

乳牛の分娩前後栄養管理技術の確立

(3)イオンバランス調整剤添加飼料給与が骨代謝に及ぼす影響

島袋宏俊 玉城政信 後藤英子

I 要 約

乳熱を防止するために、イオンバランス (DCAD) 調整剤の陰イオン塩として硫酸カルシウム (硫酸Ca) および硫酸マグネシウム (硫酸Mg) を用い、DCAD調整剤添加飼料給与が骨代謝に及ぼす影響について検討した。骨代謝マーカーは、骨形成マーカーとして血清オステオカルシン (血清OC) 濃度を用い、骨吸収マーカーとして血清1型コラーゲンカルボキシターミナルペプチド (血清1CTP) 濃度を用いた。

飼料中のDCAD値は陰イオン添加前で207mEq/kgDMに、添加後で-97.2mEq/kgDMに設定した。試験は、ホルスタイン種非妊娠牛4頭に7日間陰イオン塩添加飼料を給与し、乾物摂取量、尿pH、血清カルシウム (血清Ca) 濃度、血清無機リン (血清IP) 濃度、血清マグネシウム (血清Mg) 濃度、血清OC濃度および血清1CTP濃度を調査した結果、以下のとおりであった。

1. 乾物摂取量は添加後3日目まで減少したが、有意な差は認められなかった。添加後4日目以降の乾物摂取量は添加前と同じ水準に回復した。
2. 尿pHの平均は添加前7.8±0.6で、添加日数が増すにつれ有意に低下し、添加後7日目には5.5±0.3に達した。
3. 血清Ca濃度平均値は9.0~9.7mg/dlの範囲にあり、有意な差は認められなかったが、添加後1日目を除き、添加日数が増すにつれ低下する傾向が認められた。
4. 血清IP濃度の平均値は添加前が5.8±0.8で、1日目以降有意に低下し、添加後3日目で3.4±0.8 mg/dlと添加前より1%水準で有意に低下した。また、添加後の血清IP濃度は正常範囲の4.5~6.8mg/dlを下回った。
5. 血清Mg濃度は添加前と添加後に有意な差は認められなかった。
6. 血清OC濃度は添加後2日目から添加日数が増すにつれ有意に低下し、添加後7日目の平均値は11.0±3.0ng/mlに達した。
7. 血清1CTP濃度は添加後日数が増すにつれ上昇する傾向が認められた。

以上のことから、硫酸Caおよび硫酸MgのDCAD調整剤添加飼料給与は乳牛の飼料摂取を低下させることなく、尿pHを低下させた。また、骨形成を抑制し、骨吸収を活性化させるため、骨代謝を活発化させることが明らかになり、乳熱を防止する可能性が示唆された。

II 緒 言

乳熱は、乳牛の分娩前後、特に分娩後数日以内に重度な低カルシウム血症に陥り、起立不能症を呈する代謝性疾患である²⁾。乳熱が発症したとき、あるいは低リン血症および低マグネシウム血症との併発により乳房炎、第四胃変位、胎盤停滞、子宮内膜炎、子宮脱およびケトージス等のいわゆる周産期病に罹りやすくなる³⁾。乳牛が周産期病に罹ると、乳生産に大きな影響を与え損失を招くため、乳熱を防止することは収益性を向上させるために重要な課題であると思われる。

乳牛において、乾乳末期にイオンバランス調整剤として陰イオン塩を利用することは乳熱を防止するのに有効である^{4, 5)}が、陰イオン塩の種類によっては必ずしも嗜好性がよくないことから、採食量が低下する⁶⁾。筆者ら⁷⁾は、DCAD調整剤の陰イオン塩として硫化物は塩化物に比べ嗜好性がよく、特に硫酸Caの嗜好性がよいことを明らかにした。

