

酪農と肉牛生産の現場における ペプチドミネラルの活用

1 はじめに

亜鉛・マンガン・銅・コバルトなどの微量ミネラルは、牛にとって必須の栄養素であり、配合飼料には、各種の微量ミネラルが要求量を満たすように添加されています。配合飼料に加え、サプリメント飼料で微量ミネラルをさらに補給する農場も多いと思います。

しかしながら、微量ミネラルの体内への吸収率はさまざまな要因の影響を受けて変化しますので、期待した通りの量が体内に吸収されているとは限りません。フィチン酸や繊維など、微量ミネラルを吸着する成分が飼料中に多いと、吸収率は低下します。また、ミネラルの量的なバランスが悪いと、あるミネラルが他のミネラルの吸収を阻害する現象も起こります。これはミネラル間の相互作用と呼ばれています(図1)。

2 無機ミネラル vs. ペプチドミネラル (有機ミネラル)

配合飼料やサプリメント飼料に添加されている微量ミネラルの多くは、硫酸銅、硫酸マンガンなどの、無機態の化学構造のものです。微量ミネラルの吸収は小腸で行われますが、無機態の微量ミネラルは単独では小腸壁を通過できません。アミノ酸やクエン酸などの低分子リガンドと結合し、複合体として小腸壁を通過して吸収されるのです(図2)。このことが微量ミネラルの吸収を制限しており、微量ミネラルの飼料への添加量を増やしていても、吸収量が頭打ちになる原因や、あるミネラルを大量に飼料に添加すると他のミネラルの吸収が阻害される原因にもなっています。

一方、「ペプチドミネラル」は、「有機ミネラル」とも呼ばれ、アミノ酸やペプチドをミネラルに人工的に結合させており、小腸内でリガンドを必要とせず体内に吸収される上、吸収阻害物質による吸着

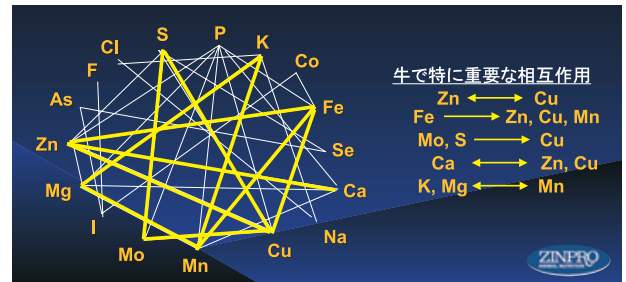


図1 ミネラルの吸収におけるミネラル間の相互作用

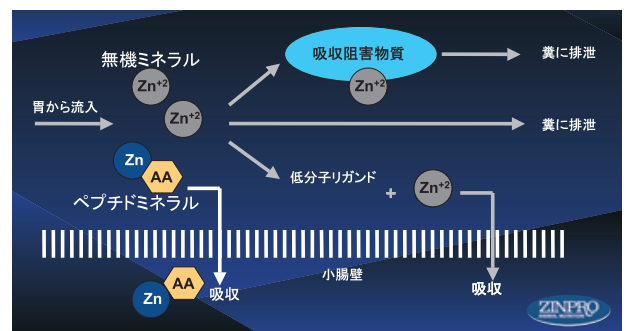


図2 無機ミネラルとペプチドミネラルの吸収機序の違い

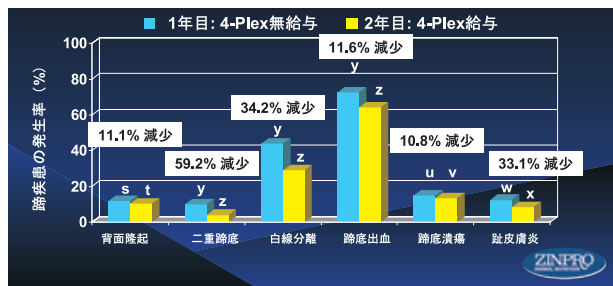
も受けにくいことがわかっています(図2)。そこで、無機ミネラルに加えてペプチドミネラルも併用給与することによって、無機ミネラルの限界を超えて体内に吸収されるミネラルの総量を増やすことができ、各ミネラルが関わる生理機能を高めることにより、農場成績を向上することができるわけです。

