

反すう家畜用飼料への緩衝剤の添加

酪農学園大学 西 埜 進

過去10数年の間に、乳牛および肉牛の生産性は濃厚飼料の多給によって大幅な向上が示された。これは主として穀類が大量に、しかも安価に供給されるようになり、そのため粗飼料よりも濃厚飼料を多給した方がより一層経済的になるからであった。しかし、反すう家畜に対する過度な濃厚飼料の多給は、第一胃内の過剰な酸性によって、微生物相に異状をきたし、同時に第一胃内発酵が抑制され、そのため種々の代謝障害が発生する、としている。すなわち、穀類を多量に含有した高エネルギー飼料を摂取すると、反すう作用、唾液分泌および第一胃内発酵による正常な緩衝作用などが低下するからである。

したがって、第一胃内の緩衝物質が唾液からあまり供給されなければ、別になんらかの形で緩衝物質を補給することを考慮しなければならない。反すう家畜に緩衝剤を用いるという概念はそんなに新しいことではなく、すでに1909年頃に牛およびめん羊の飼料に緩衝剤を加えることの重要性は認識されていた¹⁾、との報告がある。その後はほとんど無視され1950年代に見直されるようになった。最近では多くの研究者が関心を持っているもののひとつに、反すう家畜の栄養および生理に対する緩衝剤の価値をあげることができる。

そこで、本稿では反すう家畜における炭酸カルシウムと重炭酸ナトリウムの役割および添加効果などに関するこれまでの研究の概要について総説することとした。

第一胃液 pH と緩衝剤添加

第一胃液の pH は、通常の飼養条件下では飼料の摂取によって急速に低下して、間もなく最低値に達し、その後はつぎの飼料を摂取するまでの間は徐々に上昇して、つぎの飼料を摂取する直前は大体もとの値に戻っている²⁾。和泉ら³⁾第一胃液の pH は揮発性脂肪酸濃度の変化とは逆の関係にあるとし、Toppsら⁴⁾はこの両者の間に負の高い相関があ

ると報告している。さらに、これらの報告から第一胃液の pH と揮発性脂肪酸組成の間には明らかな関係がないものとみなされる。

第一胃内では、飼料の摂取にともなって大量の揮発性脂肪酸が連続的に生産され、これが第一胃内発酵の間に生産される量は、理論的には第一胃液をかなりの酸性に低下せしめるものであるにもかかわらず、第一胃液の pH が中性付近からあまり大きく変ることはない。その変動の範囲も比較的せまいものとなっている^{5,6,7)}。反すう家畜が第一胃液の pH を恒常に保つ要因には、唾液の流入量、揮発性脂肪酸の生産量と吸収量および飼料摂取量などがあげられている。唾液は分泌量が多く、その炭酸塩の濃度も高く、常に間断なく分泌されているから、唾液が第一胃内の酸度を緩衝する重要な役割をはたしている。

しかしながら、反すう家畜に対し濃厚飼料の給与量を増加すると、これにともなって粗飼料の摂取量が減少して、第一胃内の揮発性脂肪酸の生産量が多くなり、その結果、第一胃液の pH が著しく低下することになる。たとえば、Oshio らは⁸⁾、第一胃内における揮発性脂肪酸の生産速度は、高穀類飼料を給与した方が同時に乾草を併給した場合に比べて速くなる傾向がみられ、第一胃液の pH も著しく低下し、その最低に約 4.5 が示された。矢野ら⁹⁾めん羊の濃厚飼料多給時には揮発性脂肪酸の濃度が高くなり、第一胃液 pH も 5.5 ぐらまで下った、などと報告している。さらに、去勢牛を粗飼料のみからトウモロコシ主体含有飼料へと切り換えると、第一胃液の pH はおよそ 2 週間ぐらい経過すれば有意に低下する¹⁰⁾、との報告がみられる。

以上の濃厚飼料多給時における第一胃内発酵に関する報告は、いずれの実験でも粗飼料には乾草が用いられている。このことについて、和泉は¹¹⁾、乾草、牧草サイレージおよびトウモロコシサイレージと濃厚飼料の給与比率を変えて検討し、乾草では濃厚飼料の給与比率が増加するとともに第一

胃液のpHは直線的に低下したが、牧草サイレージでは一定の傾向はなかった、としている。すなわち、彼は粗飼料の種類により結果が必ずしも一致しないことを強調している。

また、穀類を多給した場合にもっとも多く生産される代謝最終産物が乳酸であって、この酸は易発酵性炭水化物を多く含む飼料を給与することにより多く生産される傾向がある。Irwinら¹²⁾はめん羊にブドウ糖を多く含む精製飼料を第一胃内に投与すると、第一胃液のpHは低下し、乳酸濃度が高くなった、としている。これと大体同じようなことを述べた報告が他にもみられる^{13, 14)}。

そこで、乳牛および肉牛の濃厚飼料多給時における第一胃内環境を変え、それによって第一胃内発酵を調節することができれば、乳および肉生産を最適のものに改善することが可能であろうとみなされるようになった。

反すう家畜飼料への炭酸カルシウム添加が第一胃液のpHに有効であるかを確認した報告は多くない。Russellら¹⁵⁾は、肉用去勢牛に粉碎トウモロコシを多給して炭酸カルシウムを1.8%添加すると、第一胃液のpHは有意に高くはなるが、揮発性脂肪酸の生産量に有意差はなく、その組成にも変化がなかった。Wheelerら¹⁶⁾も去勢牛にトウモロコシ主体飼料を給与し、これに石灰岩を添加すると、第一胃液のpHは酸性から中性へと有意に増加した。しかも小腸、結腸および糞pHの増加も大きかった。この場合の石灰岩添加区はいずれも中性に近かったが、これらは対照区の酸性から有意に増加したものであった、としている。

