

論 文 目 録

氏 名 高田 良三



学 位 論 文

題 目 γ -リノレン酸油および中鎖脂肪の有する栄養生化学的
機能に関する研究

学位論文の基礎となる学術論文

題 目 Dietary γ -Linolenic Acid-Enriched Oil Reduces Body
Fat Content and Induces Liver Enzyme Activities
Relating to Fatty Acid β -Oxidation in Rats

著 者 名 RYOZO TAKADA, MAMORU SAITOH AND TORU MORI

学術雑誌名 Journal of Nutrition に発表 発表予定

(巻・号・頁) (124 ・ 4 ・ 469~474)

発行年月 1994 年 4 月

題 目 中鎖脂肪給与が肥育豚の発育、消化率、背脂肪
および脂肪酸組成に及ぼす影響

著 者 名 高田良三、設楽 修、斎藤 守、森 淳

学術雑誌名 日本養豚学会誌 に発表 発表予定

(巻・号・頁) (29 ・ 1 ・ 32~40)

発行年月 1992 年 3 月

題 目 Effects of Dietary Medium- and Long-chain Triglycerides
on the Ileal Digestibilities of Amino Acids in Pigs

著 者 名 RYOZO TAKADA, YUJI KAJI, MAMORU SAITOH AND TORU MORI

学術雑誌名 Animal Science and Technology に発表 発表予定

(巻・号・頁) (65 ・ 5 ・ 432~436)

発行年月 1994 年 5 月

題 目 Comparative Effects of Glucose, Long-chain
Triglycerides and Medium-chain Triglycerides on the
Protein Metabolism of Fasted Rats
著 者 名 RYOZO TAKADA, MAMORU SAITOH AND TORU MORI
学術雑誌名 Agricultural and Biological Chemistryに発表・発表予定
(巻・号・頁) (54 ・ 10 ・ 2755~2756)
発行年月 1990 年 10 月

題 目 Feeding Medium- and Long-chain Triglycerides and
Carbohydrate to Unfed Rats Differently Exerts a
Protein-Sparing Effect
著 者 名 RYOZO TAKADA AND MAMORU SAITOH
学術雑誌名 Journal of Nutrition に発表 発表予定
(巻・号・頁) (. . .)
発行年月 1995 年 月

既 発 表 学 術 論 文

題 目 Lysine Requirement of Pigs Weighing 8 to 18kg
Fed Purified Diet
著 者 名 RYOZO TAKADA AND TORU MORI
学術雑誌名 Japanese J. of Zootechnical Science に発表・発表予定
(巻・号・頁) (59 ・ 8 ・ 740~747)
発行年月 1988 年 8 月

題 目 養豚用飼料における添加リジンの利用性および飼料の
消化率に及ぼす給餌回数の影響
著 者 名 高田良三、 森 淳
学術雑誌名 日本畜産学会報 に発表・発表予定
(巻・号・頁) (60 ・ 3 ・ 231~235)
発行年月 1989 年 3 月

題 目	Effects of Long- and Medium-chain Triglycerides on Amino Acid Uptake in Rat Intestinal Brush Border Membrane Vesicles
著 者 名	KIYOSHI TAJIMA, RYOZO TAKADA, HISAO ITABASHI KEN-ICH KAMEOKA AND KEI-ICHIRO SUGIMURA
学術雑誌名	Comp. Biochem. Physiol. <u>に発表</u> 発表予定
(巻・号・頁)	(106A ・ 4 ・ 719~723)
発行年月	1993 年 12 月

γ-リノレン酸油および
中鎖脂肪の有する栄養生
化学的機能に関する研究

1995年

岐阜大学大学院
連合農学研究科

高田良三

γ-リノレン酸油および
中鎖脂肪の有する栄養生
化学的機能に関する研究

高 田 良 三

目 次

結 論	1
第 1 章 γ -リノレン酸油摂取による脂質代謝への影響	
第 1 節. γ -リノレン酸油摂取がラットの体脂肪および脂肪酸代謝関連酵素活性に及ぼす影響	6
第 2 節. γ -リノレン酸油摂取が豚の背脂肪厚および脂肪酸分解酵素活性に及ぼす影響	22
第 2 章 肥育豚に対する中鎖脂肪 (MCT) の栄養生化学的機能の解明	
第 1 節. 中鎖脂肪給与が肥育豚の発育、消化率、背脂肪および脂肪酸組成に及ぼす影響	33
第 2 節. 中鎖脂肪摂取が肥育豚の背脂肪厚およびその脂肪酸組成へ及ぼす影響	52
第 3 節. 豚回腸末端アミノ酸消化率に対する飼料添加中鎖脂肪および長鎖脂肪の影響	64

第 3 章	蛋白質節約作用に対する中鎖脂肪給与の影響	
第 1 節.	絶食ラットへのグルコース、長鎖脂肪および中鎖脂肪投与による蛋白質節約作用の比較検討	74
第 2 節.	中鎖脂肪、長鎖脂肪および炭水化物投与による絶食ラットの蛋白質節約作用発現に及ぼす影響	80
総合考察		99
要約		105
文献		109
謝辞		124

略 語

A A = arachidonic acid, アラキドン酸

C C K = cholecystokinin, コレシストキニン

D H A = docosahexaenoic acid, ドコサヘキサエン酸

D H G L A = dihomo- γ -linolenic acid, ジホモ- γ -
リノレン酸

E P A = eicosapentaenoic acid, エイコサペンタエン酸

G L A = γ -linolenic acid, γ -リノレン酸

G L M = general linear models

L C T = long-chain triglycerides, 長鎖脂肪

L O G R = lysine-2-oxoglutarate reductase, リジン-
2-オキソグルタレート還元酵素

M C T = medium-chain triglycerides, 中鎖脂肪

S D H = serine dehydratase, セリン脱水酵素

緒 論

近年の食肉に対する日本人の消費者ニーズは二極分化している。すなわち、牛肉に関しては脂肪蓄積の多い霜降り肉であり、一方、豚肉、鶏肉に関しては、おいしさだけでなく健康重視のためのカロリー-過剰摂取防止という意味もあって、脂肪が少なく赤肉の多いものを好むという傾向にある。また、屠場等での加工処理時において、過剰蓄積した脂肪は廃棄されており、飼料エネルギーの有効利用という視点においても脂肪の過剰蓄積は問題である。そこで豚肉についてはこのような消費者ニーズへの対応および飼料エネルギーの有効利用という両面から、低脂肪豚肉の生産が重要な研究課題となる。

豚は食欲旺盛で、通常の肥育期間中（体重30～110kg）では維持に必要なエネルギーの数倍もの飼料を摂取し、急速に増体する。そして1日当たりの蛋白質蓄積量は体重40～50kg以降はほぼ一定となり、主に脂肪蓄積の増加によって1日当たりの増体量が増えていく(109)。したがって、この時期における過剰の脂肪蓄積をいかに低減させるかが重要であり、現在までに多くの試みがなされてきた。たとえば飼料（エネルギー）摂取量を意図的に低下させる制限給餌、エネルギー含量の低い飼料を給与す

