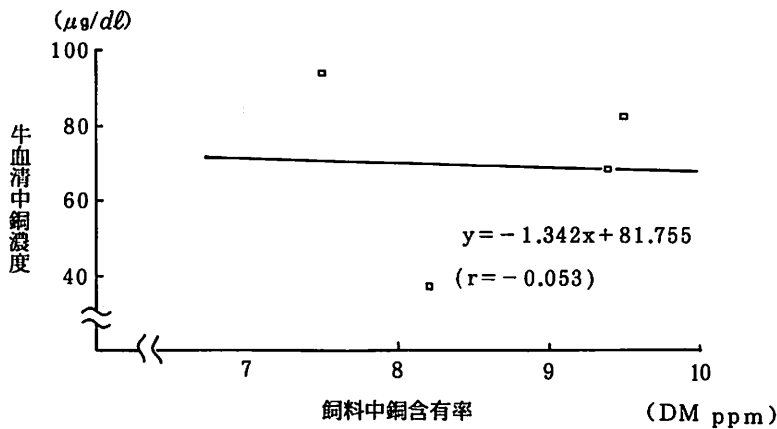


図-1 飼料中銅含有率と牛血清中銅濃度（湿式灰化処理）

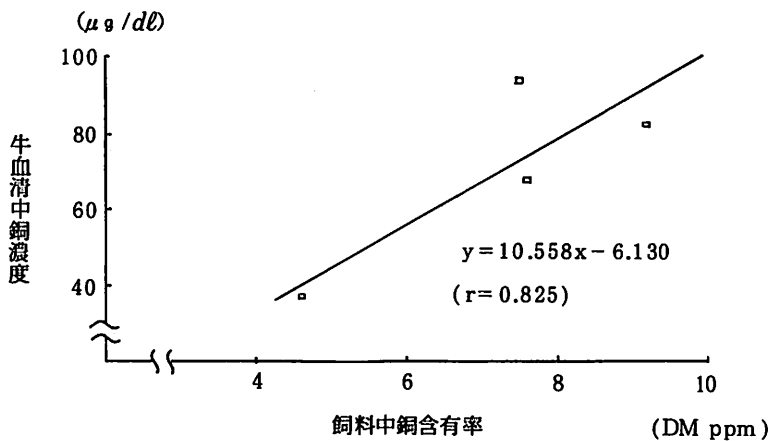


図-2 飼料中銅含有率と牛血清中銅濃度（1規定塩酸抽出）

4. まとめ

現在のところ飼料中の銅含有率が少ない（＜3 ppm）ために生ずる銅欠乏症、いわゆる原発性の銅欠乏症は国内ではほとんど発生しないであろうといわれている²⁹⁾。原発性の銅欠乏症が放牧牛に発生することはあっても、比較的多く銅を含む濃厚飼料を給与している舎飼の牛には発生しないものと考えられている²⁹⁾。

しかし今回調査した舎飼牛の中で、サイレージを中心に飼養されていた繁殖牛の半数以上に銅欠乏症が発生しており、同一の牧草（生草、乾草）、濃厚飼料を採食していた他の牛群には発生していなかった。また飼料中の銅の利用を阻害すると考えられるモリブデン、鉄、亜鉛、炭酸カルシウムは制限因子となるほど飼料中には含まれていなかったことから、当該農家で発生した銅欠乏症はこれまでの事例とその発生の原因が全く異なるものと判断された。

著者らは本報で述べた調査の結果から、1 規定塩酸により抽出される銅が牛血清中銅濃度と密接な関係にあることを明らかにし、銅欠乏症が発生した原因は1 規定塩酸による銅の抽出率が低いヒートダメージサイレージを長期間多量に採食していたためと推察した。今後銅欠乏症の治療、予防等の対策を図るため、銅欠乏症が発生する箇所疫学調査を含むフィールド調査を行うとともに、反芻家畜を用いてヒートダメージサイレージの長期給与による銅欠乏症実証試験を実施し、原因を明らかにする必要がある。

IV 要 約

牛の銅欠乏症が発生した本県の一農家で飼養されている牛の血清中銅濃度及び給与飼料中銅含有率を測定し、1 規定塩酸により抽出される飼料中の銅が牛の栄養生理上どのような意味をもつのか、牛の銅欠乏症に関連して考察した。その結果、1 規定塩酸抽出法により得られた飼料中銅含有率と牛の血清中銅濃度との相関が高いことが明らかとなった。このことから、1 規定塩酸により抽出される銅が牛の栄養生理に影響することが示唆され、繁殖牛に銅欠乏症が発生した原因は1 規定塩酸による銅の抽出率が低いヒートダメージサイレージを長期間多量に採食していたためと推察された。

V 文 献

- 1) 杉本亘之、牧草の自然発火およびくん炭化防止対策、畜産の研究、43、11、49-54、1989
- 2) 戸川哲郎・高橋圭二、粗飼料のくん炭化とその防止対策、牧草と園芸、34(5)、11-15、1986
- 3) 仲宗根一哉、貯蔵中の発熱がサイレージの品質に与える影響、沖畜試研報、第26号、115-119、1988
- 4) 仲宗根一哉、未発表資料
- 5) 藤田裕、牧草サイレージの栄養価をめぐる最近の諸問題、日畜会報、55(2)、903-910、1984
- 6) 仲宗根一哉、牧草サイレージ中のCu、Zn、Mn、Mgの定量における前処理法の検討、沖畜試研報、第27号、137-142、1989
- 7) 仲宗根一哉、加熱処理による牧草中Cu及びZnの形態的变化、沖畜試研報、第27号、143-146、1989
- 8) 作物分析法委員会、栄養診断のための栽培植物分析測定法、養賢堂、61、1976
- 9) 串崎光男、原子吸光分光分析に植物試料抽出法を併用したMn、Cu、Zn、Mgの定量の簡易迅速化、土肥誌、39、489、1968
- 10) 農林水産省 九州農業試験場、草地畜産技術マニュアル、61、1981
- 11) McDowell, L. R., Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates, Academic Press, New York, 348-349, 1985
- 12) 農林水産省 農林水産技術会議事務局、日本飼養標準、肉養牛、要求量(II)、36-44、1987
- 13) 農林省 畜産局衛生課外監修、技術の手引き13、牛の放牧衛生、272-275、1974
- 14) 小倉幸子外5名、煙害による牛のモリブデン中毒、家畜試研究報告、50、24-29、1965

- 15) 島田保昭・藤岡荘一郎、和牛における皮毛退色の原因調査について、日獣会誌、23、616-625、1970
- 16) 川島良二、わが国の微量元素にみられる土-草-動物の関係、微量栄養元素研究、第1集、1-12、1984
- 17) 広岡実外7名、黒毛和種繁殖牛における銅欠乏症の発生と要因および治療・対策、獣医畜産新報、No771、649-652、1985
- 18) Underwood, E.J., 微量元素 (日本化学会編)、丸善、57-111、1975
- 19) 九州農業試験場畜産部第3研究室、乳牛の微量元素栄養、昭和58年度九州農試年報、44-47、1983
- 20) 早川竜雄・小倉幸子、医学と生物、67、2、127、1963
- 21) Wars, G.M., *J. Anim. Sci.*, 46、1078-1085、1977
- 22) 五斗一郎、暖地型牧草利用上の諸問題、日草九支報、11、1・2、19-26、1981
- 23) 高橋達児、本邦草地の無機栄養および牧草の無機品質に関する諸問題 4. 銅およびほう素について、日草誌、24(2)、177-184、1978