日本では、亜鉛・マンガン・銅・鉄のペプチドミネラルが飼料添加物として認められており、これらを含む飼料においては「ペプチド亜鉛」「ペプチドマンガン」「ペプチド銅」「ペプチド鉄」などに表示することが義務付けられています。

本稿では、酪農と肉牛生産の現場におけるペプチドミネラルの活用例について、ジンプロ社の豊富な給与データを交えて紹介します。

3 酪農におけるペプチドミネラル給与のメリット

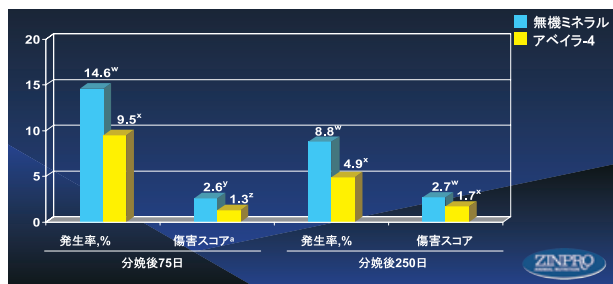
亜鉛・マンガン・銅をペプチドミネラルの形で給



st 異符号間に傾向あり ($P < 0.15$)
 uv 異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)
 wx 異符号間に有意差あり ($P < 0.01$)
 yz カテゴリー内において、異符号間に有意差あり ($P < 0.001$)

Nocek et al., J. Dairy Sci.; 2000, 83: 1553

図3 蹄疾患の発生率に対する4-Plexの影響



a 少なくとも1ゾーンが罹患している乳牛のみを計算した。ゾーンの数に平均的な傷害スコアを掛け合せて算出した。傷害スコアは、1: 無苦痛から3: 重度の苦痛としてスコアリングした
 wx 同一カテゴリ内で異符号間に傾向あり ($P \leq 0.15$)
 yz 異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)
 Ballantine et al., 2002. Professional Anim. Sci. 18: 211-218

図4 白線病の発生率と症状の重さに対するアベイラー4の影響

与することによって、①蹄疾患や跛行（びっこを引くこと）の減少、②乳房炎や体細胞数の減少、③繁殖成績の改善、④乳量の増加、といった現象が観察されます。ジンプロ社の製品では、アベイラー4が該当します。アベイラー4に含まれている亜鉛・マンガン・銅の特徴は、各ミネラルに結合させているのがペプチドの最小単位であるアミノ酸であるため、分子量が小さく安定した化学構造を取ることができ、消化管内での溶解性と安定性に優れているので、ミネラルの吸収利用率が高いことです。米国では、同様の製品でアベイラー4よりも歴史が古い4-Plexも広く使用されており、酪農家の3割が4-Plexを使用しているという調査報告もあります。アベイラー4と4-Plexは、ミネラルに結合しているアミノ酸の種類が異なりますが、ミネラルの利用性は全く同等であることが、数多くの給与試験によって明らかとなっています。

また、利用率の高い亜鉛源として、硫酸亜鉛メチオニン（以下、亜鉛メチオニン）が日本でも酪農家の間で古くから使われており、蹄の改善などに役立っていますが、亜鉛メチオニンを使用していた酪

農家でも、アベイラー4または4-Plexに切り替えてマンガンや銅の利用性も高めることにより、上記①～④の改善効果がやはり認められたことが研究データで示されています。

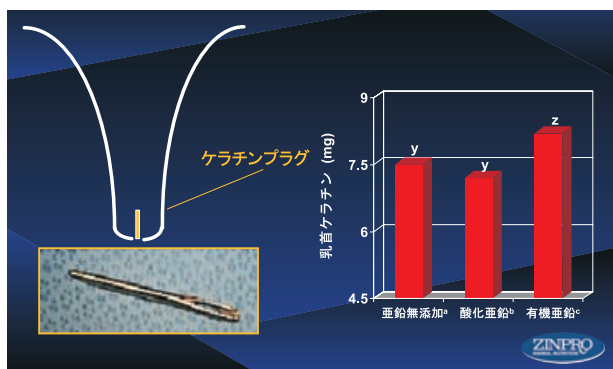
3-① 蹄疾患や跛行の減少

蹄の健康にとって、亜鉛・マンガン・銅はそれぞれ重要な役割を担っています。亜鉛と銅は、蹄の成分であるセラチンを合成する酵素に含まれています。また亜鉛は上皮組織の修復にも関わっており、趾皮膚炎（PDD）などの皮膚疾患に対する抵抗力を強めます。マンガンは軟骨や骨の基質の合成に関わっており、マンガンが不足することにより、蹄と肢全体の弱体化が起こり跛行しやすくなります。銅は血管や結合組織に存在するコラーゲンやエラスチンの分子を構造的に強化する架橋反応を行う酵素に含まれており、銅の不足は血管や結合組織を弱体化させます。蹄葉炎の発症にはアシドーシスなどに起因する血管の破壊が関与していると考えられています。