いっぽう、骨組織は大量の無機物、カルシウム、リンおよびマグネシウムの貯蔵・供給の場となっている⁸⁾。乳熱は分娩前後に乳生産が開始される際に、急激なカルシウムの流出の増加によって、カルシウムの恒常性不均衡により発症する⁹⁾。低カルシウム血症時にはカルシウムは骨から動員されてカルシウムの恒常性を保持しようとしている¹⁰⁾。その骨に関する研究において、Liesegangら^{10, 11)}は乳牛の分

娩前後の骨代謝を証明するため、骨代謝マーカーとして血清OC濃度ならびに血清ICTP濃度を測定しているが、DCAD調整剤と骨代謝に関して骨代謝マーカーを用いた検討はほとんどなされていない。

そこで、乳熱を防止することを目的として、硫酸Caおよび硫酸MgのDCAD調整剤添加飼料給与が骨代謝に及ぼす影響について骨代謝マーカーを用いて検討した。

Ⅲ 材料および方法

1. 試験期間および試験場所

試験は2002年10月27日から同年11月5日までの10日間、沖縄県畜産試験場で実施した。

2. 供試牛

供試牛は当場で飼養しているホルスタイン種の非妊娠牛4頭を用いた。供試牛の平均年齢は 6.0 ± 1.2 歳で、平均産次数は 3.5 ± 1.1 産で、平均体重は 863 ± 30 kgであった。

3. 供試DCAD調整剤

DCAD調整剤として陰イオン塩には硫酸Ca二水和物および硫酸Mg六水和物を用いた。

4. 試験区分

試験は陰イオン塩添加前の最初3日間を添加前とし、添加後1日目、2日目、3日目、4日目および7日目に区分し、6区分のデータをTukey-Kramer法¹⁾により統計処理を行なった。

5. 供試飼料および飼料給与方法

供試飼料はTMRミキサー (DM-800M, コンブリートサービス社製) で加水せずに調製し、TMRの乾物率は89.0%であった。そのTMRの配合割合および飼料一般成分は表1および表2に示した。飼料中のDCAD値はBlockの式³⁾により求め、陰イオン塩添加前のDCAD値は207mEq/kgDMとし、添加後は-97.2mEq/kgDMとした。

$$\text{DCAD (mEq/kgDM)} = \{(\text{Na}\% \text{DM} \times 435) + (\text{K}\% \text{DM} \times 256)\} - \{(\text{Cl}\% \text{DM} \times 282) + (\text{S}\% \text{DM} \times 624)\}$$

飼料給与量は日本飼養標準¹²⁾の維持に要するTDN要求量の200%を目安とし、飼料給与は等量の2回給餌とし、TMR投入時間は午前10時および午後1時とした。

飼料名	配合割合
オーツ乾草	86.6
アルファルファ乾草	7.2
配合飼料	2.2
ビタミン剤	1.4
硫酸Ca	2.2
硫酸Mg	0.4

成分	含量
TDN	60.8
CP	8.9
NDF	59.3
ADF	33.8

試験区分	Ca	P	Mg	K	Na	Cl	S	DCAD mEq/kgDM
	%DM							
陰イオン塩添加前	0.31	0.16	0.17	1.27	0.51	1.03	0.08	206.6
陰イオン塩添加後	0.83	0.15	0.20	1.23	0.49	1.00	0.55	-97.2

注) $\text{DCAD (mEq/kgDM)} = \{(\text{Na}\% \text{DM} \times 435) + (\text{K}\% \text{DM} \times 256)\} - \{(\text{Cl}\% \text{DM} \times 282) + (\text{S}\% \text{DM} \times 624)\}$ 。

6. 調査項目

1) 飼料摂取量

飼料給与翌日の午前9時より残飼を測定し、給与量と残飼量との差を飼料摂取量とした。

2) 尿pH

尿は午前9時より放尿時に採取するかあるいは尿道カテーテル (FI47, FHK) を用いて採取した。尿pHは採尿後直ちにpHメーター (pH HI8114, Hanna) を用いて測定した。

