乳用雄子牛と雌子牛の発育段階における血清のビタミン A, ビタミン E, セレニウム, 脂質分画および血液グルタチオンペルオキシダーゼ活性の変化

井上理人 一条 茂 納 敏 更科孝夫

帯広畜産大学畜産学部 (帯広市稲田町, 〒080)

(平成 2 年 9 月 21 日受付・平成 3 年 3 月 22 日受理)

Changes of Serum Vitamin A, Vitamin E, Selenium, Lipid Compositions and Blood Glutathioneperoxidase Activity during the Growth Stage of Holstein Bull Calves and Heifer Calves

MICHITO INOUE, SHIGERU ICHIJO, SATOSHI OSAME and TAKAO SARASHINA

(Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido 080)

SUMMARY

Ninety bull calves for fattening and thirty heifer calves of the Holstein breed were classified into five growth stages (stage I: 7 days old; stage II: 1 month old; stage III: 3 months old; stage IV: 6 months old; stage V: 12 months old; stage VI: 17 to 18 months old) and blood chemical components including serum lipid fractions, vitamin A, vitamin E (tocopherol), selenium and blood glutathioneperoxidase activity were examined during each of these growth stages.

During the fattening stage (stage V to VI) of bull calves, serum lipid fractions including total lipid, phospholipid, total cholesterol, ester cholesterol and lipid peroxide, and serum tocopherol levels increased significantly compared with the levels of heifer calves in the same growth stages, but the levels of serum retinol and erythrocyte tocopherol decreased to the contrary. There were many correlations between the level of serum tocopherol and the serum lipid compositions including phospholipid, total cholesterol and total lipid. The increase in the serum lipid levels during the fattening stage of bull calves seemed to reflect the development of the fatty tissue. Also, the decrease in erythrocyte tocopherol which is an indication of bioavailable tocopherol might be caused by the increase in the shift to fatty tissue of tocopherol.

The serum selenium level and blood glutathioneperoxidase activity decreased markedly from stage V to VI for the heifer calves, and it was suggested that the decrease in both blood components was due to the low selenium diet. —**Key Words**: calf, selenium, vitamin A, vitamin E, lipid fraction.

.....J. Jpn. Vet. Med. Assoc., 44, 887~892 (1991)

要 約

肥育用乳用雄子牛と乳用雌子牛を発育段階で 5 期 (Ⅰ期: 7 日齢, Ⅱ期: 1 カ月齢, Ⅲ期: 3 カ月齢, Ⅳ期: 6 カ月齢, Ⅴ期: 12 カ月齢, Ⅵ期: 17~18 カ月齢) に分け, 各発育段階での血清のビタミン A, ビタミン E, セレニウム, 各脂質成分値および血液グルタチオンペルオキシダーゼ活性の変化を検討した。

乳用雄子牛では肥育期 (Ⅴ~Ⅵ期) に血清脂質成分 (総脂質, リン脂質, 総コレステロール, コレステロールエステル, 過酸化脂質) と血清トコフェロール値が乳用雌と比べ有意に増加し, 反対に血清レチノールと赤血球トコフェロール値は明瞭に減少した。また, 血清トコフェロール値と血清脂質成分 (リン脂質, 総コレステロール, 総脂質) 値の間には高い正の相関がみられた。

乳用雄子牛の肥育期における血清脂質成分の増加は, この時期の体脂肪組織の発達を反映したものであり, この時期における生体利用型の赤血球トコフェロールの減少は生体内トコフェロールが脂肪組織に多量移行したためと考えられた。なお, 血清セレニウムと血液グルタチオンペルオキシダーゼ活性値は乳用雌子牛のⅤ~Ⅵ期に明瞭に減少したが, 原因はこの時期の給与飼料中のセレニウム含量の低下によるものと考えられた。

——**キーワード**: 子牛, セレニウム, ビタミン A, ビタミン E, 脂質分画。

最近のホルスタイン種牛では、雌牛（乳用雌）は乳牛、雄牛（乳用雄）は肉牛として飼育されている。特に乳用雄の肉用肥育では早期肥育が目的の不断給餌が行われるため、濃厚飼料の過給に起因する脂肪肝、肝膿瘍、食餌性蹄葉炎、尿石症等が多発し、これらによる経済損失の増加が注目されている。