る低エネルギー飼料、蛋白質を多く給与して体内でのエネルギー消費を増大させ、脂肪蓄積量を低下させる高蛋白飼料などである。しかし、それぞれが問題点をかかえており、これといった有効な方法はいまだ見いだされていない。

最近、新しい試みとして、アメリカ、カナダを中心にして、成長ホルモン(58)や β -アゴニスト(34)を用いて、高蛋白で低脂肪の豚肉生産の研究がなされているが、実用化には至っていない。本研究は、脂肪の過剰蓄積の防止を主目的として、特異な構造を有する特殊油脂(γ -リノレン酸油、中鎖脂肪)の有する様々な栄養生化学的な機能特性を明らかにしようとするものである。

高度不飽和脂肪酸とは、分子内に二重結合をいくつか有した脂肪酸のことを指し、リノール酸に代表されるn-6系列および α -リノレン酸に代表されるn-3系列の2系列が知られている。いずれの系列も動物が飼料から摂取しなければならない必須脂肪酸である。多くの場合、これらの脂肪酸が生理機能を発揮するためには、まず第一に Δ 6不飽和化酵素によって二重結合が1つ増え、さらに先へ代謝されなければならない。ところが、この Δ 6不飽和化酵素はホルモン、年齢、疾病、環境温度など多くの要因によって調節されており、必ずしも反応はスムーズに進まない(15)。したがって、n-6系列の γ

ーリノレン酸やn-3系列のエイコサペンタエン酸 (EPA)、ドコサヘキサエン酸 (DHA) のような中間代謝産物を直接摂取して、 $\Delta 6$ 不飽和化反応をパスさせることはきわめて興味深い。ところで、n-3系列のEPAやDHAは魚油に多く含まれているため、これまで多くの研究がなされており、脂質代謝も含めて各種多彩な生理機能が明らかにされている。一方、n-6系列の γ -リノレン酸は自然界には月見草油以外にはほとんど存在せず、またその含量も約9%程度であり、研究はあまり進展していなかった。しかし、血中のコレステロールを強力に低下させることは良く知られていた(93)。このような状況下において、最近、微生物由来で高濃度の γ -リノレン酸を含む γ -リノレン酸油 (GLA油、脂肪酸組成として約25%の γ -リノレン酸を含む) が利用可能となった(90)。そこで、GLA油摂取による、脂肪蓄積を中心とした脂質代謝への影響について、ラット、豚を用いて検討を行った。

(第1章第1、第2節)

中鎖脂肪 (Medium-chain triglycerides, MCT) とは、6~12の炭素鎖長からなる飽和脂肪酸のトリグリセリドのことを指し、通常ココナッツ油から精製される。一般に自然界に多く存在している長鎖脂肪 (Long-chain triglycerides, LCT) と比べてMCTは多くの特徴を

有しており、①消化吸収が速くカイロミクロンを形成する必要がない、②胆汁、膵液が欠乏していてもトリグリセリドの形態で直接吸収される、③リンパ管ではなく門脈経由で吸収される、④ミトコンドリア内膜を通過する時にカルニチンを必要としないで直接入ることができる、⑤エネルギー源として速やかに酸化分解され易い、などが明らかにされている(6)。MCTのもつこのような特性から、近年医学領域において、特に栄養補給法としての経腸栄養剤および静脈栄養剤が注目されている(47)。本研究では養豚分野におけるMCT応用の可能性について、脂肪蓄積および脂肪酸組成への影響に焦点を当て、肥育豚を用いて検討を行った。(第2章第1、第2節)

一方、最近MCTの有する新しい機能特性として、膵液分泌促進機能をもつ消化管ホルモンであるコレシストキニン(CCK)がMCT摂取によって促進されるという報告がされた(28)。そこで、MCT摂取が肥育豚の小腸末端におけるアミノ酸消化率にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。(第2章第3節)

動物に非蛋白態のエネルギー源(炭水化物、LCT)を給与すると体内の窒素蓄積が改善される、いわゆる蛋白質節約作用が起きる。しかし炭水化物と脂肪ではその作用発現までの時間およびメカニズムが異なることが報告されている(66, 83)。LCTによる蛋白質節約作用の発

現 炭水化物と比べて遅れる理由の一つに、その脂肪酸の利用性（酸化分解）が考えられる。そこでLCTと比較して酸化分解されやすい特徴を有するMCTを摂取することにより、蛋白質節約作用がどのように発現するか、LCTおよび炭水化物との比較検討を、絶食ラットを用いて行った。（第3章第1、第2節）

第 1 章

γ-リノレン酸油摂取による 脂質代謝への影響

第 1 章 第 1 節

γ-リノレン酸油摂取がラットの体脂肪および脂肪酸代 謝関連酵素活性に及ぼす影響

要 約

本研究は、微生物由来でγ-リノレン酸を高濃度に含む油脂（GLA油）の摂取がラットの体脂肪および肝臓における脂肪酸代謝関連酵素の活性にどのような影響を与えるかについて検討を行った。実験に用いたGLA油中のγ-リノレン酸含量（脂肪酸組成として）は25.3%であった。試験飼料中のGLA油は大豆油と置換して0, 1.5および4%添加とし、それぞれγ-リノレン酸として0, 2.88および7.68g/kg含んでいた。対照飼料は大豆油8%とした。これらの試験飼料をラットに4週間自由摂取させた。その結果、飼料摂取量は3試験区間で差は認めら

れなかったが、増体量は対照区よりもGLA油区が低くなった。屠体中の脂肪量（絶対量および含量）は対照区に対してGLA油区が有意に低くなった。一方、屠体中の蛋白質および水分量（絶対量）は3試験区間で差は認められなかったが、体重100g当たりで示すと対照区に対してGLA油区で、わずかではあるが有意に高くなった。血漿中の総コレステロールおよび遊離脂肪酸濃度は対照区に対しGLA油区で低くなった。肝臓での脂肪酸合成系酵素であるリンゴ酸酵素およびクエン酸解裂酵素活性は3試験区間で差は認められなかった。しかし、脂肪酸の β 酸化に関与するカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソーム β 酸化活性は対照区に対してGLA油区で有意に高くなった。これらの結果は、GLA油摂取が体脂肪量を低下させ、肝臓における脂肪酸 β 酸化を促進させることを明確に示している。

結 言

必須脂肪酸は2系列が知られており、一つはリノール酸(18:2)を出発物質とするn-6系列であり、もう一つは α -リノレン酸(18:3)を出発物質とするn-3系列である。リノール酸や α -リノレン酸などの必須脂肪酸が生理機能を示すには、多くの場合、まず最初に $\Delta 6$ 不飽和酵素によって不飽和化され、さらに先へと代謝されなければならない。しかし $\Delta 6$ 不飽和化酵素はホルモン、年齢、疾病、環