アベイラー4や4-Plexを乳牛に給与することで、蹄疾患の発生率が減少したことが示されています。ニューヨーク州の5軒の酪農家で実施された研究では、4-Plexを1年間給与することで、無給与あるいは亜鉛メチオニンを給与していた前年よりも、蹄底疾患や趾皮膚炎の発生率が少なかったことが示されました(図3)。フロリダ州の酪農家で実施された研究では、分娩21日前からアベイラー4を給与することで、分娩75日後および250日後における趾間腐爛と白線病の発生率が無機ミネラル給与区よりも減少する傾向がみられました。また、白線病、蹄踵腐爛、蹄底潰瘍を発症していた牛でも、アベイラー4を給与した牛群の方が傷害の程度が軽かったことも示されました(図4)。

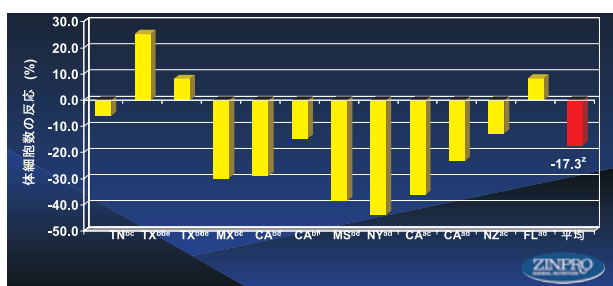
3-② 乳房炎や体細胞数の減少

亜鉛・マンガン・銅の栄養状態が低下すると乳房炎にかかりやすくなりますが、これには複数の理由があります。まず、亜鉛は上皮組織の細胞分裂に関わっており、乳頭や乳腺の構造維持にとって重要です。また亜鉛はセラチンの合成に必須ですが、乳頭管に存在するセラチン層（セラチンプラグ）には侵入してきた細菌を捕捉する役割があり、細菌が乳腺組織へと移動するのを防ぐことで乳房炎の予防に役立っています。ただしホルスタイン種では1回の搾乳作業によってセラチン層の約40%が乳汁とともに



- a 亜鉛の添加なし，亜鉛30ppm
b 酸化亜鉛由来の亜鉛800mgを添加
c 亜鉛メチオニン由来の亜鉛と酸化亜鉛由来の亜鉛それぞれを400mgずつ添加。
yz 異符号間に傾向あり ($P < 0.10$)
Jones and Spain, 1996

図5 乳頭でのケラチン生産に及ぼす亜鉛補給源の影響



- a アベイラ 4
b 4-Plex
c 対照区に比べ試験区では，アベイラ 4 または 4-Plex の給与により，亜鉛360mg/頭/日，マンガン200mg/頭/日，銅125mg/頭/日，コバルト12mgもしくは25mg/頭/日が多く給与された。
d 対照区と試験区の飼料における，亜鉛，マンガン，銅およびコバルトの含量が同等。
e 対照区と試験区の両方に，亜鉛メチオニンを360mg/頭/日給与した。
f 対照区と試験区の飼料における，亜鉛，マンガンおよび銅の含量が同等。4-Plex入りの試験区飼料では，コバルトが13mg/頭/日多かった。
z 処理効果 ($P \leq 0.01$)
Kellogg et al., 2003. Prof. Anim. Sci. 19: 1-9; Uchida et al., 2001. Anim. Feed Sci. Technol. 93 (3-4): 193; Ballantine et al., 2002. Professional Anim. Sci. 18: 211-218

図6 アベイラ 4^aまたは 4-Plex^bの給与による体細胞数の減少 (12回の試験のまとめ)

流出して失われると言われており，搾乳と搾乳の間でケラチンが十分に再生する必要があります。ジンプロ社の亜鉛メチオニンの補給によって，乳頭でのケラチンの合成速度が高まることが報告されています (図5)。