肥育牛のボディコンディション判定には各肥育段階における代謝の状況を知るうえで血液諸成分の変化が参考となるが、これまでこの方面の基礎データは非常に乏しい¹⁶⁾。

われわれは、牛の早期肥育や肥満が血液の特に脂質関係成分に及ぼす影響を知る目的で、主として乳用雄の肥育段階および乳用雌の発育段階での変化について比較検討を行った。

材料および方法

供試牛

北海道十勝地方の O フィードロット牛舎で飼育されている臨床的に健康な乳用雄 90 頭を用いた。供試牛を発育段階により I 期：哺育期（7 日齢）、II 期：離乳期（1 カ月齢）、III 期：育成前期（3 カ月齢）、IV 期：育成後期（6 カ月齢）、V 期：肥育前期（12 カ月齢）、VI 期：肥育後期（17～18 カ月齢）の各群に分け、各群 15 頭ずつ血液を採取した。また、乳用雌は帯広畜産大学附属農場で飼養されている 30 頭を乳用雄と同様に 6 期の発育段階各群 5 頭に分けて、血液を採取した。

供試牛の給与飼料は、乳用雄では I 期は初乳のみ、II 期は代用乳とスターター（哺育期配合飼料）、III 期以後は乾草と配合飼料の不断給餌を行った。肥育終了時（17～18 カ月齢）の体重は平均 650 kg と過肥状態であった。乳用雌には、I, II 期は初乳と全乳、III 期以降は乾草、コーンサイレージ、ヘイレージを主体として給与した。実験終了時（17～18 カ月齢）には体重が平均 410 kg と乳用雄と比べ大差がみられた。また、乳用雄には、7 日、15 日および 40 日齢の時にビタミン AD₃E プレミックス（液剤 1 ml 中にビタミン A 50, 000 IU、ビタミン D₃ 10, 000 IU、ビタミン E 40 mg を含有）を 10 ml、さらに 3 カ月齢と 4.5 カ月齢時に 20 ml と計 5 回の投与を行った。

検査項目

血液成分の検査項目と方法は次のとおりとした。血清ビタミン A（レチノール、レチニルパルミテート）：高速液体クロマトグラフ法^{1,3)}、血清トコフェロール：蛍光法²⁾、赤血球 α -トコフェロール：石橋らの高速液体クロマトグラフ法¹¹⁾、血清セレンウム：蛍光法^{24,25)}、血液グルタチオンペルオキシダーゼ活性（GSH-Px）：Paglia & Valentine 法²⁷⁾、血清過酸化脂質（LPO）：TBA 法¹³⁾、総コレステロール（TC）およびコレステロールエステル

図1 乳用雄牛と雌牛の発育段階における血清レチノールとレチニルパルミテート値の変化

(EC)：酵素法、リン脂質 (PL)：酵素法、トリグリセライド (TG)：酵素法、遊離脂肪酸 (FFA)：ACS-ACOD 法の 12 項目について測定した。なお、血清総脂質 (TL) は各血清脂質成分を加算して求めた。その場合、FFA は 1 mEq/L = 28.25 mg/100 ml として換算した。

各性別群と雌雄群の平均値の差の検定は Student の t 検定法によって行った。

成 績

血清ビタミン A

血清レチノール値（図 1）は、乳用雄では全体的に各発育段階群の間で有意な差は認められなかった。しかし、II 期（ 54.2 ± 14.7 IU/100 ml）では低い値を示した。これに対し乳用雌では、IV～VI 期群は I, II, III 期群に比べ有意（ $P < 0.01$ ）な増加を示し、特に V 期と VI 期群は著明であった。さらに乳用雄群と比較すると II 期、IV 期、V 期と VI 期群間で高い値を示した。