他方、重炭酸ナトリウムについては、Mcknightら¹⁷⁾が粉碎トウモロコシを多給している去勢牛に、重炭酸ナトリウムを飼料の約2.3%添加しても、第一胃液のpHに有意差はなかったが、揮発性脂肪酸における酢酸の割合は増加し、プロピオン酸のそれは減少する傾向にあったと報告している。第一内緩衝能は幼齢子牛の方が成牛に比べて低いものとされている。こういう乳用子牛に、Wheelerら¹⁸⁾は重炭酸ナトリウム含量5.0%の人工乳を無制限給与すると、第一胃液のpHに影響を与えることなく、揮発性脂肪酸の酢酸と酪酸は有意に増加し、プロピオン酸が減少する、としている。また、穀類を

多給している乳牛においても、重炭酸ナトリウムの給与は第一胃液のpHに差を生じないが、酢酸は有意に増加し、プロピオン酸の減少することが示されている¹⁹⁾。とくに、Kilmerら²⁰⁾は分娩前の粗飼料多給から分娩後の高エネルギー飼料への切り換え時における重炭酸ナトリウムの給与は、体液の酸・塩基平衡を酸性側の方に傾くのを防ぐ効果がある、としている。しかし、Kellawayら²¹⁾は離乳子牛を用いて、大麦主体の基礎飼料に重炭酸ナトリウムを60%添加しても、第一胃液のpHおよび揮発性脂肪酸における各酸の割合に差異はなかった。Russellら¹⁵⁾も去勢牛でこれとほぼ同じような成績を認めている。

以上の限られた報告によって要約すると、穀類を多給している乳牛および肉牛に炭酸カルシウムを添加すると、第一胃液のpHは上昇するが、重炭酸ナトリウムを添加してもほとんど変化しないものと言える。この場合に重炭酸ナトリウムを給与すると、揮発性脂肪酸の酢酸割合は増加するが、プロピオン酸の割合は減少することを認めた報告が多かった、と結論づけられる。

下部消化管および糞のpHと緩衝剤添加

反すう家畜における消化管内のpHと給与飼料との関係については、まだ十分に知られていない。Kernら²²⁾は乾草給与時における第一胃、第四胃、回腸、盲腸および結腸のpHはそれぞれ6.9、3.1、7.3、7.0および7.2であった、としている。このことから、全消化管のうち第四胃内は明らかに酸性ではあるが、そのほかの消化管内は大体中性付近にあることが解かった。一方、穀類多給時には、第一胃、小腸および結腸内のpHは5.4から6.7ぐらいになり、乾草給与時に比べるといずれもかなり低くなったが、第四胃内は2.3から3.5の範囲にあった。しかも小腸内と糞の間には大きな差はなく、糞のpHが小腸内のそれのよい指標であることが示唆されている²³⁾。

反すう家畜に穀類を多給すると、第一胃内で発酵されないかなり量のデンプンが小腸の方へ移行し、そこで十分に消化されずに糞中へ排泄されることになる。これについて、Armstrong and Beaver²⁴⁾は、小腸内pHがデンプン分解酵素(アミ

ラーゼ) 活性が最適となるものよりかなり低くなると、小腸におけるアミラーゼ活性が低下し、そのためデンプン消化率が減少する、と説明している。

そこで、反すう家畜の濃厚飼料多給時に緩衝剤を添加して過剰な酸性を抑制すれば、飼料中のデンプンがよく利用されるだろう、という仮説が持たれた。この仮説は、Wheelerら²⁵⁾が高穀類飼料に石灰岩または石灰岩のマグネシウム塩を約27%添加することにより、糞のpHを高め、糞中へのデンプン損失量を減少したことによりたしかめられた。さ

らに、彼²³⁾は高水分のトウモロコシ飼料に石灰岩を添加して去勢牛に給与し、糞のpHと糞中デンプン含量との関係について検討した。その結果、糞のpHは対照区が酸性であったが、石灰岩添加区はほぼ中性となり明らかに高くなった。また、糞中デンプン含量は対照区が乾物中32.4%であったが、石灰岩添加区は9.2%と著しく減少した、と指摘している。このことについて、著者らも離乳子牛の人工乳主体給与時において、糞のpHは炭酸カルシウムを添加した方が無添加の酸性から有意に高くなったが、デンプン消化率には差異はなかった

Table 1. Apparent digestibility, fecal pH, calcium and phosphorus balance data obtained from calves fed added calcium carbonate