境温度等の要因によって調節されており(15, 39)、必ずしも反応はスムーズに進まない。そこでγ-リノレン酸〔GLA、18:3(n-6)〕、エイコサペンタエン酸〔EPA、20:5(n-3)〕およびドコサヘキサエン酸〔DHA、22:6(n-3)〕などの中間代謝産物を動物が直接摂取することはきわめて興味深い。

一般に魚油はEPAやDHAを多く含んでいるため、魚油のもつ生理活性についての研究報告は数多くなされている(23)。一方、GLAのようなn-6系列の代謝産物は自然界にはきわめて限られており、月見草油は実質的に唯一のGLA源である(41)。その月見草油は脂肪酸組成として約9%のGLAを含んでいるが、必ずしもその濃度は高くはない。

月見草油についてはペニバナ油や大豆油と比べてかなり強いコレステロール低下作用を有することが報告されている(40, 93)。またVaddadi and Horrobin(108)は、月見草油を肥満の人間に投与すると体重が減少することを報告している。これらの結果はGLAがコレステロールや脂肪の代謝に影響を及ぼすことを示唆している。しかし、Haslett et al.(36)は肥満の婦人に月見草油を投与しても何等変化は起きなかったとしており、GLAのもつ脂質代謝への影響については現在論争中である。

最近、GLAを高濃度(約25%)に含む微生物由来の油脂(GLA油)が利用可能となった。そこで、本研究で

は、GLA油摂取により、ラットの体成分および肝臓における脂肪酸代謝関連酵素の活性がどのように影響を受けるかについて検討を行った。

材料および方法

動物および飼料. 30匹の雄ウィスター系ラット（4週齢、日本SLCから購入）を代謝ケージに収容して飼育を行った。飼育室は温度： $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度： $60 \pm 5\%$ 、12時間サイクルの明暗とした。予備期間中、ラットには農水省畜産試験場指定の飼料（可消化粗蛋白質、 181g/kg ；代謝エネルギー、 14.0MJ/kg ；トウモロコシ、大豆粕、魚粉主体の実用飼料）を自由摂取させた。実験に用いたGLA油は出光マテリアル（株）から供与されたもので、95%がトリグリセリド、残り5%がエルゴステロールを主とする微量の脂質成分であった。試験飼料の組成をTABLE 1-1に示す。GLA油は大豆油と置換することによって飼料中に添加した。その添加レベルは0、1.5および4%とし、それぞれ0、2.88および7.68g/kgのGLA含量となった。TABLE 1-2にGLA油と大豆油の脂肪酸組成を示した。飼料中には抗酸化剤として500mg/kgのBHTを添加した。

実験方法. ラットはその体重が約175gに達した時点で、1試験区10匹ずつの3試験区に分け、28日間の飼育試験を行った。その間、試験飼料および水は自由に与えた。脂肪の酸化を防ぐため、試験飼料は -20°C に貯蔵し、毎日

TABLE 1-1
Composition of experimental diets

	Control	GLA oil ¹	
		1.5%	4%
		g / kg diet	
Casein	200	200	200
Cornstarch	466	466	466
Sucrose	150	150	150
Soybean oil	80	65	40
GLA oil	-	15	40
AIN-76 mineral mix ²	35	35	35
Vitamin mix ³	16	16	16
Cellulose	50	50	50
DL-methionine	3	3	3

¹GLA oil= γ -linolenic acid-enriched oil.

²Supplied by Nihon Nosan K.K., Yokohama, Japan.

³Oriental Yeast Vitamin Mixture (Oriental Yeast, Tokyo, Japan) containing (mg/kg diet): retinyl acetate, 2.9; cholecalciferol, 0.04; dL- α -tocopheryl acetate, 80; menadione, 83.2; thiamin HCl, 19.2; riboflavin, 64; pyridoxine HCl, 12.8; vitamin B-12, 0.008; ascorbic acid, 480; biotin, 0.32; folic acid, 3.2; calcium pantothenate, 80; p-aminobenzoic acid, 80; niacin, 96; inositol, 96; choline chloride, 3200.

TABLE 1-2
Fatty acid composition of dietary oils

Fatty acid	Soybean oil	GLA oil ¹
	g/100g fatty acids	
14:0	-	1.1
16:0	11.9	14.9
16:1	-	2.0
18:0	4.6	1.7
18:1	24.2	36.2
18:2 (n-6)	53.0	16.6
18:3 (n-6) ²	-	25.3
18:3 (n-3) ³	6.3	-
Others	-	2.2

¹GLA oil= γ -linolenic acid-enriched oil.

² γ -linolenic acid.

³ α -linolenic acid.

新鮮な飼料を与えた。試験期間の最終5日間にわたって、脂肪の消化率を測定するために糞を採取した。試験最終日に、4時間絶食させた後に、エーテル麻酔下で断頭により屠殺した。血液はヘパリン処理した試験管内に集め、1500gで20分間遠心処理をし、血漿を得た。血漿は分析に供するまで -45°C で貯蔵した。肝臓はただちに取り出し、秤量した後、分析に供するまで -70°C で貯蔵した。腸管は取り出し、内容物を捨てた後、元へ戻した。屠体は後の分析まで -20°C で貯蔵した。

分析. 凍結した屠体は一部解凍させた後、肉ひき器に5回通した。ミンチされた屠体は水分含量を測定するため、通風乾燥器内で 102°C 、18時間乾燥させた。屠体中の窒素含量は、ケルダール分解を行った後、テクニコンオートアナライザーで測定し、それに6.25を乗じて粗蛋白質とした。屠体中の脂肪含量は、ソックスレー抽出器を用いて16時間ジエチルエーテルで抽出し、重量法にて測定した。飼料中の脂肪の消化率を測定するために、飼料および糞中の脂肪含量も同様にソックスレー抽出器を用いて分析した。

実験に用いた油はケン化した後、Morrison and Smith (61)の方法によって三フッ化ホウ素でメチル化した。その脂肪酸メチルエステルはdiethylene glycol succinateをバックしたカラムを用いてガスクロマトグラフィーで分離した。脂肪酸は、Nu-Check Prep社製のスタンダー

ードを用いて、保持時間によって同定した。

血漿中のトリグリセリド、遊離脂肪酸、総コレステロールおよびインスリンは市販のキットを用いて測定した（トリグリセリド-テスト、NEFA-テスト、コレステロールCテスト、グラザイムインスリン-BIAテスト；いずれも和光純薬製）。