血清レチニルパルミテート値（図 1）は、乳用雄では I 期（ 82.3 ± 63.6 IU/100 ml）、II 期（ 71.9 ± 35.4 IU/100 ml）が高値で、以後は減少して V 期は 14.8 ± 7.0 IU/100 ml、VI 期では測定限界値以下となった。これに対し、乳用雌では全期群ともほぼ同様な程度で各群間に差を認めず、乳用雄と比べ有意（ $P < 0.01$ ）には低値を示したが、VI 期には乳用雄群との間には差を認めなかった。

血清 Toc 値と赤血球 α -Toc 値

血清 Toc 値（図 2）は、乳用雄では I 期（ 181.9 ± 118.6 μ g/100 ml）に比べ II 期（ 76.0 ± 21.0 μ g/100 ml）から IV 期（ 78.0 ± 21.0 μ g/100 ml）で低く、V 期（ 196.5 ± 43.8 μ g/100 ml）、VI 期（ 201.1 ± 43.3 μ g/100 ml）

図2 乳用雄子牛と雌子牛の発育段階における血清トコフェロールと赤血球 α -トコフェロール値の変化

図3 乳用雄子牛と雌子牛の発育段階における血清セレンウムと血液グルタチオンペルオキシダーゼ活性値の変化

ml) ではI期とはほぼ同様の値を示した。乳用雌ではI期 ($185.6 \pm 121.0 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$) からIII期 ($70.7 \pm 13.3 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$) までは乳用雄とほとんど同様の变化を示したが、IV期 ($219.0 \pm 41.8 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$) からVI期 ($424.0 \pm 29.0 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$) 群ではその濃度はI～III群に比べ有意に高い値を示した。また、乳用雄に比べても有意に高値を示した。

赤血球 α -Toc値(図2)は、乳用雄ではI期 (0.49

図4 乳用雄子牛と雌子牛の発育段階における血清過酸化脂質の変化

$\pm 0.34 \mu\text{g}/\text{ml}$ 赤血球容積), II期 ($0.76 \pm 0.42 \mu\text{g}/\text{ml}$ 赤血球容積) 以降に明瞭に減少して、特にIV, V, VI期ではそれぞれ 0.13 ± 0.05 , 0.20 ± 0.08 ならびに $0.22 \pm 0.12 \mu\text{g}/\text{ml}$ 赤血球容積と低値を示した。これに対し、乳用雌ではII期群で低下しはじめ、さらにIII期群で著明に低下した。しかし、V, VI期群では他群より著明に増加した。また、乳用雄と比較すると特にV期 ($1.75 \pm 1.25 \mu\text{g}/\text{ml}$ 赤血球容積) とVI期 ($1.91 \pm 0.49 \mu\text{g}/\text{ml}$ 赤血球容積) で高値であった。乳用雌における血清Tocと赤血球 α -Tocの全期での変動は同様の状態を示した。

血清Se値

乳用雄の血清Se値(図3)はI期 ($29.8 \pm 5.2 \text{ ppb}$), II期 ($30.5 \pm 6.8 \text{ ppb}$) に比べてIII期以降に増加する傾向を示し、特にIV期 ($54.6 \pm 3.3 \text{ ppb}$), V期 ($54.0 \pm 10.9 \text{ ppb}$), VI期 ($61.6 \pm 11.6 \text{ ppb}$) にはそれぞれ50 ppbを上回る値を示した。これに対し、乳用雌ではI期 ($16.8 \pm 6.5 \text{ ppb}$), II期, V期 ($21.1 \pm 2.3 \text{ ppb}$), IV期 ($19.9 \pm 2.7 \text{ ppb}$) はほぼ同じ濃度であったが、III期 ($36.1 \pm 5.9 \text{ ppb}$), VI期 ($36.6 \pm 5.1 \text{ ppb}$) ではこれより高い値を示した。雄群と比較するといずれの発育段階においても雌群の方が雄群より有意 ($P < 0.01$) に低く、平均値では40 ppb以下であった。

血液GSH-Px活性値

乳用雄の血液GSH-Px活性(図3)はI期 ($33.3 \pm 10.9 \text{ e.u.}$), II期 ($26.5 \pm 9.9 \text{ e.u.}$) に比べてIII期以降は平均40 e.u.以上の活性の増加を示し、VI期 ($55.0 \pm 6.6 \text{ e.u.}$) に最高値を示した。乳用雌は全期間をつうじて乳用雄と比べ有意 ($P < 0.01$) に低値で、IV期 ($31.5 \pm 3.2 \text{ e.u.}$) を除きすべて平均30 e.u.以下であり、特にV期 ($11.8 \pm 5.2 \text{ e.u.}$), VI期 ($8.0 \pm 3.9 \text{ e.u.}$) において著明な低活性を示した。