3) 血液性状

血液は頸静脈より真空採血管 (VP-AS109, ペノジェクトII) に採血し、血清は採血後室温にて凝固を確認した後、3000rpm、15分間遠心分離機 (KN-70, KUBOTA) により血清分離し、検査を実施するまで -20°C で凍結保存した。血液性状は血清Ca濃度、血清Mg濃度、血清IP濃度、血清OC濃度および血清1CTP濃度の5項目を検査した。

IV 結 果

1. 乾物摂取量およびTDN充足率

乾物摂取量は図1に示すとおり陰イオン塩添加前の平均値が $14.4 \pm 1.8 \text{ kgDM/day}$ で、添加後3日目まで減少したが有意な差は認められず、添加後4日目以降の乾物摂取量は添加前と同じ水準に回復した。

また、TDN充足率は図1に示すとおり最も乾物摂取量が少ない添加後1日目の平均値は $148.9 \pm 12.9\%$ で、エネルギーが充足された。

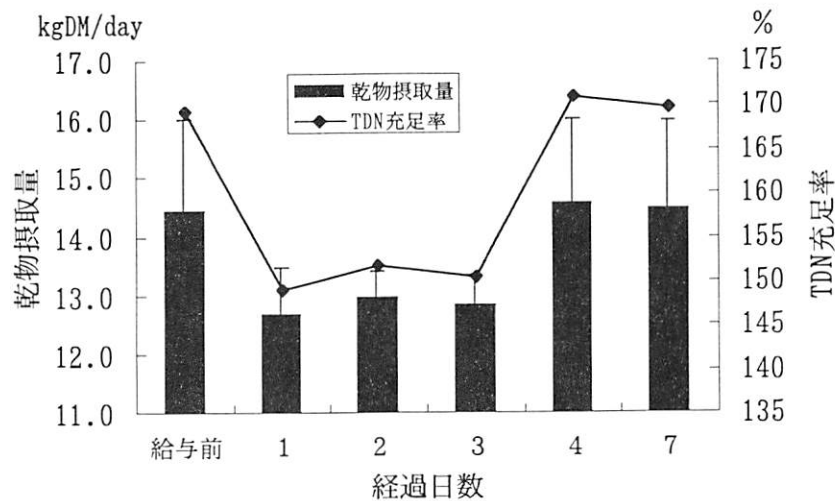


図1 陰イオン塩添加飼料が乾物摂取量及びTDN充足率に及ぼす影響

2. 尿pH

尿pHは図2に示すとおり陰イオン塩添加飼料給与前の平均値は 7.8 ± 0.6 で、添加日数が増すにつれ有意に低下し、添加後7日目の平均値は 5.5 ± 0.3 に達した。

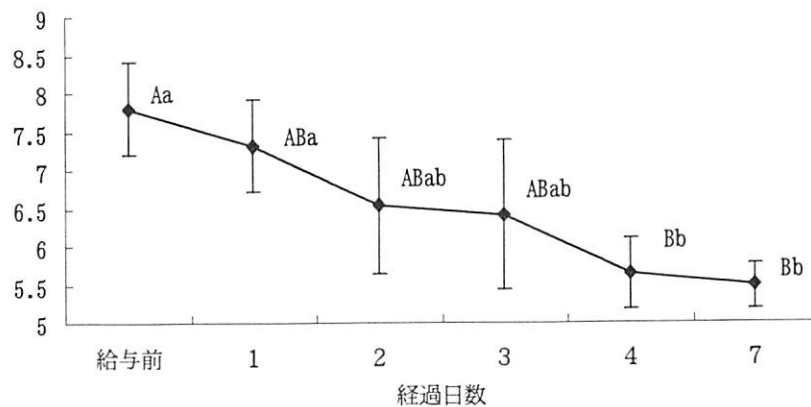


図2 陰イオン塩添加飼料が尿pHに及ぼす影響

注) 異なる大文字間に1%水準, 小文字間に5%水準で有意差あり。

3. 血液性状

1) 血清Ca濃度

血清Ca濃度は図3に示すとおり添加前で大きなバラツキがみられた。血清Ca濃度の平均値は9.0~9.7 mg/dlの範囲にあり、有意な差は認められなかったが、添加後1日目を除き、添加日数が増すにつれ低下する傾向が認められた。