-70°Cで貯蔵していた肝臓を解凍し、250mmol/Lのシュウクロースバッファ-（pH7.4、3mmol/L HEPES、1mmol/L EDTAを含む）で、テフロン-ガラスホモジナイザーを用いてホモジナイズした。得られた10%ホモジネートを500g、10分間遠心し、その上澄をカルニチンパルミトイル転移酵素（EC2.3.1.23）およびペルオキシソームβ酸化活性の測定に供した。また上澄はさらに100,000g、60分間遠心し、得られた上澄をリンゴ酸酵素（EC1.1.1.40）およびクエン酸解裂酵素（EC4.1.3.8）の活性測定に供した。カルニチンパルミトイル転移酵素はBieber et al. (12)の方法によって測定したが、トリトンX-100は除き、L-カルニチンは8mmol/Lとした。ペルオキシソームβ酸化、リンゴ酸酵素およびクエン酸解裂酵素の測定は、それぞれLazarow and de Duve (51)、Ochoa (74)、そしてMartyn and Hansen (56)の方法によった。蛋白質の測定はLowry et al. (53)の方法によった。

統計処理. データは平均値とpooled SEMで示し、general linear models procedure（GLMプロシジャー、

SAS, version 6.03)を用いて分散分析を行った。有意な処理効果が認められた時、各試験区間の有意差を求めるため、Duncanの多重検定を行った。結果は5%で有意とみなした。

結 果

飼育成績および肝臓重量。 増体量、飼料摂取量、飼料効率および肝臓重量をTABLE 1-3に示した。GLA油区の増体量は対照区のそれと比べて有意に低くなった。飼料摂取量は3試験区間で差は認められなかった。その結果、GLA油区の飼料効率は対照区に対して低下した。肝臓重量(g)はいずれの試験区も同様であったが、体重当たりの肝臓重量(g/100g体重)で示すと4%GLA油区は対照区よりも重くなった。

GLA油の消化率。 飼料中の粗脂肪(エーテル抽出物)の消化率は、対照区、1.5%GLA油区および4%GLA油区それぞれ96.6、94.2、90.9%であった。またいずれの3試験区間においても有意差が認められた。これらのデータから、直線回帰法によってGLA油そのものの消化率を算出すると85.2%であった。

屠体重量およびその組成。 屠体重量およびその組成をTABLE 1-4に示す。体重変化と同様に、屠体重量においてもGLA油区が対照区よりも軽くなった。屠体の脂肪量は絶対量(g)および体重当たり(g/100g体重)のいずれで

表しても G L A 油区は対照区に対して有意に低くなった。1.5% G L A 油区および4% G L A 油区の脂肪量は、対照区に対してそれぞれ7.2g、11.2g 少なかった。屠体の蛋白質量は、体重当たり (g/100g 体重) で表すと対照区に対して G L A 油区が有意に高くなったが、絶対量 (g) で表すと3試験区間で有意差は認められなかった。屠体の水分量は、体重当たり (g/100g 体重) で表すと G L A 油区が対照区よりも高くなったが、絶対量 (g) で表すと、G L A 油区が低くなる傾向が認められた。

血漿中の代謝産物の濃度. 血漿中のトリグリセリド、遊離脂肪酸、総コレステロールおよびインスリン濃度を TABLE 1-5 に示した。トリグリセリドとインスリン濃度においては3試験区間で有意な差はみられなかった。血漿中の遊離脂肪酸は、対照区に対して1.5% G L A 油区で有意に低く、4% G L A 油区では有意差は認められなかったが、低下する傾向がみられた。血漿中の総コレステロールは、対照区に対して G L A 油区で有意に低くなった。

肝臓における脂質代謝関連酵素活性. リンゴ酸酵素、クエン酸解裂酵素、カルニチンパルミトイル転移酵素およびベルオキシソーム β 酸化活性を TABLE 1-6 に示した。脂肪酸合成系酵素であるリンゴ酸酵素およびクエン酸解裂酵素活性は3試験区間で差は認められなかった。しかし、ミトコンドリアでの脂肪酸 β 酸化の律速酵素 (57) であるカルニチンパルミトイル転移酵素の活性は対照区と比べ

TABLE 1-3

Growth performance and liver weight in rats fed diets containing γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil) for 28 d. ¹

	Control	GLA oil		Pooled SEM
		1.5%	4%	
Initial body weight, g	173	174	173	1.0
Body weight gain, g/28d	125 ^a	114 ^b	111 ^b	3.0
Feed intake, g/28d	482	472	476	5.1
Feed efficiency, g gain/g feed	0.260 ^a	0.240 ^b	0.234 ^b	0.005
Liver weight, g	12.0	12.1	12.4	0.3
g/100g body wt	4.05 ^b	4.19 ^b	4.41 ^a	0.06

¹Values are means and pooled SEM for 10 rats/dietary group. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

TABLE 1-4

Carcass weight and composition of rats fed diets containing γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil) for 28 d. ¹

	Control	GLA oil		Pooled SEM
		1.5%	4%	
Carcass wet wt, g	269.5 ^a	258.6 ^b	255.1 ^b	3.0
Carcass composition				
Fat, g	51.6 ^a	44.4 ^b	41.4 ^b	1.6
g/100g body wt	19.1 ^a	17.1 ^b	16.1 ^b	0.5
Protein (N \times 6.25), g	53.6	53.0	53.0	0.5
g/100g body wt	19.9 ^b	20.5 ^a	20.8 ^a	0.1
Water, g	154.8	152.0	151.0	1.6
g/100g body wt	57.5 ^b	58.8 ^a	59.2 ^a	0.4

¹Carcass includes all except gastrointestinal contents and liver. Values are means and pooled SEM for 10 rats/dietary group. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

TABLE 1-5

The concentrations of plasma triglycerides, free fatty acids, total cholesterol and insulin in rats fed diets containing γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil) for 28 d.¹

	Control	GLA oil		Pooled SEM
		1.5%	4%	
Triglycerides, mmol/L	2.33	2.12	2.13	0.14
Free fatty acids, mmol/L	0.566 ^a	0.480 ^b	0.504 ^{ab}	0.026
Total cholesterol, mmol/L	2.68 ^a	2.37 ^b	2.19 ^b	0.08
Insulin, pmol/L	241	276	278	32

¹Values are means and pooled SEM for 10 rats/dietary group. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

TABLE 1-6

Activities of malic enzyme, citrate cleavage enzyme, carnitine palmitoyltransferase and peroxisomal β -oxidation in liver of rats fed diet containing γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil) for 28 d.¹