そして，細菌が乳腺に侵入してしまった場合は，免疫システムが動員されることになりますが，亜鉛・マンガン・銅は免疫システムのさまざまな機能に関わっています。亜鉛はあらゆる免疫細胞の増殖に必須です。マンガンはスーパーオキシドラジカル (免疫細胞によって産生される活性酸素の一種) の消去に関わっています。銅は抗体の働きに深く関

与しています。したがって，亜鉛・マンガン・銅の栄養状態が低下すると，免疫機能も低下して感染症にかかりやすくなります。

アベイラ 4 や 4-Plex を給与することで，体細胞数が減少した例が数多く示されています。12回の異なる試験の結果を平均すると，体細胞数は17.3%減少しました (図6)。

これらの試験からもう一つ分かったことは，アベイラ 4 または 4-Plex を分娩後から給与開始するよりも，乾乳期から給与開始した方が，体細胞数の減少効果がより高かった，ということです。体細胞数増加の原因となる乳房内の細菌感染は乾乳期に始まっていることが多いと言われており，乾乳期にもアベイラ 4 を給与して乳房の構造と免疫機能を正常な状態に近づけてやることで，体細胞数のより大きな減少につながったと考えられます。

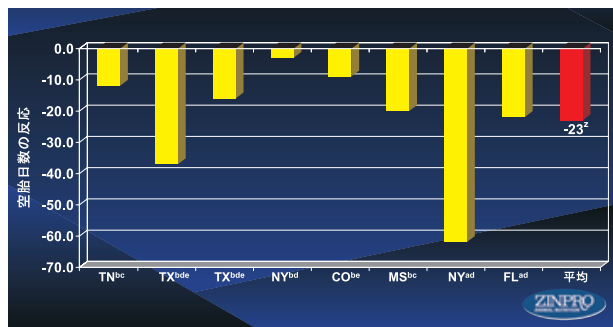
また，乾乳期からアベイラ 4 を給与することにより，ワクチンに対する抗体価の上昇や，初乳中免疫グロブリン濃度の増加も認められています。これらもアベイラ 4 が乾乳期の免疫機能を高めた結果といえます。

3-③ 繁殖成績の改善

蹄と乳房が健康になれば，それに伴って繁殖成績も改善してきますが，生殖機能そのものにも微量ミネラルは重要な役割を担っています。亜鉛と銅は上皮組織・血管・結合組織の修復に関わっており，分娩後の子宮の回復を助けます。さらに，マンガンは性ホルモンの合成や黄体機能に関わっており，分娩後の卵巣機能の回復にとって重要なミネラルです。分娩後の生殖機能の順調な回復を図ることは，受胎率や空胎日数を改善するための一つの方法であると言えます。

8つの研究結果を平均すると，アベイラ 4 や 4-Plex を給与することによって，空胎日数が23日間短縮し (図7)，1妊娠あたりの種付回数が0.3回減少しました。これらの研究の中には，フロリダ州のような高温多湿の環境下で高泌乳牛群の酪農家で行った試験も含まれており，アベイラ 4 の給与は暑熱ストレス環境下においても繁殖成績を改善することが実証されています。

放牧酪農においてもペプチドミネラルの効果は同様に得られることも確認されています。ニュージーランドで実施した試験において，アベイラ 4 を給与することによって，乳房炎の発生率が低下し，繁殖成績も向上しました (図8)。ニュージーランドで



- a アベイラ 4
b 4-Plex
c アベイラ-4 または 4-Plex の給与により、試験区は Zn とし
て 360mg/頭/日、Mn とし 200mg/頭/日、Cu とし 125mg/
頭/日 及びコバルトとして 12mg もしくは 25mg/頭/日を多く
給与
d 飼料中の Zn, Mn, Cu, Co 濃度は対照区と試験区とで同程度
e 対照区、試験区とも、飼料中に Zn とし 360mg/頭/日の亜鉛
メチオニンを添加
z 処理効果 ($P \leq 0.01$)
Kellogg et al., 2003. Prof. Anim. Sci. 19: 1-9;
Uchida et al., 2001. Anim. Feed Sci. Technol. 93
(3-4): 193;
Ballantine et al., 2002. Professional Anim.
Sci. 18: 211-218