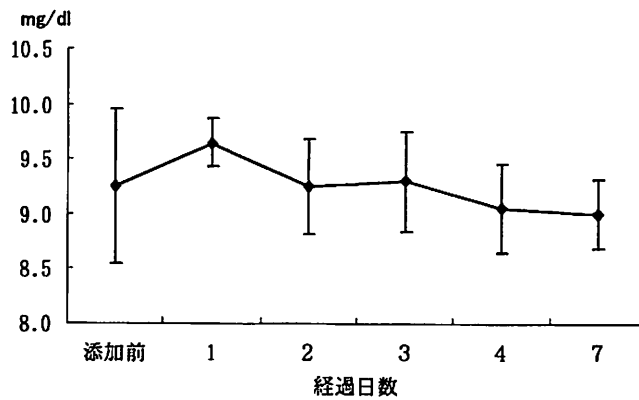


図3 陰イオン塩添加飼料が血清Ca濃度に及ぼす影響

2) 血清IP濃度

血清IP濃度は図4に示すとおり添加前の平均値が 5.8 ± 0.8 で、1日目以降有意に低下し、添加後3日目の平均値は 3.4 ± 0.8 mg/dlと添加前より1%水準で有意に低下した。

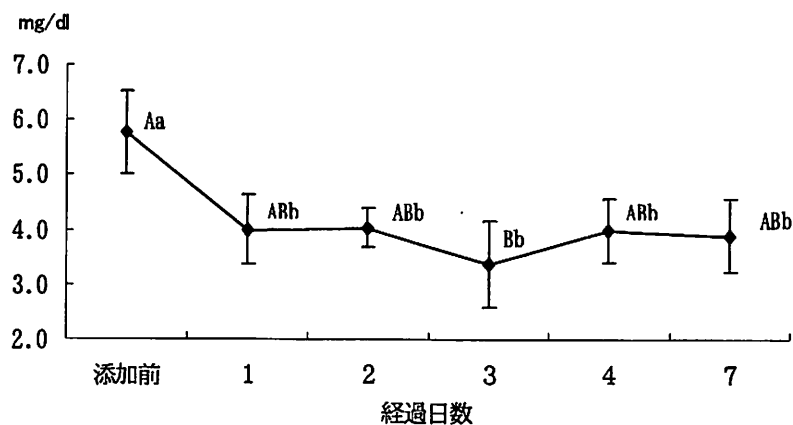


図4 陰イオン塩添加飼料が血清IP濃度に及ぼす影響

注) 異なる大文字間に1%水準，小文字間に5%水準で有意差あり。

3) 血清Mg濃度

血清Mg濃度は図5に示すとおり添加後2日目までの平均値は2.0 mg/dlと低下し、添加後3日目以降の平均値は2.3 mg/dlと上昇したが、有意な差は認められなかった。

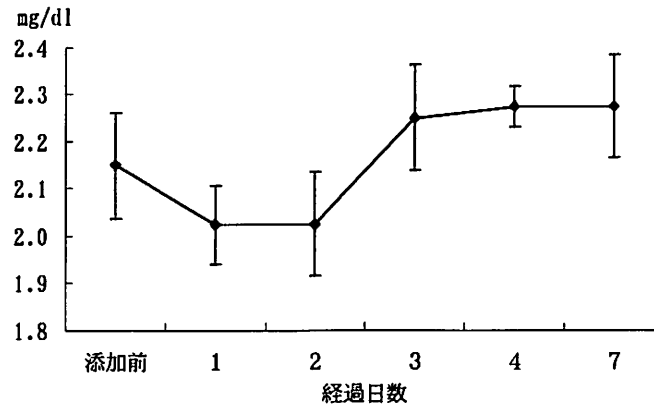


図5 陰イオン塩添加飼料が血清Mg濃度に及ぼす影響

4) 血清OC濃度

血清OC濃度は図6に示すとおり、添加前の血清OC濃度の平均値は 19.1 ± 2.8 ng/mlであったが、添加後2日目から添加日数が増すにつれ有意に低下が認められ、添加後7日目の平均値は 11.0 ± 3.0 ng/mlに達した。