	Control	GLA oil		Pooled SEM
		1.5%	4%	
Malic enzyme				
nmol/(min · mg protein)	27.2	25.3	30.3	2.4
μ mol/(min · g liver)	5.23	4.90	5.83	0.47
μ mol/(min · 100g body weight)	21.2	20.5	25.9	2.0
Citrate cleavage enzyme				
nmol/(min · mg protein)	28.4	27.9	30.8	1.9
μ mol/(min · g liver)	5.46	5.40	5.93	0.36
μ mol/(min · 100g body weight)	22.2	22.6	26.2	1.6
Carnitine palmitoyltransferase				
nmol/(min · mg protein)	6.20 ^b	7.84 ^a	8.35 ^a	0.48
μ mol/(min · g liver)	1.16 ^b	1.41 ^{a,b}	1.51 ^a	0.10
μ mol/(min · 100g body weight)	4.68 ^b	5.98 ^{a,b}	6.68 ^a	0.44
Peroxisomal β -oxidation				
nmol/(min · mg protein)	2.89 ^c	3.39 ^b	3.84 ^a	0.11
μ mol/(min · g liver)	0.539 ^c	0.608 ^b	0.685 ^a	0.018
μ mol/(min · 100g body weight)	2.18 ^c	2.55 ^b	3.02 ^a	0.09

¹Values are means and pooled SEM for 10 rats/dietary group. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

て G L A 油区で有意に高い値を示した。さらに、シアン非感受性の脂肪酸 CoA 酸化システムを有しているペルオキシソーム (51) の脂肪酸 β 酸化の活性は対照区と比べて 4% G L A 油区では 33% も高い値を示し、G L A 油の用量依存的な反応が観察された。

考 察

増体成績および屠体成分の結果から (TABLE 1-3, 4)、G L A 油区の増体量が劣ったのは主に屠体中の脂肪量の減少に起因し、それによって G L A 油区のラットは、飼料効率が低下していたと考えられる。飼料効率と屠体成分との間における似たような現象は、エストロジェンおよびアンドロジェンの前駆物質であるデヒドロエピアンドロジェン処理によっても観察されている (25, 97)。

G L A 油の消化率 (85.2%) は大豆油のそれ (96.6%) と比べて明らかに低かった。グリセロールとエステル結合している脂肪酸のカルボキシルエステルに近い二重結合は、トリグリセリドからの加水分解を阻害することが知られている (14, 37)。G L A は $\Delta 6$ 位に二重結合を有しており、これが大豆油と比べて G L A 油の消化率が低かった原因の一部かもしれない。また、G L A 油の微量成分であるエルゴステロールが G L A 油の消化率に影響を及ぼしているかもしれない。なぜならば、摂取されたエルゴステロールのほとんどは糞中に排泄されることが報告

されている(106)。

試験期間中における、飼料由来の吸収された総脂肪量は、対照区および4%GLA油区それぞれ37.2g/28日、34.6g/28日であり、その差は2.6g/日であった。この値は両試験区間における屠体中の脂肪含量の差(10.2g)と比べると、たとえ吸収された脂肪が完全に体内に保留されたと仮定しても、わずか25%である。したがってGLA油と大豆油の消化率の違いだけでは屠体中の脂肪量の差の一部しか説明できない。

肝臓におけるカルニチンパルミトイル転移酵素は、高脂肪食(44)、特に魚油(10,11)によって誘導されることが示されている。同様に、肝臓におけるペルオキシソームは、パルミトイルCoA依存性のNAD⁺還元(通常、ペルオキシソームβ酸化と呼ばれている)が高脂肪食によって促進されることが報告されている(44,68,105)。最近、Aarsland et al.(1)は高度に精製されたEPAが、肝臓におけるカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソームβ酸化活性を増大させることを明らかにした。さらに、Parrish et al.(79)は、ラード食のラットと比べて魚油食のラットでは脂肪量が減少することを観察した。

本実験において、GLA油摂取ラットでは、肝臓のカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソームβ酸化活性の上昇が観察された。さらにGLA油摂取ラットにおいては、体脂肪量の低下が見られた。これらの

結果より、GLA油は魚油と同様な生理機能を有しているようである。また、脂肪酸 β 酸化に関与する2種の酵素活性に対するGLA油の促進的作用は、肝臓における脂肪酸 β 酸化の亢進を示し、これによって体脂肪量が減少したことを示唆している。しかし、Awad et al. (5)は、魚油、サフラワー油および牛脂食を摂取したラットの間で、体脂肪量に差は認められなかったことを報告しており、魚油およびGLA油食によって発現される体脂肪低下作用のメカニズム解明には、さらに詳しい検討が必要であろう。

一方、脂肪酸合成系酵素である肝臓のリンゴ酸酵素およびクエン酸解裂酵素の活性は、GLA油摂取によって影響を受けないことが本実験より明らかとなった。このことより、GLA油は肝臓における脂肪酸合成には影響を及ぼさないものと思われた。

血漿中の総コレステロールの変化から、明らかにGLA油は大豆油よりも強いコレステロール低下作用を有することが示された (TABLE 1-5)。この結果は、従来の報告 (40, 93) と良く一致した。血漿中の遊離脂肪酸濃度は対照区と比べてGLA油区で有意に低下したが、これについては三つの可能性が考えられる。まず第一に、GLA油区においては肝臓での脂肪酸 β 酸化が亢進している；第二にGLA油区の体脂肪量が低いことから、脂肪組織から動員される遊離脂肪酸の総量が低下している；第三

に脂肪組織におけるリポリシス（脂肪分解）の速度が変化している、以上である。

本実験に用いられたGLA油にはトリグリセリド以外に微量の脂質成分を含んでおり、その主なものはエルゴステロールである。しかし経口投与されたエルゴステロールのほとんどは糞中に排泄される。一部体内に吸収されたものは代謝されてブラシカステロールに変換され、ビタミンDの生理活性を有しないとされている(106)。したがってエルゴステロールは脂質代謝に影響を及ぼさないものと思われる。しかしながら、GLAの有する体脂肪低下作用を確認するためには、純化したGLAを用いた、より直接的な実験が必要であろう。

本実験の結果より、GLA油摂取が、肝臓のカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソーム β 酸化活性を促進することによって体脂肪量を減少させると結論される。

第1章第2節

γ-リノレン酸油摂取が豚の背脂肪厚および脂肪酸分解酵素活性に及ぼす影響

要 約

本研究は、微生物由来でγ-リノレン酸を高濃度に含む油脂（GLA油）の摂取が、豚の背脂肪厚および肝臓における脂肪酸分解酵素の活性にどのような影響を与えるかについて検討を行った。脂肪酸組成としてγ-リノレン酸を25.3%含むGLA油を1日当たり90g肥育豚に与え、基礎飼料は自由摂取として6週間にわたる飼養試験を行った。対照区には1日当たり90gの大豆油を与えた。供試豚は体重約69kgのランドレース×大ヨークシャー×デュロックの3元雑種、去勢豚13頭とした。背脂肪厚は超音波測定器を用いて毎週測定した。試験終了時に豚を屠殺して肝臓を採取し、カルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソームβ酸化活性を測定した。飼養成績の結果は、増体量、飼料摂取量および飼料効率いずれもGLA区と対照区との間に差は認められなかった。背脂肪厚の増加量は両区ともに週の経過と供にほぼ直線的に増加したが、GLA油区がやや低い傾向を示し、試験終了の第6週ではGLA区が対照区に対して有意に低い値