図 7 アベイラ-4^aまたは 4-Plex^bの給与による空胎日数
の短縮 (8 回の試験のまとめ)

は放牧乳牛に対してアベイラ-4 の飲水投与も行わ
れています。

3-④ 乳量の増加

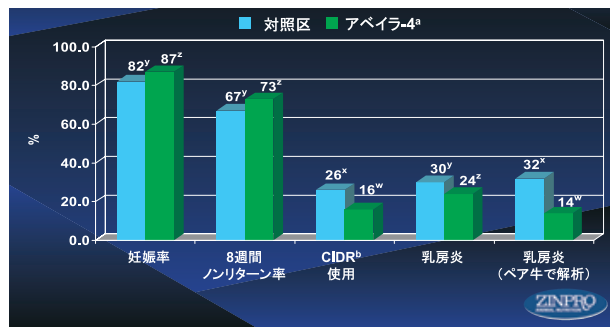
これまでに示したアベイラ-4 や 4-Plex の給
与試験では、乳量の増加も認められています (図
9)。これは、蹄が健康になったために乾物摂取量
が増加したことと、乳房内の細菌感染が減少したこ
とにより乳生産が増大したこと、による結果と考え
られています。

4 肉牛生産におけるペプチドミネラル給 与のメリット

日本では、ペプチドミネラルは乳牛への給与例が
肉牛よりも圧倒的に多いですが、米国内では肉牛向
けと乳牛向けで消費量はほぼ同じです。以下の項で
は、米国の肉牛生産現場においてどのようにペプチ
ドミネラルが活用されているかについて、データと
ともに紹介します。日本は肉牛生産システムが米国
とかなり異なるものの、日本でも一部の生産者の間
では既にペプチドミネラルが導入されています。

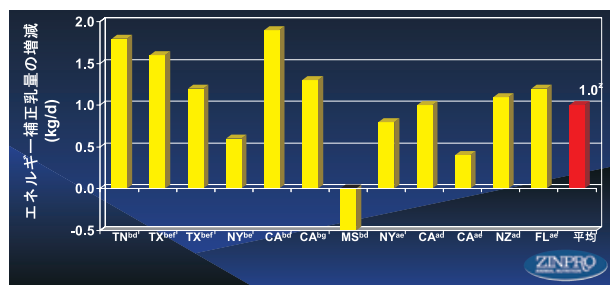
4-① 繁殖成績の向上

米国では、子牛は放牧を中心とした繁殖農場で生
産され、およそ 6 カ月齢で離乳させて育成に回しま
す。放牧地において、母牛にミネラルサプリメント



- a アベイラ-4 は分娩前45日から分娩後230日まで給与された。
b Controlled internal drug releasing (発情サイクルの無い牛
に投与するプロゲステロン製剤膣内インプラント)
wx 異符号間に有意差あり ($P < 0.01$)
yz 異符号間に傾向あり ($P < 0.15$)

図 8 放牧酪農においてアベイラ-4^aが繁殖成績と乳房炎に
及ぼす影響 (ニュージーランド)



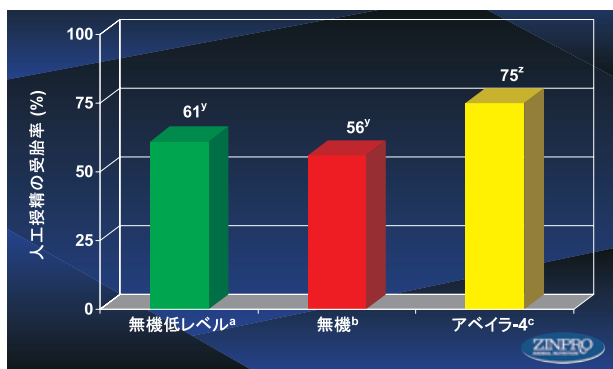
- a アベイラ 4
b 4-Plex
c エネルギー補正乳量, 3.5%乳脂肪及び3.2%乳タンパク質
d アベイラ-4 または 4-Plex の給与により、試験区は飼料中に
Zn とし 360mg/頭/日、Mn とし 200mg/頭/日、Cu とし
125mg/頭/日 及びコバルトとして 12mg もしくは 25mg/頭/
日を上乗せ給与
e 飼料中の Zn, Mn, Cu, Co 濃度は対照区と試験区とで同程度
f 対照区、試験区とも、飼料中に Zn とし 360mg/頭/日の亜鉛
メチオニンを添加
g Zn, Mn 及び Cu の濃度は試験区と対照区と同濃度であったが、
試験区ではコバルトとして 13mg/頭/日を多く給与
z 処理効果 ($P \leq 0.0001$)
Kellogg et al., 2003. Prof. Anim. Sci. 19: 1-9;
Uchida et al., 2001. Anim. Feed Sci. Technol.
93 (3-4): 193;
Ballantine et al., 2002. Professional Anim. Sci.
18: 211-218