Items	Group ^a	Trial	II	Trial	III
		1	2	1	2
No. calves		6	6	4	4
DM intake, kg/day		3.37	3.32	3.24	3.20
Crude protein, % / DM		22.2	24.8	17.7	18.4
Calcium, % / DM		0.42	1.26	0.49	1.40
Digestibility, %					
Dry matter		72.4	74.2	70.2	70.9
Crude protein		73.8 b	79.6 c	68.6 b	72.7 c
Acid detergent fiber		52.2	54.6	47.1	51.0
Acid detergent cellulose		59.1	61.5	56.3	57.7
Cell wall		62.2	63.9	57.8	50.2
Starch				90.3	92.7
Fecal pH		6.0 b	7.4	6.6 b	7.5 c
Calcium balance, g/day					
Intake		1391 b	4174 c	1571 b	4457 c
Excretion					
Fecal		522 b	2648 c	652 b	2307 c
Urinary		0.16	0.08	0.04	0.19
Absorption		8.75 b	15.26 c	9.22 b	21.51 c
Retention		8.59 b	15.18 c	9.21 b	21.32 c
Phosphorus balance, g/day					
Intake		1303	1244	1320 b	1467 c
Excretion					
Fecal		6.45	5.83	7.36	6.20
Urinary		1.92 b	0.24 c	0.10	0.05
Absorption		6.59	6.61	5.85 b	8.47 c
Retention		4.67 b	6.37 c	5.75 b	8.42 c

a Group 1, nosupplemental calcium carbonate; Group 2, calcium carbonate supplemented.

b. c Means on the same trial with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

(Table 1)。Rnssell²⁶⁾も肉用去勢牛に粉碎トウモロコシを多給すると、糞のデンプン排泄量は増加するが、デンプン消化率に有意差は認められなかった、と否定的な見解を述べている。さらに、泌乳牛および肉用去勢牛の生産におよぼす石灰岩添加の影響について飼養試験が行なわれている。たとえば、Wheeler²⁷⁾は、泌乳牛に石灰岩を2.7%添加した完全飼料を給与すると、乳量は石灰岩を添加した方が無添加に比べて有意に多くなったが、飼料摂取量はほぼ同じであった。しかも糞のpHは石灰岩の添加により有意に増加した、と言っている。このほか他の研究者によってもいくつか報告されている。

以上のことから、過剰な炭酸カルシウムは消化管で吸収されることが比較的少ないので、その大物分が下部消化管の方へ移行し、下部消化管内で有効な緩衝剤として作用するようだ。それでは濃厚飼料多給時に消化管内のpHを変えるのに必要な炭酸カルシウムがどれほどの量になるかといえば、これは第一胃内における炭水化物の発酵程度、あるいは第一胃内で吸収されずに下部消化管へ達する揮発性脂肪酸の量によって変るから、これは一概に言えることではないだろう。

これに対し、重炭酸ナトリウムは反すう家畜の唾液に含まれている緩衝物質であり、そのナトリウムは上部消化管で非常に速く吸収され、過剰な分は尿を通じて急速に排泄されるため、重炭酸ナトリウムは小腸のpHにあまり大きな影響を与えないものとされている。すなわち、Kilmer²⁸⁾は乳牛用配合飼料に重炭酸ナトリウムを0.8%添加したが、糞のpHは重炭酸ナトリウムの有無に関係なく一定であった。糞のデンプン含量にも重炭酸ナトリウム添加の差がなかった。Erdman²⁸⁾も濃厚飼料60%の乳牛用完全飼料に重炭酸ナトリウムを1.5%添加しても、糞のpHおよびデンプン含量に対する影響はなかった。また、Wheeler¹⁸⁾の報告によれば、幼齢子牛に重炭酸ナトリウム5.0%含有している人工乳を自由摂取せしめても、いずれの飼料のデンプンも完全に消化され、糞へのデンプン排泄も微量であった。重炭酸ナトリウムの給与は糞のpHを高めるが、その範囲は中性付近を越えるものでなかった、などとしている。これらの報告が消化管

内における重炭酸ナトリウムの緩衝作用を裏書きしている。

飼料の消化率と緩衝剤添加

穀類の主要な炭水化物はデンプンであって、古くから反すう家畜に濃厚飼料を多給すると、飼料の消化率が低下する、としている。Nelson²⁹⁾らが、泌乳牛に粗飼料対濃厚飼料の割合を変えた完全飼料を与えた結果は、濃厚飼料の給与割合が高くなるにつれて、エネルギーと蛋白質の消化率は直線的に増加した。これに対する酸性デタージェント繊維の消化率も直線的に減少した。繊維成分のセルロースとヘミセルロースも同じような傾向で減少し、従来の成績に一致するものではあったが、濃厚飼料の割合との関係は明確でなかった。Price³⁰⁾も去勢牛を用いて、濃厚飼料の給与割合を高めると酸性デタージェント繊維の消化率が明らかに減少する、としている。このほかにもCampling³¹⁾、Depeters³²⁾およびHorton³³⁾の研究者によっても同じような成績が認められている。こうした消化率の低下は、(1)第一胃内の環境がセルロースやデンプンのような飼料中の炭水化物の発酵に対し好ましくない状態になる、さらに、(2)下部消化管内の環境も不適當になり、小腸における酵素活性が低下する、などいくつかの原因が複合した結果によって起る消化管内環境の変化に関係したものとみなされている。

さらに、Wheeler³⁴⁾は、乳牛に粗飼料対濃厚飼料の割合を変えた完全飼料を給与し、飼料摂取量が維持の水準では各飼料のデンプン消化率に差はなかったが、泌乳期に飼料摂取量を維持量の約2.5倍から3.2倍にすると、デンプン消化率が低くなった、と述べている。このように飼料摂取水準が高くなると、とくに飼料中のデンプンが反すう胃と小腸の消化を逃れて糞中に排泄されることがわかった。