を示した。肝臓におけるカルニチンパルミトイル転移酵素活性は、有意差は認められなかったもののGLA油区が対照区よりも高い傾向を示した。また、ペルオキシソーム β 酸化活性は、対照区に対してGLA油区で有意に高くなった。以上の結果より、肥育豚にGLA油を摂取させると背脂肪厚の増加量は抑制され、肝臓における脂肪酸分解酵素の活性は促進されるものと結論された。

結 言

豚肉に対する最近の消費者ニーズは、味だけでなく、健康重視のためのカロリー過剰摂取を防ぐという意味もあって、脂肪が少なく赤肉の多いものが好まれる。したがって低脂肪豚肉の生産が重要な研究課題となり、従来より多くの試みがなされてきた。たとえば①飼料摂取量を意図的に低下させる制限給餌、②低エネルギー含量飼料の給与、③蛋白質を多く給与して体内でのエネルギー消費を増大させ、脂肪蓄積量を低下させる高蛋白質飼料などである。しかし、制限給餌では豚房内のバラツキが大きく、制限が強すぎると発育が低下する。低エネルギー飼料では、豚は総エネルギー摂取量を満足しようとして飼料摂取量を増大させ、必ずしも低脂肪とはならず、結果的に飼料効率が低下する。また、高蛋白質飼料は飼料価格が高くなり、一方、環境汚染という視点からしても、糞尿への窒素排泄は当然増大するため、あまり

好ましくない。このように、いずれの手法もそれぞれ短所があり、有効な方法とは言い難い。新しい試みとしては、アメリカ、カナダを中心として豚成長ホルモン(58)、 β -アゴニスト(34)の利用が検討されている。しかしこれらは様々な問題を含んでいるため、いまだ実用化には至っていない。

第1章第1節では、 γ -リノレン酸を高濃度に含む油脂(GLA油)をラットに摂取させると体脂肪量は低下し、肝臓における脂肪酸 β 酸化に関与する酵素の活性が上昇することを明らかにした(102)。そこで、本研究では、実用家畜である豚においても、ラットと同様にGLA油摂取によって体脂肪が低下するかどうかについて検討を行った。

材料および方法

供試豚. 開始時体重約69kgの三元雑種(ランドレース×大ヨークシャー×デュロック)去勢豚13頭を3腹から選び対照区6頭、GLA油区7頭に分けた。

試験飼料. 基礎飼料の組成をTABLE 1-7に示した。GLA飼料は、GLA油90gをグルコース54g、 α -コーンスターチ36g、基礎飼料126gとともに混合し、GLA油の酸化を防ぐためBHT(500mg/kg)を添加して-20℃に貯蔵した。対照飼料はGLA油のかわりに大豆油を混合した。実験に用いたGLA油、大豆油は第1章第1節と同様の

TABLE 1-7

Composition of basal diet

	%
Corn	78.0
Soybean meal	12.7
Fish meal (CP 60%)	1.0
Alfalfa meal (dehydrated)	5.0
CaCO ₃	0.3
Ca ₃ (PO ₄) ₂	2.0
NaCl	0.5
Trace mineral premix ¹⁾	0.15
Vitamin A, D, E premix ²⁾	0.20
Vitamin B premix ²⁾	0.15

¹⁾ Trace mineral premix supplied the following in milligrams per kilogram of basal diet: Mn 120, Zn 75, Fe 9, I 1.5, Cu 0.9.

²⁾ Vitamin premix supplied the following per kilogram of basal diet: vitamin A 20000 I.U., vitamin D₃ 4000 I.U., dl- α -tocopherol 13 mg, thiamine 1.5 mg, riboflavin 10.5 mg, pyridoxine hydrochloride 0.75 mg, nicotinamide 9 mg, D-calcium pantothenic acid 16.4 mg, choline chloride 86.4 mg.

ものを用いた。

試験方法. 供試豚は1.8×2.6mの豚房で単飼して基礎飼料は不断給餌、自由飲水とした。GLA飼料および対照飼料は、毎朝フリーザーから取り出し、新鮮な基礎飼料の上に306g (GLA油あるいは大豆油として90g) ふりかけた。豚は甘いものを好む習性があるため、まず最初にGLA飼料あるいは対照飼料 (グルコースが含まれているため甘味がある) を数分以内で食べ、その後基礎飼料を食べるという摂食状態であった。試験期間は6週間として毎週、体重、飼料摂取量および背脂肪厚を測定した。背脂肪厚の測定は超音波測定器 (グラフィックグレイダー、英国メデータ社製) を用い、豚を鼻保定して測定を行った。測定部位は体長1/2部位の、正中線から脇へ2cm、4cmおよび6cmずれた3ヶ所とし、その平均値を背脂肪厚とした。試験終了後、対照区4頭、GLA区5頭を屠殺し、肝臓を採取して重量を測定し、その一部を分析に供するまで-70℃で貯蔵した。

酵素活性. -70℃で貯蔵していた肝臓を解凍し、250 mmol/Lのシュークロースバッファー (pH7.4、3mmol/L HEPPES、1mmol/L EDTAを含む) で、テフロン-ガラスホモジナイザーを用いてホモジナイズした。得られた10%ホモジネートを400g、10分間遠心し、その上澄をカルニチンバルミトイル転移酵素 (EC2.3.1.23) およびペルオキシソームβ酸化活性の測定に供した。カルニチンバルミトイ

ル転移酵素活性はBieberらの方法(12)によって測定したが、トリトンX-100は除き、L-カルニチンは8 mmol/Lとした。ペルオキシソーム β 酸化活性はLazarow and deDuveの方法(51)によった。ところで、いずれの酵素活性測定法も原著はラット肝臓を用いており、本実験では豚の肝臓のため、至適pHの確認を行った。その結果、両酵素ともに、豚の至適pHも、ラットのそれとほぼ同様の値を示したため、原著通りの条件で活性測定を行った。蛋白質の測定はLowry et al. (53)の方法によった。

統計処理. データは平均値 \pm SEMで示し、GLMプロシジャー(SAS, version 6.03)を用いて、飼料の違い、腹の違いを要因とする二元配置の分散分析を行った。なお、酵素活性については腹の違いに差は認められなかったため、込みにして飼料の違いのみを要因とする一元配置の分散分析を行った。結果は5%レベルで有意とみなした。

結 果

TABLE 1-8 に1日当たりの増体量、飼料摂取量および飼料効率(gain/feed)の結果を示す。増体量、飼料摂取量および飼料効率いずれも両試験区間に差は認められなかった。しかし飼料摂取量、飼料効率においては腹の違いに有意差が認められた。背脂肪厚の増加量の変化をFIGURE 1-1 に示す。背脂肪厚の増加量は両試験区ともに時間の経過と共にほぼ直線的に増加したがGLA油区の