図 9 アベイラ-4^aまたは 4-Plex^bの給与による乳量の増
加 (12 回の結果のまとめ)

が給与されることが多く、そこにアベイラ-4 や 4
-Plex が使用される例があります。

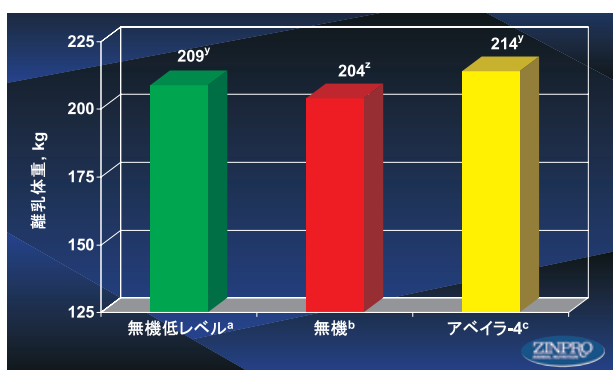
アンガス種の繁殖雌牛 300 頭を用いた試験におい
て、分娩 30 日前から離乳 (約 200 日齢) までアベイ
ラ-4 を給与したところ、無機ミネラルを給与した場
合に比べ、人工授精による受胎率が高く (図 10)、子
牛の離乳体重も大きかったことが報告されました
(図 11)。

E T のための受精卵の採卵成績を、ペプチドミネ
ラルが向上させたことも報告されています。60 頭の
未経産牛を用いた試験で、ジンプロ社のペプチド亜
鉛とペプチド銅の組合せを給与することにより、無
機の亜鉛と銅を給与した場合と比較して採卵個数が



- a 無機低レベル区:亜鉛2160ppm, マンガン1225ppm, 銅501ppm及びコバルト11ppmを含むサプリメントを給与
b 無機区:亜鉛3113ppm, マンガン1764ppm, 銅1086ppm及びコバルト11ppmを含むサプリメントを給与
c アペイラ4区:アペイラ亜鉛, アペイラマンガン, アペイラ銅, コバルトグルコヘプトネイト (無機区と同量のミネラル含量)
yz 異なる符号間に有意差あり ($P < 0.05$)
Stanton et al

図10 アンガス種雌牛へのアペイラ-4 給与が人工授精の受胎率に及ぼす影響



- a 無機低レベル区:亜鉛2160ppm, マンガン1225ppm, 銅501ppm及びコバルト11ppmを含むサプリメントを給与
b 無機区:亜鉛3113ppm, マンガン1764ppm, 銅1086ppm及びコバルト11ppmを含むサプリメントを給与
c アペイラ4区:アペイラ亜鉛, アペイラマンガン, アペイラ銅, コバルトグルコヘプトネイト (無機区と同量のミネラル含量)
yz 異なる符号間に有意差あり ($P < 0.05$)
Stanton et al

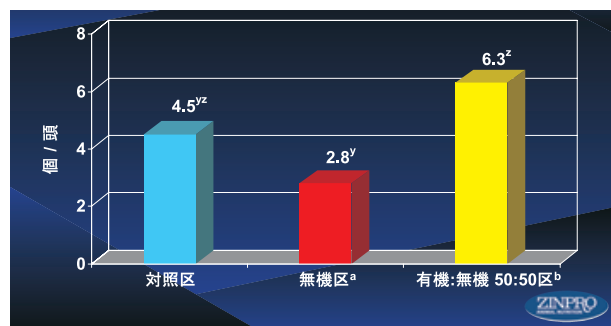
図11 アンガス種雌牛へのアペイラ-4 の給与が子牛の離乳体重に及ぼす影響

増加しました(図12)。このとき、胚の質は試験区間で差がありませんでした。

米国でも、アペイラ-4 や4-Plexを肉用種繁殖牛に使用する例は、後述の②③に比べれば普及率は低いですが、日本の和牛繁殖農家でもアペイラ-4 が給与されている例は少なからずあります。