そこで、消化管内環境を変えるため、飼料に緩衝剤を添加することが比較的古くから行なわれていた。Warner³⁵⁾は、肉用去勢牛の濃厚飼料多給時に炭酸カルシウムを0.74%添加給与すると、有機物、セルロースおよびエネルギーの各消化率が改善されるとしている。この場合はとくにセルロース消

化率の向上が著しく、これが有機物の消化率の改善に大きく寄与したものと推察されている。これと同様に、Wheeler²⁷⁾も泌乳牛の濃厚飼料多給時に石灰岩を約2.7%添加することにより、乾物、粗蛋白質、エネルギー、細胞壁構成物質およびデンプンの消化率は高まるとしている。著者らも離乳牛の人工乳主体給与時に炭酸カルシウムを人工乳に3.5%添加し、乾物、繊維成分およびデンプンの消化率に影響はなかったが、粗蛋白質消化率は有意に高くなることを認めた(Table 1)。Trenkle³⁶⁾は酸・塩基の不均衡は蛋白質の代謝に悪影響をおよぼすとしている。おそらく第一胃内が酸性から中性以上になると、飼料中の蛋白質が分解されやすくなり、第一胃内微生物の成長も促進され、したがって消化率も高くなるのであろう。このように蛋白質の利用性が改善されるのは、濃厚飼料を多給している場合であって、粗飼料を相当含むものに緩衝剤を添加しても蛋白質の節約作用は認められない。

以上述べてきた炭酸カルシウムの給与効果も、緩衝剤としての物理的、化学的な性質によって一様でないことが考えられる。たとえば、Wheeler³⁷⁾は、炭酸カルシウムの反応速度とカルシウム摂取水準の影響をたしかめるため、飼養試験を3回行なった。その結果は炭酸カルシウムの反応速度が速くなり、カルシウムの摂取水準が高くなるにつれて、乾物、有機物、細胞壁構成物質およびデンプンの消化率が有意に高くなることを認めている。また、濃厚飼料85%を含む完全飼料を給与している去勢牛に、反応速度の速い炭酸カルシウムを飼料に1.8~2.2%添加すると、乾物、有機物、粗蛋白質、細胞壁構成物質およびデンプンの消化率が増加する¹⁶⁾、としている。

他方、重炭酸ナトリウム添加飼料の消化率に關してもいくつかは報告されている。Lassiter and Cook³⁸⁾は、肉用雄子牛および去勢牛を用いて、ペレット飼料に重炭酸ナトリウムを0.5%添加した飲水を与えても消化率には影響しなかった。しかし、めん羊では飼料の粗繊維と粗脂肪の消化率が高くなった、としている。また、Nicholson³⁹⁾は、大麦、エンバク主体の飼料を粉碎か圧べんにして、重炭酸ナトリウムを5.7%添加して去勢牛に給与し

消化試験を行なったが、有機物および窒素の消化率には明らかな差異は認められなかった。さらに、トウモロコシ主体の肥育飼料に重炭酸ナトリウムを5.0%添加しても、乾物、粗蛋白質、酸性デタージェント繊維およびデンプンの各消化率に差異はなかった⁴⁰⁾、としている。このような報告に対し、Preston⁴¹⁾らが育成子牛に給与している完全飼料に、重炭酸ナトリウムを1.25、2.50および7.50%添加すると、重炭酸ナトリウム添加量の増加にともなわずかに乾物消化率のみが高くなることを認めている。しかし、これを支持する他の研究者の報告はほとんど見あたらない。

以上の報告から、反すう家畜用飼料に重炭酸ナトリウムを添加しても、その消化率にはほとんど影響しないものと考えられる。

ミネラル代謝と緩衝剤添加

反すう家畜において、第一胃内発酵が正常に行なわれるためには、第一胃内に各種ミネラルが適量含まれていなければならない。第一胃内に存在する各種ミネラルは、第一胃内に棲息する細菌やプロトゾアの栄養源になると同時にそれらが第一胃内微生物の生育環境を構成する因子として重要な役割をはたしているからである。これに関して、古くはHubbert⁴²⁾とかChamberlain⁴³⁾がin vitroで第一胃内微生物の活性に対する各種ミネラル添加の影響とか、あるいはこれに対する各ミネラルの相互作用を検討している。

通常の飼養条件下における第一胃液のミネラル濃度の変化については、つぎのような報告がある。矢野⁴⁴⁾は、飼料摂取後にカルシウム、マグネシウムおよび塩素濃度はいくらか増加して、最高値はその後2~4時間目に達し、以後漸減する傾向を示す。これに対しカリウムおよびリン濃度にはとくに変化なく、ナトリウム濃度は逆に減少する傾向がある、としている。さらに、沢ら⁴⁵⁾はめん羊にミネラル組成の異なる飼料を給与した場合に、第一胃液のミネラル濃度の経時変化は、カルシウムとマグネシウムが主としてそれぞれ摂取量の影響を受けるのに対し、ナトリウムは唾液の影響を受け、カリウムおよび塩素は両方の影響を受けるとしている。第一胃液のカルシウムおよびマグネシウ

ム濃度が、このように飼料の摂取により上昇するのは飼料からの溶出によるものとされている。したがって、第一胃液のカルシウム濃度は、給与飼料の種類、あるいはカルシウム摂取量に強く影響されることになるであろう。

第一胃液のミネラル濃度におよぼす炭酸カルシウム過剰摂取の影響についての報告はつぎのとおりである。著者らは、離乳子牛の人工乳主体給時における第一胃液のカルシウム濃度は、炭酸カルシウムを添加した方が無添加に比べて有意に高く