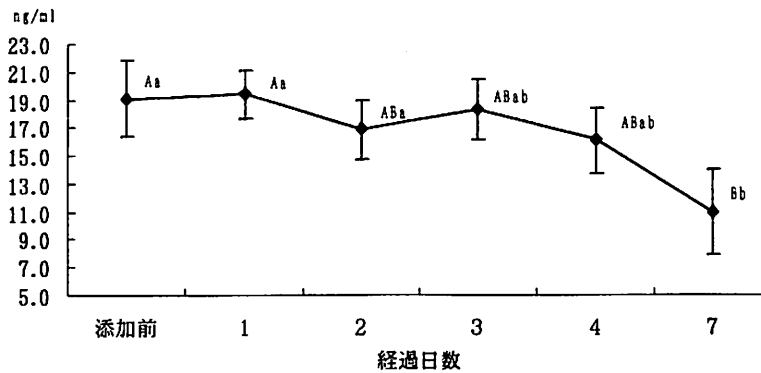


図6 陰イオン塩添加飼料が血清OC濃度に及ぼす影響

注) 異なる大文字間に1%水準，小文字間に5%水準で有意差あり。

5) 血清1CTP濃度

血清1CTP濃度は図7に示すとおり、有意な差は認められなかったが、添加前の平均値は 1.5 ± 0.3 ng/mlで日数が増すにつれ上昇する傾向が認められ、添加後7日目の平均値は 1.8 ± 0.4 ng/mlであった。

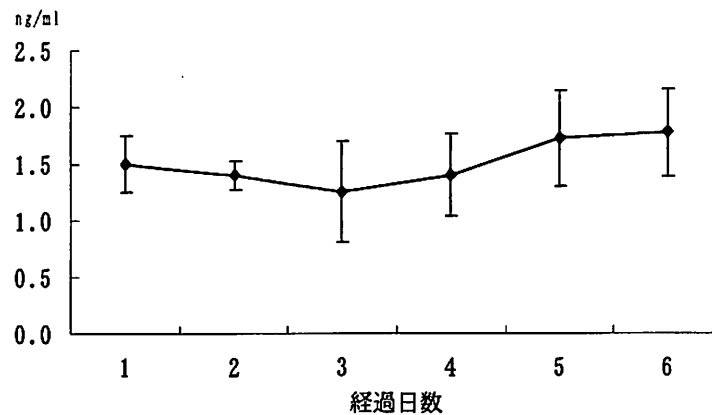


図7 陰イオン塩添加飼料が骨代謝に及ぼす影響

V 考 察

DCAD調整剤の陰イオン塩として硫酸Caおよび硫酸Mgを使用し、飼料中に添加し給与した結果、乾物摂取量は添加後3日目まで減少したが有意な差は認められず、添加後4日目以降の乾物摂取量は添加前と同じ水準に回復した。このことは硫酸Caおよび硫酸Mgの陰イオン塩に馴致するまでの数日間が必要であるが、馴致後の陰イオン塩添加による採食への悪影響はなく、今回使用した硫酸Caおよび硫酸Mgの組み合わせおよび添加量において乾物摂取量を低下させないことが明らかになり、筆者ら⁴⁾の嗜好性試験の結果に一致した。また、最も採食量の低かった添加後1日目のTDN充足率の平均値は148.9%で、十分にエネルギーを充足しており、乾乳末期の胎子発育に要する養分量を考慮しても十分にエネルギー充足されるものと推察された。