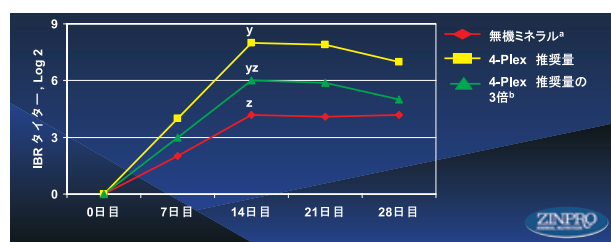
4-② ストレスによる悪影響の緩和

米国では子牛生産農場からフィードロットに集められた時点で、子牛の体重は200~300kgとなっています。フィードロットに導入した直後は、長距離輸送と飼育環境が変化したストレスが原因で、免疫機能が低下して疾病にかかりやすくなったり、飼料効



- a 硫酸亜鉛で1日1頭当り亜鉛500mg, 硫酸銅で銅250mgを給与
b アペイラ・亜鉛およびアペイラ・銅を、それぞれ硫酸亜鉛および硫酸銅と50%ずつ混合し、総量で1日1頭当り亜鉛500mg, 銅250mgを給与
yz 異なる符号間に傾向あり ($P < 0.10$)
Ansotegui et al., 1999. Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci. 50: 189.

図12 アペイラ亜鉛およびアペイラ銅が肉用種未経産牛の受精卵採卵成績に及ぼす影響



- a 酸化亜鉛, 酸化マンガン, 硫酸銅, 炭酸コバルト
b 推奨量の3倍量の4-Plexを最初の14日間給与し、その後は推奨量を給与
yz 異なる符号間に有意差あり ($P < 0.01$)
Stanton and Nockels, 1994

図13 フィードロット導入直後の肉牛への4-Plex給与がIBRV生ワクチンに対する抗体価に及ぼす影響

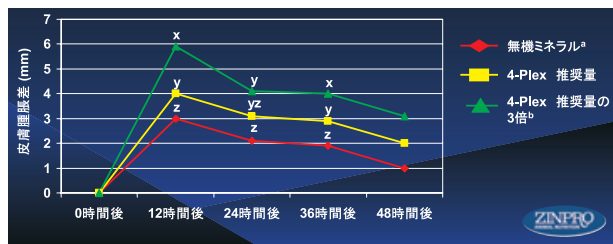
率や増体が低下します。フィードロット経営の収益を左右する大きな要因として、飼料効率と呼吸器疾患のコントロールが重要視されており、そこで導入直後の4週間または6週間に、アペイラ-4 か4-Plexを給与することにより、免疫機能を回復させ飼料効率と増体の向上を図ることが行われています。

データとして、4-Plexをフィードロット導入直後の子牛に給与することにより、無機ミネラル給与区と比較してワクチンに対する抗体価の上昇や細胞性免疫の向上が認められています(図13, 図14)。また、IBRV (伝染性ウシ鼻気管炎ウイルス)に強制感染させた子牛に見られる発熱と飼料摂取量の低下に対して、ジンプロ社の亜鉛メチオニンはそれを緩和したことも報告されています(図15, 図16)。

日本では、肥育農家が子牛の導入直後にストレス対策でペプチドミネラルを給与することはまだほとんど行われていません。

4-③ 飼料効率と増体の向上

フィードロットでは導入期・育成期を経て、体重



a 酸化亜鉛, 酸化マンガン, 硫酸銅, 炭酸コバルト
b 推奨量の3倍量の4-Plexを最初の14日間給与し, その後は推奨量を給与

xyz 同一時間内において異符号間に有意差あり ($P < 0.01$)