Table 2. Ruminal mineral concentrations in calves fed added calcium carbonate

Time after feeding	Group ^a	Trial II		Trial III	
		1	2	1	2
Calcium, mg/dl					
0 hr		1.6 b	3.6 c	3.2 b	5.6 c
1		3.6 b	5.6 c	6.5 b	1 0.6 c
3		2.3 b	4.0 c	4.7 b	7.2 c
6		1.9 b	3.5 c	3.7 b	7.9 c
Av.		2.4 b	4.2 c	4.5 b	7.8 c
Phosphorus, mg/dl					
0				2 7.9	1 9.3
1				2 8.4	1 8.6
3				2 7.3	1 9.4
6				2 8.3	2 0.8
Av.				2 8.0 b	1 9.5 c

a Group 1, no supplemental calcium carbonate ; Group 2, calcium carbonate supplemented.

b . c Means on the same trial with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

なったのに対し、リン濃度のそれは逆に低下する傾向がみられた (Table 2)。このことについて、矢野ら⁴⁶⁾は、めん羊に濃厚飼料を80%含む飼料のカルシウム含量を乾物中で約0.4, 1.2および1.9%にして食べたところ、第一胃液のカルシウム濃度は上昇したが、リン濃度は逆に減少する傾向にあったとし、大体において著者らと同じようなことを言っている。このようなことは、反すう家畜にカルシウムを過剰摂取せしめると、リンが欠乏しやすくなるという一般的な相互作用が、第一胃内のミネラル間にも存在していることのあらわれであろう。

反すう家畜のカルシウム吸収機序に関する見解は必ずしも一致していないが、おおかたの意見はカルシウムも第一胃から吸収されるが量的にはあまり重要でない、としている。反すう家畜が摂取する粗飼料その他飼料中のカルシウム含量には非常に大きな幅があるため、家畜は常に変動するミネラル摂取量に対し生体恒常性による制御が働い

てその過不足を調節している。したがって、カルシウム摂取量が適切なある範囲を越えた場合には、家畜はなんらかの形でこの過剰に対応することになる。そこで、反すう家畜がミネラル摂取量の大きな変動に適応する主な径路は、(a)吸収、(b)尿への排泄、(c)組織への蓄積、(d)乳への分泌および(e)糞への内生的排泄などである、としている。カルシウムは2価の陽イオンであり、これの主要な調節径路は吸収量の変化であるという。このことについて、Chiccoら⁴⁷⁾は去勢牛に給与した半精製飼料のカルシウム含量を乾物中で0.13%から0.78%にあげたら、高カルシウム飼料の方がカルシウムの糞中排泄量および血漿中濃度が有意に増加した、としている。さらに Dunhan and Ward⁴⁸⁾は分娩前後の泌乳牛に給与する飼料のカルシウム含量が1.0%以上であれば、これに関連して血漿中のカルシウム濃度が高くなる。志賀⁴⁹⁾はめん羊に対し炭酸カルシウムを添加給与すると、カルシウムの糞中排

泄量および尿中排泄量を著しく増加し、同時に血清中のカルシウム濃度も有意に高くなった、としている。

これに対し、Wheeler³⁷⁾は肥育去勢牛の濃厚飼料75%よりなる完全飼料に、炭酸カルシウムを0.6、2.4および2.4%添加給与すると、カルシウムの添加水準が高くなるにつれて、カルシウムの糞中排泄量と体内保有量は有意に増加したが、血清中のカルシウム、リン、マグネシウム、ナトリウムおよびカリウム濃度に影響があらわれなかった。

Davison and Woods⁵⁰⁾は去勢めん羊にトウモロコシ主体の基礎飼料を制限給与し、これに炭酸カルシウムを日量8~14g添加したところ、カルシウムの糞中排泄量は明らかに増加した。しかし、これと

血中ミネラル濃度との関係は不明であった。Verdaris and Evans⁵¹⁾の報告におけるカルシウム出納成績もこれらと大体同じような傾向であった。しかも Kincaid⁵²⁾も泌乳牛の飼料カルシウム含量(乾物中)を炭酸カルシウムで1.0%から1.8%に高めても、血漿中のカルシウム、マグネシウムおよび無機リン濃度には影響しなかった、としている。著者らが離乳子牛に乾草を自由に摂取させ、1日に人工乳を2.0~3.0kg給与して、その人工乳に炭酸カルシウムを2.0~3.5%添加した2回の実験においても、血清中のカルシウムおよびリン濃度に対する炭酸カルシウム摂取の影響は明らかでなかった(Table 3)。

以上のように、これまでの報告によれば炭酸カ

Table 3. Serum mineral concentrations in calves fed added calcium carbonate

Period	Group ^a	Trial I		Trial III	
		1	2	1	2
Calcium, mg/dl					
35 day of age		9.13	10.32		
49		9.61	10.81		
63				7.91	9.59
70				5.94 b	7.10 c
77		9.73	10.29	5.50 b	8.35 c
84				6.37	6.98
91		10.20	9.37	6.38	7.61
98				8.38	8.70
105		9.59	8.92	8.48	8.55
126		8.59	9.03		
Av.		9.47	9.79	6.99 b	8.17 c
Inorganic phosphorus, mg/dl					
35		8.12	8.06		
49		7.86	7.53		
63				4.61	5.22
70				7.00 b	4.62 c
77		7.77	7.03	4.06	3.90
84				6.78 b	4.34 c
91		7.17	6.95	6.44 b	4.75 c
98				7.11	6.72
105		7.83	7.64	6.97	6.45
126		8.12 b	6.79 c		
Av.		7.81	7.33	6.14 b	5.14 c

a Group 1, no supplemental calcium carbonate; Group 2, calcium carbonate supplemented.