尿pHは添加日数が増すにつれ有意に低下し、添加後7日目の平均値は 5.5 ± 0.3 に達した。このことは、飼料中に硫酸Caを2.2%DM、硫酸Mgを0.4%DM配合し、硫化物を飼料中に2.6%DM添加すると、乳牛の体液を十分に酸性化することが可能であることを示唆している。

また、乳牛生体内のミネラルバランスをみた場合、内分泌的に精密に調整されており通常ほとんど変化しないものや飼料中のマグネシウム摂取状況を直接的に反映して変化するものがある¹³⁾。乾乳牛の血清Ca濃度の正常値は9.5~12.2mg/dlの範囲内にあり¹⁴⁾、内分泌的に精密に調整されており通常ほとんど変化しないため¹³⁾、今回の試験でもカルシウムを含有する硫酸Caを添加した飼料を給与しても、有意な差は認められなかったが、個体ごとには正常値を下回っているものもあり、日数が経過するにつれ減少する傾向が認められた。このことは、陰イオン塩添加飼料を給与する際はさらにカルシウムを補給する必要があると思われた。

乾乳牛の血清IP濃度の正常値は4.5~6.8mg/dlの範囲内にあり¹⁴⁾、飼料中のリン摂取状況を反映して変化するといわれている¹³⁾。今回、陰イオン添加前と添加後の飼料中リン含量は同じであったため、添加前後の血清IP濃度は同等であると思われたが、血清IP濃度は有意に低下し、正常範囲を下回った。このことは、DCAD調整剤添加飼料給与が血清IP濃度に影響を及ぼしたものと考えられ、陰イオン塩添加飼料を給与する際はリンもカルシウムと同様補給する必要があると思われた。

血清Mg濃度は飼料中のマグネシウム摂取状況を直接的に反映して変化するといわれており¹³⁾、有意な差は認められないが、添加後3日目より上昇したのは硫酸Mg添加飼料給与の影響と思われた。

いっぽう、カルシウム、リン、マグネシウムおよび大量の無機物の貯蔵・供給の場となっているところは骨組織である⁸⁾。乳牛の骨代謝を説明するマーカーとして、Liesegangら¹⁰⁾は、様々な骨吸収マーカーの中で低Ca血症時に用いるマーカーとしてデオキシピリジノリンおよび1CTPを用いることがよいと報告し、さらに骨形成マーカーとして血清OC濃度を用いて血清1CTP濃度と血清OC濃度の割合の上昇により分娩前後の骨代謝の活性化を証明した¹¹⁾。

今回はDCAD調整剤と骨代謝に関して骨形成マーカーとして血清OC濃度を用い、骨吸収マーカーとして血清1CTPを用いた。それら骨代謝マーカーを用いて考察すると、血清OC濃度は添加後2日目から添加日数が増すにつれ有意に低下が認められ、添加後7日目の平均値は 11.0 ± 3.0 ng/mlに達した。血清1CTP濃度は有意な差は認められなかったが、日数が増すにつれ上昇する傾向が認められた。血清1CTP濃度と血清OC濃度の割合は図8に示すとおり添加後4日目以降上昇し、添加後7日目に1%水準で有意な差が認められた。このことはDCAD調整剤が骨代謝に影響を及ぼすし、骨形成を抑制し、骨吸収を活性化させるため、骨代謝を活発化させていることを示唆している。