Stanton and Nockels, 1994

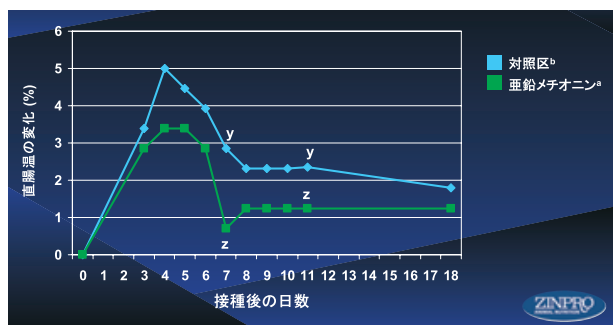
図14 フィードロット導入直後の肉牛への4-Plex給与が細胞性免疫に及ぼす影響 (21日目)



a ZINPRO® 亜鉛メチオニンを添加 飼料中亜鉛90mg/kg
b 亜鉛無添加 飼料中亜鉛31mg/kg
yz 同一日において異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

Chirase et al., 1991. J. Anim Sci. 69: 4137-4145

図15 去勢牛へのIBRV強制感染による乾物摂取量の減少に及ぼす亜鉛メチオニン給与の影響



a ZINPRO® 亜鉛メチオニンを添加 飼料中亜鉛90mg/kg
b 亜鉛無添加 飼料中亜鉛31mg/kg
yz 同一日において異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

Chirase et al., 1991

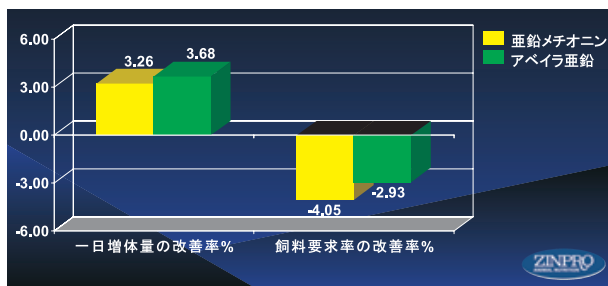
図16 去勢牛へのIBRV強制感染による直腸温上昇に及ぼす亜鉛メチオニン給与の影響

300~400kgから平均120日間の仕上げ期となります。日本の肥育と比較して非常に短いものですが、ここでペプチド亜鉛が使用されています。ジンプロ社の調べでは、全米のフィードロットの48%がジンプロ社のペプチドミネラルを使用していますが、その大半は仕上げ期にペプチド亜鉛（アベイラ亜鉛）または亜鉛メチオニンを給与することで占められています。その目的は、飼料効率と増体の向上を図ること

評価項目	対照区	亜鉛メチオニン ^a	差%	有意差
開始時体重 (kg)	338	338		
給与日数	121	121		
乾物摂取量 (kg/d)	9.47	9.46	-0.10	NS
一日平均増体量 (kg)	1.39	1.44	3.26	$P < 0.01$
飼料要求率	6.91	6.63	-4.05	$P < 0.01$
肉質 (チョイス級の%)	55	60	8	$P = 0.0654$

a ZINPRO® 亜鉛メチオニン

図17 フィードロットにおける亜鉛メチオニンの給与試験の結果 (22ヶ所の平均)



a 対照区 (酸化亜鉛を用いて最低でもNRCの119%を添加) に対して亜鉛メチオニンを外添加
b 対照区には亜鉛として同量の硫酸亜鉛を添加

図18 亜鉛メチオニンの22回の給与試験とアベイラ亜鉛の3回の給与試験の結果の比較

が第一ですが、地域によっては蹄病対策も使用目的の一つとなっています。

ジンプロ社は1984年から1991年にかけて、22回の亜鉛メチオニンの給与試験を全米のさまざまな地域のフィードロットにおいて実施しました。その結果をまとめると、図17のように飼料効率が約4%, 増体が約3%向上しました。飼料摂取量には影響を及ぼさず、肉質は良くなる傾向にありました。同様の結果はアベイラ亜鉛でも認められています (図18)。

日本でも、黒毛和種肥育牛に亜鉛メチオニンを給与する試験が複数実施され、2004年に学会で発表されています。それによれば、供試頭数が少なかったため統計的な有意差は得られませんでした。肥育中期から後期までの継続給与により、増体はいずれの試験においても大幅に向上し、肉質には変化が認められませんでした。また、米国のデータと異なり、飼料摂取量の増加も認められました。

日本の肥育農場では、低ビタミンA状態に起因するとみられる食い止まり症状を亜鉛メチオニンが改善することが知られており、10日間程度給与されている例はありますが、亜鉛メチオニンやペプチド亜鉛を肥育期間を通じて継続給与することはまだほとんど行われていません。