血清Se値と血液GSH-Px活性値の関係

血清Se値と血液GSH-Px活性値の変動はほぼ平行し、両者間には高い正の相関 ($r = 0.81$, $n = 120$, $P < 0.01$) が認められた。

図5 乳用雄牛と雌牛の発育段階における血清総コレステロール, エステルコレステロール, リン脂質, トリグリセリド, 遊離脂肪酸値の変化

図6 乳用雄牛と雌牛の発育段階における血清総脂質値の変化

血清 LPO

乳用雄の血清 LPO (図4) は I 期 (3.71 ± 0.58 nmol/ml) と IV 期 (2.91 ± 0.5 nmol/ml) で低く, 他の時期に高値 (II 期: 5.38 ± 0.80 nmol/ml, III 期: 5.36 ± 0.42 nmol/ml, V 期: 4.84 ± 0.65 nmol/ml, VI 期: 5.53 ± 0.56 nmol/ml) を示した。これに対し乳用雌は, I 期に最高値 (4.16 ± 0.98 nmol/ml) で, 以降は減少

して, II, III, V, VI 期では同時期の乳用雄と比べて有意 ($P < 0.01$) な低値を示した。

血清コレステロール

血清 TC 値 (図5) は, 乳用雄では, I 期 (102.4 ± 24.7 mg/100 ml) に比べて II~IV 期に減少 (II 期: 65.4 ± 15.3 mg/100 ml, III 期: 74.8 ± 13.0 mg/100 ml, IV 期: 73.9 ± 19.0 mg/100 ml) したが, V 期 (159.6 ± 22.1 mg/100 ml) と VI 期 (151.9 ± 26.3 mg/100 ml) で増加が明瞭であった。乳用雌では各期群間にほとんど差を認めなかった他, 乳用雄群と比較すると II 期 (109.2 ± 26.3 mg/100 ml) では乳用雄よりも上昇したが, V 期 (100.7 ± 20.0 mg/100 ml) と VI 期群 (111.6 ± 8.5 mg/100 ml) では低値を示した。

血清 EC 値 (図5) は TC 値とほぼ類似の変動を示し, 乳用雄では乳用雌に比べ V 期 (125.8 ± 18.3 mg/100 ml) と VI 期 (117.6 ± 22.7 mg/100 ml) に有意 ($P < 0.01$) な高値がみられた。

血清 FFA 値

乳用雄の血清 FFA 値 (図5) は I 期 (300 ± 110 μEq/L) から III 期 (270 ± 80 μEq/L) にかけて高値で, 以後は減少して IV 期に最低値 (70 ± 30 μEq/L) となり, VI 期は 200 ± 50 μEq/L とやや増加した。乳用雌では I 期 (470 ± 290 μEq/L) が最高値で, 以後は発育段階が進むにつれて減少し, V 期 (60 ± 10 μEq/L) と VI 期 (90 ± 20 μEq/L) では同時期の乳用雄より低い値を示した。

血清 TG 値

血清 TG 値 (図5) は, 乳用雄では I 期 (74.7 ± 21.5 mg/100 ml) に最低値で, 以後は発育に伴いゆるやかな増加傾向を示し, VI 期 (103.7 ± 13.0 mg/100 ml) に最高値となった。乳用雌では I 期 (60.6 ± 24.8 mg/100 ml) 以降増加して, IV 期 (110.3 ± 34.6 mg/100 ml) に最高値となった後は V 期 (70.0 ± 28.0 mg/100 ml), VI 期 (53.2 ± 7.5 mg/100 ml) には同時期の乳用雄と比べ有意な低値であった。