b. c Means on the same trial with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

ルシウム摂取が血清中のミネラル濃度におよぼす影響については、必ずしも同一の傾向を持った成績ではなく、炭酸カルシウム摂取が少量でもカルシウム濃度が上昇したかと思うと、他方、極めて大量の給与でもカルシウム濃度が増加しないということが示された。このような差異を生ずるのは、これに炭酸カルシウム摂取以外の因子が関与していることの示唆であろう。

家畜のミネラル代謝は、その様式が個々のミネラルによって異なっている。反すう家畜が重炭酸ナトリウムを摂取すると、第一胃内でナトリウムの多くが吸収され、過剰の分は急速に尿へ排泄される。すなわち、反すう家畜が過剰のナトリウム摂取に適應するのは主として尿排泄の径路と言える。

重炭酸ナトリウム摂取が第一胃液のナトリウム濃度に与える影響について、今泉ら⁵³⁾は、濃厚飼料に重炭酸ナトリウムを3.0%と6.0%の割合で添加し、乾乳牛に粗飼料と濃厚飼料を半分づつ給与した。その結果によれば、第一胃液のpHは重炭酸ナトリウム添加と無添加の間に顕著な差はなかった。これに対し、ナトリウム濃度は飼料摂取後1~2時間目が最高となり、その後は下降した。この場合にナトリウム濃度の上昇はナトリウム添加量に比例した、としている。

つぎに重炭酸ナトリウム添加飼料のミネラル出納成績についてみると、Hadjipanayiotou⁵⁴⁾は去勢めん羊に重炭酸ナトリウムを4.0%添加した飼料を維持量給与したところ、重炭酸ナトリウム添加はナトリウムの尿中排泄量を増加した。同時に飲水量も多くなり、これとナトリウムの尿中排泄量との間に正の相関が認められた、としている。矢野⁵⁵⁾もめん羊に重炭酸ナトリウムを飼料の1.5および3.0%添加給与したら、重炭酸ナトリウムの給与はカルシウムとナトリウムの尿中濃度および尿中排泄量を増加したが、血清中の各ミネラル濃度には著明な変化はなかった、と報告している。

以上の成績から、重炭酸ナトリウム摂取が血中ミネラル濃度におよぼす影響はありえないものとみなされる。

結論と今後の問題

乳牛および肉牛の生産量を高め、その生産効率を改善するために泌乳牛と肥育牛の濃厚飼料には高エネルギー含量のものが推奨されてきた。しかし、一般に泌乳牛および肥育牛の生産能力があがればあがるほど、濃厚飼料を多給してみても期待されるような飼料効率の得られないことが多い。

そこで、高エネルギー飼料の多給時に緩衝剤を添加すれば、濃厚飼料に対する家畜の適應も容易であり、またこれが穀類主体のものであれば消化率を改善する効果もあろう、と言われてきた。しかし、これまでの報告から、濃厚飼料多給時における緩衝剤とすれば、重炭酸ナトリウムは第一胃内および下部消化管内の過剰酸性を抑制する効果はほとんどないだろう。これに対し、炭酸カルシウムは飼料のカルシウム源になると同時に第一胃内および下部消化管内の両方の酸性を中和することができる2つの目的を持った緩衝剤と言えることなどがわかった。

このような緩衝剤の使用に際していくつかの問題が予想される。その潜在的問題のひとつに緩衝剤を長期間使用した時における微量ミネラルの利用についてはあるが、現在のところほとんど知られてない。したがって、第一胃内および下部消化管内の環境を飼料の利用にとって望ましい状態に維持できるような有効な緩衝剤を見出すため、さらに多くの研究が必要になろう。