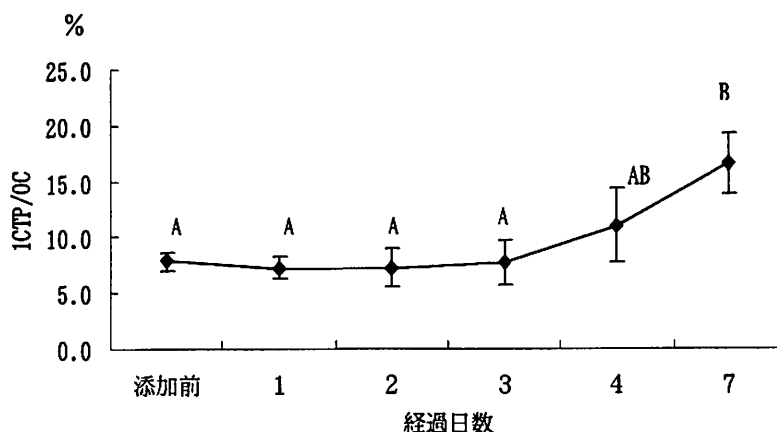


図8 陰イオン塩添加飼料が骨代謝に及ぼす影響
注) 異なる文字間に大文字で1%水準の有意差あり。

以上のことから、硫酸Caおよび硫酸MgのDCAD調整剤添加飼料給与は乳牛の飼料摂取を低下させることなく、尿pHを低下させた。また、骨形成を抑制し、骨吸収を活性化させるため、骨代謝を活発化させることが明らかになり、乳熱を防止する可能性が示唆された。

また、今回用いた陰イオン塩による乳牛体内のミネラルバランスへの影響は、血清Mg濃度は維持されたが、血清Ca濃度および血清IP濃度は低下した。このことより、今回のような飼料設計において硫酸Caおよび硫酸Mgの陰イオン塩を用いる際はリン酸カルシウム等の製剤を補給する必要性が示唆された。

VI 引用文献

- 1)長田理, 2001, StatView多変量解析入門, 41-47, オーエムエス出版
- 2)農林水産省農林水産技術会議事務局編, 1999, 日本飼養標準 乳用牛(1999年版), 中央畜産会, 91
- 3)Clark J.H., 2001, Unique aspects of dairy cattle nutrition, Norman G., National Research Council, *Nutrient requirements of dairy cattle*, 184-213
- 4)Horst R.L., Goff J.P. and Reinhardt T.A., 1994, Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow, *J.Dairy Science*, 77, 1936-1951
- 5)Block E., 1984, Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever, *J.Dairy Science*, 67, 2939-2948
- 6)島袋宏俊・玉城政信・知念雅昭, 2000, 乳牛の分娩前後栄養管理技術の確立(1)乾乳末期におけるグルタミン酸発酵副産物のイオンバランス調整剤給与が乳牛に及ぼす影響, 沖縄畜試研報, 38, 10-17
- 7)島袋宏俊・玉城政信・知念雅昭, 2001, 乳牛の分娩前後栄養管理技術の確立(2)各種イオンバランス調整剤の嗜好性, 沖縄畜試研報, 39, 5-10
- 8)農林水産省農林水産技術会議事務局編, 1999, 日本飼養標準 乳用牛(1999年版), 中央畜産会, 90
- 9)Takagi H. and Block E., 1991, Effects of various dietary cation anion balance on response to experimentally induced hypocalcemia in sheep, *J.Dairy Science*, 74, 4215-4224
- 10)Liesegang A., Sassi M.-L., Risteli J., Eicher R., Wanner M. and Rind J.-L., 1998, Comparison of bone resorption markers during hypocalcemia in dairy cows, *J.Dairy Science*, 81, 2614-2622
- 11)Liesegang A., Eicher R., Sassi M.-L., Risteli J., Kraenzlin M., Rind J.-L. and Wanner M., 2000, Biochemical markers of bone formation and resorption around parturition and during lactation in dairy cows with high and low standard milk yields, *J.Dairy Science*, 83, 1773-1781
- 12)農林水産省農林水産技術会議事務局編, 1999, 日本飼養標準 乳用牛(1999年版), 中央畜産会, 23-29

-
- 13)木田克弥, 2000, 代謝プロファイルテストの実際, 内藤善久・浜名克己・元井葎子編, 文永堂出版, 生産獣医療における牛の生産病の実際, 28-29
- 14)元井葎子, 2000, エネルギー・タンパク質代謝障害, 内藤善久・浜名克己・元井葎子編, 文永堂出版, 生産獣医療における牛の生産病の実際, 63
-

研究補助：又吉康成