血清 PL 値

血清 PL 値 (図5) は, 乳用雄では I 期 (143.5 ± 36.6 mg/100 ml) と比べて II~IV 期に減少 (II 期: 76.6 ± 19.2 mg/100 ml, III 期: 89.0 ± 16.5 mg/100 ml, IV 期: 87.6 ± 19.7 mg/100 ml) したが, V 期 (165.8 ± 20.9 mg/100 ml), VI 期 (159.3 ± 22.1 mg/100 ml) に再び増加した。乳用雌では, II 期 (143.1 ± 31.2 mg/100 ml) と IV 期 (126.3 ± 11.1 mg/100 ml) に乳用雄より高値で, V, VI 期は乳用雄より低値であった。

血清 TL 値

乳用雄では, 血清 TL 値 (図6) は I 期 (329.2 ± 72.7 mg/100 ml) に比べて II~IV 期に減少 (II 期:

表1 血清トコフェロールと血清脂質成分の濃度の相関

脂 質 成 分	n	相関係数	有 意 差
総 脂 質	119	0.52	$p < 0.01$
総コレステロール	119	0.55	$p < 0.01$
トリグリセライド	119	-0.08	$p > 0.25$
リ ン 脂 質	119	0.65	$p < 0.01$
遊 離 脂 肪 酸	119	-0.17	$p < 0.10$

表2 赤血球 α -トコフェロールと血清トコフェロール/血清脂質成分の相関

脂 質 成 分	n	相関係数	有 意 差
総 脂 質	110	0.67	$p < 0.01$
総コレステロール	110	0.70	$p < 0.01$
トリグリセライド	110	0.60	$p < 0.01$
リ ン 脂 質	110	0.67	$p < 0.01$
遊 離 脂 肪 酸	110	0.44	$p < 0.01$

236.8 $\pm$ 51.8 mg/100 ml, III期: 263.0 $\pm$ 42.0 mg/100 ml, IV期: 254.6 $\pm$ 40.7 mg/100 ml) し, その後はV期 (429.7 $\pm$ 53.2 mg/100 ml) とVI期 (420.7 $\pm$ 56.9 mg/100 ml) に増加した. 乳用雌ではII期 (338.4 $\pm$ 79.9 mg/100 ml) とIV期 (330.2 $\pm$ 46.4 mg/100 ml) に同時期の乳用雄より高値であったが, V期 (305.5 $\pm$ 56.7 mg/100 ml), VI期 (308.8 $\pm$ 16.0 mg/100 ml) は乳用雄が有意 ($P < 0.01$) に高値であった.

血清脂質成分と血清・赤血球 Toc 値の関係

今回測定した各種の血清脂質成分と血清 Toc 値との相関関係を表1に示した. 特に血清 Toc との相関度が高い脂質成分はPL ($r = 0.65$, $P < 0.01$), TC ($r = 0.55$, $P < 0.01$), TL ($r = 0.52$, $P < 0.01$) の順であった. 次に赤血球 α -Toc と血清 Toc/血清脂質成分との相関を表2に示したが, 相関性の高いのはTC ($r = 0.70$, $P < 0.01$), PL ($r = 0.67$, $P < 0.01$), TL ($r = 0.67$, $P < 0.01$) 等であった.

考 察

乳用雄の肥育段階における各血清脂質成分の変動を同月齢の乳用雌と比較したところ, 乳用雄ではV期 (肥育前期) からVI期 (肥育後期) にかけてTL, PL, TC, ECの有意な増加が認められた. 乳用雄のこのような血清脂質濃度の変化は, 恐らく牛の若齢肥育による体脂肪の急速な蓄積を反映したものと考えられた. すなわち, 試験が終了したVI期 (17~18カ月齢) の体重では, 乳用雌が平均410 kgであったのに対し, 乳用雄は平均650 kgと明瞭な過肥状態であった.

このような乳用雄での変化を肉専用種の黒毛和種での肥育時の変化に関する報告と比較すると, 黒毛和種では血清のTL, PL, TC等の増加が肥育前期 (13~15カ月齢) においてのみみられ, 肥育後期 (21~28カ月齢) では上記の血清脂質成分はむしろ減少し, 代わって

TG, FFAが増加するとされている^{20,23)}. 以上のような乳用雄と黒毛和種での血清脂質成分の変化の違いの理由として, 品種, 遺伝要因, ホルモン制御等の諸要因の関与も軽視できないが, それ以上に両者の肥育期間の差異で起る体脂肪の蓄積過程の違いに注目する必要があると思われる.