文 献

- 1) Wheeler, W. E., Gastrointestinal tract pH environment and the influence of buffering materials on the performance of ruminants. *J. Anim. Sci.*, 51: 224 - 235. 1980.
- 2) Fenner, H., F. N. Dickinson and H. D. Barnes, Relationship of digestibility and certain rumen fluid components to level of feed intake and time of sampling after feeding. *J. Dairy Sci.*, 50: 334 - 344. 1976.
- 3) 和泉康史, 西埜進, 乾草の摂取量がウシ第一胃内揮発性脂肪酸の産生に及ぼす影響. 日畜会報 45: 29 - 35. 1974.
- 4) Topps, J. H., W. D. C. Reed and R. C. Elliott, Studies of the metabolism of cattle given high concentrate diets. *J. Agric. Sci.*, 66: 233 - 240. 1966.
- 5) 和泉康史, 各種飼料の給与がウシ第一胃内揮発性脂肪酸の産生に及ぼす影響. 日畜会報 46: 11 - 18. 1975.
- 6) 和泉康史, 窒素施用水準および刈取時期を異にする乾草およびサイレージの給与がウシ第一胃内揮発性脂肪酸の産生に及ぼす影響. 日畜会報 46: 24 - 28. 1975.
- 7) Fujita, H., Effect of different carbohydrates on the rumen fermentation and nitrogen utilization in silage - fed ruminants. *Jap. J. Zootech. Sci.*, 49: 40 - 46. 1978.
- 8) Oshio, S., I. Tahata, H. Kobayashi and T. Ami, Volatile fatty acids production in the rumen of young heifers given diets containing a large proportion of concentrate. *Jap. J. Zootech. Sci.*, 48: 545 - 553. 1977.
- 9) Yano, H., K. Miyoshi and R. Kawashima, Relationships between mineral metabolism and rumen fermentation in sheep. *J. Zootech. Sci.*, 47: 270 - 276. 1976.
- 10) Lyle, R. R., R. R. Johnson, J. V. Wilhite and W. R. Backus, Ruminant characteristics in steers as affected by adaptation from forage to all - concentrate diets. *J. Anim. Sci.*, 53: 1383 - 1390. 1981.
- 11) 和泉康史, 粗飼料と濃厚飼料の給与割合がウシ第一胃内揮発性脂肪酸の産生に及ぼす影響. 日畜会報. 50: 443 - 452. 1979.
- 12) Irwin, L., G. E. Mitchel, Jr., R. E. Tucker and Schelling, Histamine, tyramine, tryptamine and electrolytes during glucose induced lactic acidosis. *J. Anim. Sci.*, 48: 367 - 374. 1979.
- 13) Koers, W. C., R. Britton, T. J. Klopfenstein, and W. R. Woods, Ruminant histamine, lactate and animal performance. *J. Anim. Sci.*, 43: 684 - 691. 1976.
- 14) Horn, G. W., L. Gordon, E. C. Prigge and F. N. Owens, Dietary buffers and ruminal and blood parameters of subclinical lactic acidosis in steers. *J. Anim. Sci.*, 48: 683 - 691. 1979.
- 15) Russell, J. R., A. W. Young and N. A. Jorgensen, Effect of sodium bicarbonate and limestone additions to high grain diets on feedlot performance and ruminal and fecal parameters in finishing steers. *J. Dairy Sci.*, 51: 996 - 1002. 1980.
- 16) Wheeler, W. E., C. H. Noller and J. L. White, Comparison between limestone and cement kiln dusts of similar rates of reactivity used in high concentrate diets for beef steers. *J. Anim. Sci.*, 52: 873 - 881. 1981.
- 17) Mcknight, D. R., G. S. Hooper, L. A. Drevjany and W. E. Pollock, Effect of sodium bicarbonate all - concentrate rations fed to Holstein steers. *Can. J. Anim. Sci.*, 59: 805 - 807. 1979.
- 18) Wheeler, T. B., P. J. Wangness, L. D. Muller, and L. C. Griel, Jr., Addition of sodium bicarbonate to complete pelleted diets fed to dairy calves. *J. Dairy Sci.*, 63: 1855 - 1863. 1980.
- 19) Miller, R. W., R. W. Hemken, D. R. Waldo, Okamoto and L. A. Moore, Effect of feeding buffers to dairy cows fed a high - concentrate, low - roughage ration. *J. Dairy Sci.*, 48: 1455 - 1458. 1965.
- 20) Kilmer, L. H., L. D. Muller, and T. J. Snyder, Addition of sodium bicarbonate to rations of postpartum dairy cows: Physiological and metabolic effects. *J. Dairy Sci.*, 64: 2357 - 2369. 1981.
- 21) Kellaway, R. C., D. E. Beever, D. J. Thomson, A. R. Austin, S. B. Cammell and Marian L. Elderfield, The effect of NaCl or Sodium bicarbonate on digestion in the stomach of weaned calves. *J. Agric. Sci., Camb.* 91: 497 - 503. 1978.
- 22) Kern, D. L., L. L. Slyter, E. C. Leffel, Ponies vs Steers; Microbial and chemical characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim. Sci.*, 38: 559 - 564. 1974.
- 23) Wheeler, W. E., and C. H. Noller, Gastrointestinal tract pH and starch in feces of ruminants. *J. Anim. Sci.*, 44: 131 - 135. 1977.
- 24) Armstrong, D. G., and D. E. Beever, Post-abomasal digestion of carbohydrate in the adult ruminant. *Proc. Nutr. Soc.*, 28: 121. 1969.
- 25) Wheeler, W. E., and C. H. Noller, Limestone buffers in complete mixed rations for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 59: 1788 - 1793. 1976.
- 26) Russell, J. R., A. W. Young and N. A.