方が低くなる傾向がみられ、試験終了の第6週目にはGLA油区は対照区に対して有意に低くなった。なお第5週目からは腹の違いに有意差が認められた。TABLE 1-9に肝臓におけるカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソーム β 酸化活性の結果を示す。カルニチンパルミトイル転移酵素活性は、統計的な有意差は認められなかったものの、GLA油区が対照区よりも高くなる傾向がみられた。同様にペルオキシソーム β 酸化活性においてもGLA油区が高くなる傾向がみられ、活性を蛋白質当たりの比活性[nmol/(min·mg protein)]で示すとGLA区は対照区と比較して有意に高くなった。

考 察

本実験の結果より、豚にGLA油を摂取させると背脂肪厚の増加が抑制されることが明らかとなった。このことは、第1章第1節におけるGLA摂取によるラットの体脂肪量の低下(102)とよく一致し、実用家畜においても低脂肪豚肉生産を目的としたGLA油の応用の可能性が示された。またラットの実験結果と同様に、豚においても肝臓におけるカルニチンパルミトイル転移酵素活性およびペルオキシソーム β 酸化活性がGLA油摂取によって誘導された。これより、背脂肪厚増加が抑制された要因の一つとして、体内での脂肪酸分解の促進が示唆された。

TABLE 1-8

Growth performance in pigs fed diets containing
 γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil)¹

	Control (n=6)	GLA oil (n=7)
Body weight gain g/d	1012±26	1014±31
Feed intake g/d	3567±94	3522±110
Feed efficiency gain/feed	0.286±0.009	0.289±0.008

¹Values are means ± SEM.

TABLE 1-9

Activity of carnitine palmitoyltransferase and peroxisomal
 β -oxidation in liver of pigs fed diet containing
 γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil)¹

	Control (n=4)	GLA oil (n=5)
Carnitine palmitoyltransferase		
nmol/(min · mg protein)	7.30±0.62	9.24±0.72
μ mol/(min · g liver)	1.39±0.10	1.69±0.19
μ mol/(min · kg body wt)	20.0±1.3	23.6±3.4
Peroxisomal β -oxidation		
nmol/(min · mg protein)	1.92±0.27 ^b	2.29±0.17 ^a
μ mol/(min · g liver)	0.368±0.025	0.433±0.017
μ mol/(min · kg body wt)	5.26±0.23	6.00±0.45

¹Values are means ± SEM

Values in the same row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

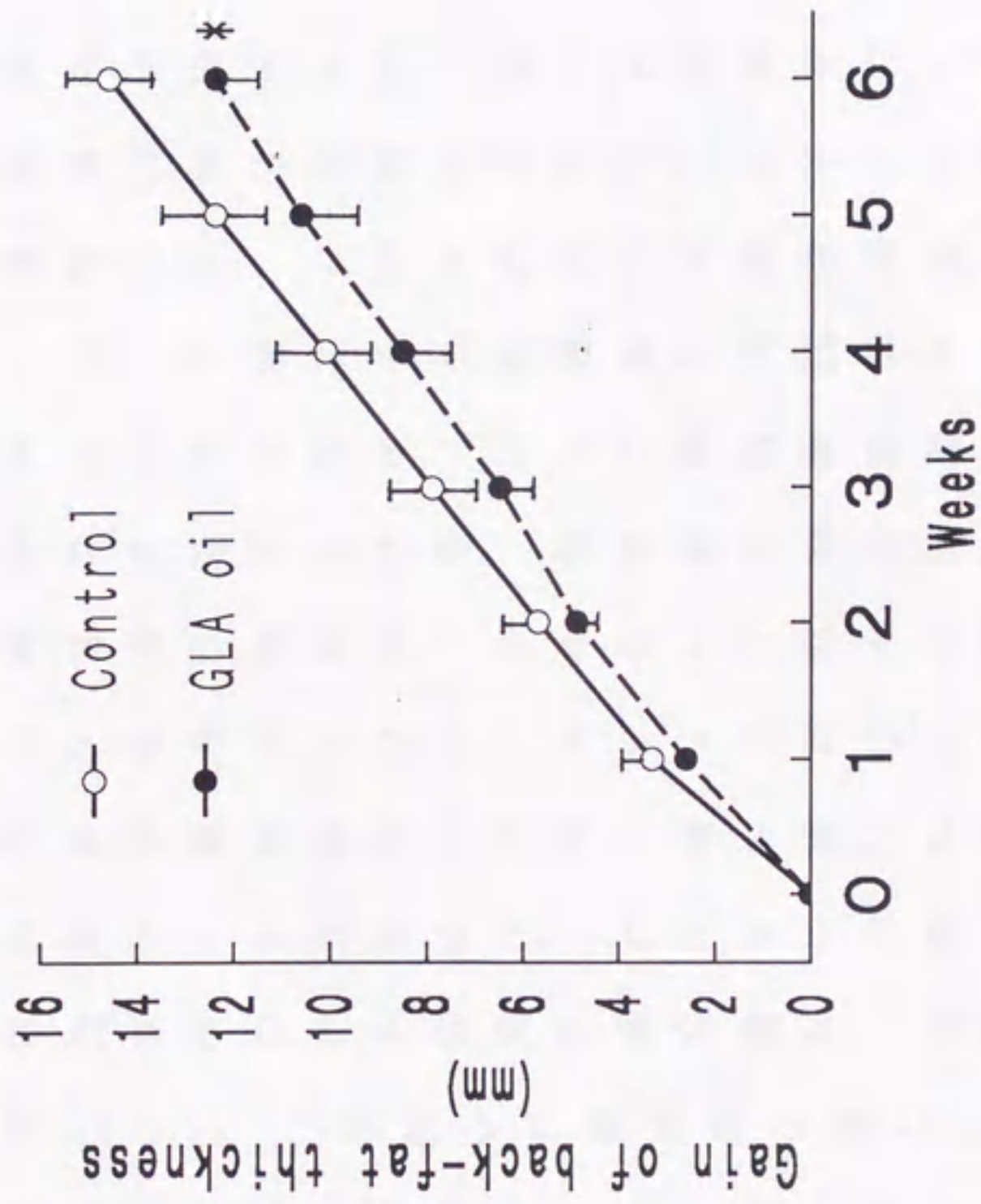


FIGURE 1-1 Gain of backfat thickness in pigs fed diet containing γ -linolenic acid-enriched oil (GLA oil).
 * Significantly different from the control ($P < 0.05$)

ところで豚の脂質代謝の特徴として、脂肪酸合成が行われる主な組織は肝臓ではなく脂肪組織であることがあげられる(29,76)。また実用飼料中の粗脂肪含量は約3%と低いにもかかわらず、屠体中の脂肪含量は30%以上に達し、豚は脂肪酸合成能がきわめて高く、脂肪を蓄積しやすい動物であると思われる。このような豚の脂質代謝の特徴を考慮すると、GLA油摂取により脂肪組織における脂質代謝が影響を受けているかもしれない。