すなわち, 血清TL, PL, TC, ECの増加およびFFAの減少を示す乳用雄の肥育前期と肥育後期, ならびに黒毛和種の肥育前期までの期間は不断給餌によるTDNの摂取量の増加で皮下, 腸間膜, 筋肉膜等の脂肪組織に脂肪が蓄積する時期である^{28,30)}. 肥育期間がさらに延長する黒毛和種の肥育後期になると上記の体脂肪および血中脂質の著明な増加の結果, それらのエネルギーとしての利用も行なわれるようになり, TG, NEFAが血中に増加して^{20,23)}, それらが内筋周囲膜間の脂肪組織にも沈着して脂肪交雑が進み, いわゆる“サシ”が形成されるものと考えられている¹⁴⁾.

以上のように品種や肥育期間により多少の差はみられるが, 牛の肥育が進むにつれ体脂肪の蓄積が増加するので, それに伴い脂質の過酸化反応も亢進する恐れが多いが, それを裏付けるように今回の乳用雄例では乳用雌例と比べて血清Lpoの有意な増加が認められた. したがって, このようなLpoの増加が脂質の過酸化抑制に対して生体内での主役を果たす有効利用型のToc (bioavailable tocopherol) の消費および不足に影響を与えないか否かの検討も必要である.

生体内でのTocには, 細胞膜系に局在して膜脂質の抗酸作用として有効利用されるTocと, 血清の脂質成分や体脂肪組織等の脂質プールに移行して生体内では非有効利用型であるToc (non-bioavailable tocopherol) とに分けられている^{4,17)}. すなわち, 赤血球中のToc量はbioavailable Tocの指標^{15,19)}となるが, 血清Tocはむしろ脂質プール内のToc量を反映しているので高脂血症や肥満例^{4,5)}では血清Toc値が増加するが, 肝臓, 心臓, 赤血球, 肺等諸臓器に含まれるbioavailable Toc値は反って減少する.

今回の乳用雄においても, 血清Toc値は血清のTLおよびPL濃度と高い相関 ($r = 0.67$ および $r = 0.65$) を示す等, Tocの脂質プールへの移行性が良好なことを示唆したが, いっぽう同月齢の乳用雌と比べても肥育飼料の過給で急速に体重が増加して体脂肪蓄積が進んだIV~VI期の乳用雄では, 血清脂質成分 (TL, PL, TC, EC) は増加したが赤血球Toc値は反って明瞭に減少した. これらの所見は牛でも人と同様に, 肥満すなわち体脂肪が蓄積すると脂溶性ビタミンとしてのTocの脂肪組織への移行量が著しく増加する結果, 赤血球Toc値が減少することを示したものであり, この点からみて赤血球Toc値の測定が牛のボディコンディション^{7,29)}の

判定のよい指標となりうる可能性を十分伺わせたが, 詳しくは今後の検討課題であると考えられる。

血清ビタミン A は乳用雄では肥育が進む IV~VI 期において乳用雌と比べ有意な低値を示したが, その原因は肥育期に不断給餌の状態で過給した配合飼料のビタミン A 含量が本来少いことが関係したと思われる。なお, 乳用雄の I, II 期の血清レチニルパルミテート値が特に高値を示したのは, この時期に給与したビタミン AD₃E 剤の影響と考えられる。

いっぽう, 乳用雄では特に赤血球 Toc 値が低下した III 期以降において血清 Se と血液 GSH-Px 活性は増加の傾向がみられたが, 原因はこの時期に Se 含量の多い濃厚飼料⁹⁾を摂取したためであり, その結果 Se を構成成分とする血液 GSH-Px 活性も増加したものとする。これに対し, 乳用雌では本来 Se 含量の低い粗飼料の給与が主体であったため, 特に V~VI 期に血清 Se 値 (平均 40 ppb 以下) と血液 GSH-Px 活性値 (平均約 12 e.u 以下) の低下が明瞭であった。Toc と Se (GSH-Px) は脂質の過酸化抑制¹⁸⁾, 細胞膜系の保護と安定化^{6, 10)}の他, ビタミン E と併せて乳房炎の予防等の生体防衛¹²⁾にも関与することが知られているので, 諸疾患の発生防止のためにも乳用雄では Toc, 乳用雌では Se の給与について考慮する必要があることが今回の成績から示唆された。