- Jorgensen. Effect of dietary corn starch intake on ruminal small intestinal and large intestinal starch digestion in cattle. *J. Anim. Sci.*, 52:1170-1176. 1981.
- 27) Wheeler, W. E., Effect limestone buffers on digestibility of complete diets and performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 63:1844-1854. 1980.
 - 28) Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken and L. S. Bull, Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation. *J. Dairy Sci.*, 63:923-930. 1980.
 - 29) Nelson, B. D., H. D. Ellzey, E. B. Morgan and M. Allen, Effect of feeding lactating dairy cows varying forage-to-concentrate rations. *J. Dairy Sci.*, 51:1796-1800. 1968.
 - 30) Price, M., S. D. M. Jones, G. M. Mathison, and R. T. Berg, The effects of increasing dietary roughage level and slaughter weight on the feedlot performance and carcass characteristic of bulls and steers. *Can. J. Anim. Sci.*, 60: 345-358. 1980.
 - 31) Campling, R. C., The effect of concentrates on the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract of cows given hay. *J. Dairy Res.*, 33:13-23. 1965.
 - 32) Depeters, E. J. and E. M. Kesler, Partial replacement of concentrate by high quality hay for cows in early lactation. *J. Dairy Sci.*, 63: 936-944. 1980.
 - 33) Horton, G. M. J., K. A. Bassendowski and E. H. Keeler, Digestion and metabolism in lambs and steers fed monensin with different levels of barley. *J. Anim. Sci.*, 50: 997-1008. 1980.
 - 34) Wheeler, W. E., C. H. Noller, and C. E. Coppock, Effect of forage-to-concentrate ratio in complete feeds and feed intake on digestion of starch by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 58: 1902-1906. 1975.
 - 35) Varner, L. W., and W. Woods, Effect of calcium and starch additions upon ration digestibility by steers. *J. Anim. Sci.*, 35: 410-414. 1972.
 - 36) Trenkle, A. H., The relationship between acid-base balance and protein metabolism in ruminants. Regulation of acid-base balance. Church and Dwight Co., Inc., Piscataway. NJ.
 - 37) Wheeler, W. E., C. H. Noller and J. L. White. Effect of level of calcium and rate of reactivity of calcitic limestone on utilization of high concentrate diets by beef steers. *J. Anim. Sci.*, 52:882-894. 1981.
 - 38) Lassiter, J. W. and M. K. Cook, Effect of sodium bicarbonate in the drinking water of ruminants on the digestibility of a pelleted complete ration. *J. Anim. Sci.*, 22: 384-387. 1963.
 - 39) Nicholson, J. W. G., H. M. Cunningham and D. W. Friend, The addition of buffers to ruminant rations. II Additional observations on weight gains, efficiency of gains and consumption by steers on all-concentrate rations. *Can. J. Anim. Sci.*, 42: 75-81. 1962.
 - 40) Rogers, J. A. and C. L. Davis, Rumen volatile fatty acid production and nutrient utilization in steers fed a diet supplemented with sodium bicarbonate and monensin. *J. Dairy Sci.*, 65:944-952. 1982.
 - 41) Preston, T. R., F. G. Whitelaw, W. A. MacLeod and Euphemia B. Charleson, The effect of sodium bicarbonate in all-concentrate diet for early weaned calves. *Anim. Prod.* 4:299. 1962.
 - 42) Hubbert, F. Jr., E. Cheng and W. Burroughs, The influence of potassium, sodium, rubidium, lithium and cesium on in vitro cellulose digestion by rumen microorganism with observations upon sodium and potassium influences in lamb fattening rations. *J. Anim. Sci.*, 17: 576-585. 1958.
 - 43) Chamberlain, C. C. and W. Burroughs, Effect of fluoride, magnesium and manganese ions on in vitro cellulose digestion by rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.*, 21: 428-432. 1962.
 - 44) 矢野史子・川島良治・上坂章次, 家畜飼養における微量元素の重要性に関する研究. 第44報. 反すう家畜の第一胃内容液中のミネラル含量に関する in vitro の研究 (その1) 給飼後の経時的変化および第一胃内の部位による差. 食糧研報, 34: 1-8. 1971.
 - 45) 沢明・千秋達道・松本達郎, めん羊の第一胃内液のマクロミネラル濃度. 日畜会報. 45: 387-395. 1974.
 - 46) Yano, F., and R. Kawashima, Effect of calcium, phosphorus and magnesium administration on mineral concentration in rumen fluid of sheep. *Jap. J. Zootech. Sci.*, 50: 646-652. 1976.
 - 47) Chicco, C. F., C. B. Ammerman, J. P. Feaster and B. G. Dunavant, Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorus and magnesium in sheep. *J. Anim. Sci.*, 36: 986-993. 1973.
 - 48) Dunham, J. R., and G. Ward, Influences of calcium intake and vitamin D supplementation

on the composition of lactating cows blood.

J. Dairy Sci., 54:863-866. 1971.

- 49) 志賀隼郎・篠崎謙一, 反すう動物のカルシウムおよびマグネシウムの代謝に関する研究. 1めん羊に対する炭酸カルシウムまたは蓆酸ナトリウムの経口投与がマグネシウムとカルシウムの利用と排泄に及ぼす影響. 岩手大農報, 12: 379-388. 1975.
- 50) Davison, K. L., and W. Woods, Calcium and corn oil interrelationships as influencing ration utilization by lambs. J. Anim. Sci., 20:532-536. 1961.
- 51) verdaris, J. and J. L. Evans, Diet calcium and pH versus mineral balance in Holstein cows 84 days pre-to 2 days postpartum. J. Dairy Sci., 59: 1271-1276. 1975.
- 52) Kincaid, R. L., J. K. Hillers, and J. D. Cronrath, Calcium and phosphorus supplementation of rations for lactating cows. J. Dairy Sci., 64: 754- 758. 1981.
- 53) 今泉英太郎・浅沼昭三・小松芳郎・宮谷内留行・大森昭一郎, 重炭酸ナトリウム添加にともなう牛ルーメン内容の変化. 日畜北海道支部会報, 25: 19. 1982.
- 54) Hadjipanayiotou, M., Effect of sodium bicarbonate and of roughage on milk yield and milk composition of goat and on rumen fermentation of sheep. J. Dairy Sci., 65: 59-64. 1982.
- 55) Yano, H., S. Sakurai, and R. Kawashima, Effect of oral administration of sodium bicarbonate on urine and serum mineral concentrations in sheep. Jap. J. Zootech. Sci., 49: 104-109. 1978.