引用文献

- 1) 阿部皓一, 石橋恭子, 大前雅彦, ほか: ビタミン, 51, 275~280 (1977).
- 2) 阿部皓一, 勝井五一郎: 栄養と食糧, 28, 277~280 (1975).
- 3) 阿部皓一, 大前雅彦, 阿部 靖, ほか: ビタミン, 53, 385~390 (1979).
- 4) BIERI J. G. and EVARTS R. P.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 149, 500~502 (1975).
- 5) BIERI J. G. EVATS R. P. and THORG, S.: *Am. J. Clin. Nutr.*, 30, 686~690 (1977).
- 6) CHOW C. K. and TAPPLE A. L.: *Lipid*, 7, 518~524 (1972).
- 7) GAAL T., ROBERTS C. J. and REID I. M.: *Vet. Rec.*, 113, 53~54 (1983).
- 8) HIGGINS R. J. and ANDERSON W. S.: *Vet. Rec.*, 113, 461~463 (1983).
- 9) 一条 茂, 納 敏, 竹田孝夫: 日獣会誌, 41, 565~570 (1988).
- 10) 五十嵐修: ビタミン学, 1, 208~216, 東京化学同人 (1986).
- 11) 石橋恭子, 阿部皓一, 大前雅彦: ビタミン, 51, 415 (1977).
- 12) IVANDIJA L.: *Vet. Bull.*, 56, 517 (1986).
- 13) 金田尚志, 宮沢陽夫: 過酸化脂質実験法, 80~117, 医歯薬出版 (1985).
- 14) 加納康彦, 沢崎 徹, 沢崎 坦, ほか: 日畜会報, 47, 397~401 (1967).
- 15) 北川 真, 美濃 真: 日本臨床, 43 (秋季臨時増刊) 418~422 (1985).
- 16) 北川政幸: 栄養生理研報, 27, 119~129 (1985).
- 17) MACHLIN L. J., KEATING J., NELSON, J., et al.: *J. Nutr.*, 109, 105~110 (1979).
- 18) 松尾光芳: 過酸化脂質と生体, 13~44, 学会出版センター (1985).
- 19) 毛利佳世, 江坂知美, 五十嵐修: 日本栄養・食糧学会誌, 37, 441~446 (1984).
- 20) 森田二郎, 堀平四郎, 南 高夫, ほか: 鳥大農研報, 36, 19~27 (1984).
- 21) MORROWS D. A.: *J. Dairy. Sci.*, 59, 1625~1629 (1975).
- 22) 本好茂一, 内貴正治, 牛見忠蔵, ほか: 臨床獣医, 1, 15~36 (1983).
- 23) 西邑隆徳, 佐藤幸信, 川崎 勉, ほか: 新得畜試研報, 36, 19~27 (1984).
- 24) OLSON O. E.: *J. AOAC.*, 52, 627~634 (1969).
- 25) OLSON O. E., Palmer I. S. and Cary E. E.: *J. AOAC.*, 58, 115~121 (1975).
- 26) 大脇雄三, 鈴木慶信, 香本頼利, ほか: 家畜診療, 214, 16~22 (1981).
- 27) PAGLIA D. E. and VALENTINE W. N.: *J. Lab. Clin. Med.*, 70, 158~169 (1969).
- 28) 竹下 潔, 吉田正三郎, 田中彰治, ほか: 東北農試研報, 50, 99~111 (1975).
- 29) TGOPPONEN J., HAKKARAINEN J., JUOKSLAHTI T., et al.: *Am. J. Vet. Res.*, 45, 1790~1794 (1984).
- 30) 山崎敏雄, 小沢 忍, 塩谷康生: 中国農試報告, B 19, 39~51 (1972).