本実験では、GLA油区の背脂肪厚増加量の結果から推定して、全屠体中の脂肪量は対照区と比べて低下しているものと思われる。しかし増体量は両試験区間で差は認められなかったため、脂肪減少量に応じてGLA油区では屠体中の蛋白質、水分あるいはその両方が増加していることが考えられる。ラットではGLA摂取により屠体中の脂肪量は減少したが、蛋白質および水分量に大きな変化はみられなかった。したがって屠体中の脂肪量の減少に応じてGLA油区の増体量は、対照区に対して低下した(102)。このように動物種の違いによって多少の脂肪蓄積の仕方に差が認められたが、詳しい原因は不明である。

ところで、本実験では飼料摂取量、飼料効率、背脂肪厚増加量において、腹の違いに有意差が認められた。一般に、豚は同一品種であっても遺伝的にかなりのバラツキが認められるとされており、本実験でもそれが確認で

きた。したがって実験動物として豚を栄養実験に供試する場合には腹の違いを十分考慮に入れて実験計画をたてる必要があると思われる。

結論として、GLA油摂取により、豚の背脂肪厚増加量は抑制され、肝臓における脂肪酸分解系酵素活性の上昇がその要因の一つであると思われる。

第 2 章

肥育豚に対する中鎖脂肪 (MCT) の栄養生化学 的機能の解明

第 2 章 第 1 節

中鎖脂肪給与が肥育豚の発育、消化率、背脂肪および脂 肪酸組成に及ぼす影響

要 約

体重約 60kg のランドレース種 15 頭を用い、中鎖脂肪 (MCT) および長鎖脂肪 (LCT、大豆油) を飼料中に 8% 添加して 4 週間の飼養試験を行った。発育、飼料の消化率、背脂肪厚、脂肪酸組成を測定し、以下の結果を得た。

1) 1 日当たりの飼料摂取量は対照区に対し、LCT 区、MCT 区で少ない傾向を示したが、逆に可消化エネルギー (DE) 摂取量はそれぞれ 8.0%、4.6% 多かった。1 日平均増体量は対照区の 850g に対し LCT 区で 9.3% 多かつ

たが、MCT区では差は認められなかった。その結果、飼料効率は対照区に対してLCT区で有意に高い値 ($P < 0.05$) を示し、MCT区においても有意ではなかったが、高い傾向がみられた。

2) LCTの消化率は92.4%であったが、MCTのそれは100%ときわめて良好であった。LCTおよびMCTのいずれの添加においても他の飼料成分の消化率に大きく影響は及ぼさなかった。しかし飼料摂取量と、LCTおよび粗蛋白質の消化率との間に有意 ($P < 0.05$) な負の相関関係が認められた。

3) 背脂肪厚は、カタ、セ、コシいずれの部位においてもLCT区が厚い傾向を示し、3部位平均値で、対照区の30.1mmに対しLCT区では32.4mmであった。しかしMCT区では対照区との差は認められなかった。

4) 背脂肪内・外層および腎脂肪の脂肪酸組成では、LCT区でリノール酸などの不飽和脂肪酸含量が有意に多く、飽和脂肪酸およびモノ不飽和脂肪酸が少なかった。しかしMCT区ではLCT区とは大きく異なり、飽和脂肪酸が多く、モノ不飽和脂肪酸が少なかった。

結 言

肥育豚の飼料に油脂を添加して飼料のエネルギー含量を高め、発育速度および飼料効率を高める試みは古くから行われている。しかし、一般に自然界に多く存在してい

る油脂は長鎖脂肪 (Long-chain triglycerides, LCT) であり、このエネルギーは赤肉生産や維持に動員される割合に対し、体脂肪として蓄積される割合が高い。したがって飼料にLCTを添加した時の発育速度の増加は、多くは脂肪蓄積に起因しており、その結果として厚脂による枝肉評価の低下を招くことになり易い。

近年、医学領域において、中鎖脂肪 (Medium-chain triglycerides, MCT) の応用が検討され (6, 7)、特に栄養補給法としての経腸栄養剤および静脈栄養剤が注目されている (47)。MCTとは、6~12の炭素鎖長からなる飽和脂肪酸のトリグリセリドのことをいい、一般にココナッツ油から精製される。その特徴は、①胆汁、膵液がなくても消化・吸収される、②吸収時にカイロミクロンを形成する必要がない、③リンパ管を通らず門脈経由で吸収される、④ミトコンドリア内膜の通過時にカルニチンを必要としないで、直接内部に入る、⑤多くはエネルギー源としてすみやかに酸化分解される、などである。

このような特徴を有するMCTに対し、養豚分野においても、新生子豚や離乳子豚への投与効果が報告されている (2, 9, 19, 69)。しかし肥育豚へのMCT給与の報告は見られない。そこで本研究では、肥育豚に対するMCT給与の影響を明らかにすることを目的として飼養試験を行い、消化率、背脂肪厚、脂肪酸組成について検討を行った。

材料および方法

供試豚. 129日齢のランドレース種の去勢豚9頭と雌豚6頭の計15頭を供試し、各試験区に去勢豚3頭と雌豚2頭の5頭を配した。15頭の試験開始時の体重は 59.6 ± 0.9 kg (平均値 \pm 標準誤差)であった。

試験飼料. 基礎飼料として旧産肉能力検定飼料 (TDN 70.3%, DCP 12.7%)を用いた対照区、基礎飼料の8%を大豆油で置換したLCT区および中鎖脂肪 (C8:0 85%, C10:0 15%の脂肪酸組成をもつトリグリセリド、花王(株)、和歌山研究所)で置換したMCT区の計3試験区を設けた。試験飼料の配合割合および化学組成をTABLE 2-1, 2に示す。

試験方法. 供試豚は 1.8×2.6 mの豚房で単飼して不断給餌、自由飲水とした。試験期間は4週間として毎週、体重および飼料摂取量を測定した。各試験飼料には酸化クロムを0.1%添加し、試験開始後第2週目に3日間採糞を行い、酸化クロム指標による飼料の消化率を測定した。採取した糞は、60°Cで24時間乾燥後、風乾し、微粉碎した後、各成分の分析に供した。

飼養試験終了後、供試豚を屠殺し、24時間冷蔵庫内で放冷の後、豚産肉能力検定の示す方法(70)により、左半丸の3部位(カタ、セ、コシ)の背脂肪厚を測定し、第8~9胸椎部の皮下脂肪内・外層の正中から約5cmにわたる部

TABLE 2-1

Composition of diets (%)

Ingredient	Control	LCT	MCT
Corn	22.0	} 92.0	} 92.0
Barley	22.0		
Milo	22.0		
Soybean meal (CP46%)	9.0		
Rice bran	4.0		
Wheat bran	12.0		
Fish meal (CP60%)	4.0		
Alfalfa meal (dehydrated)	2.5		
CaCO ₃	0.7		
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.8		
NaCl	0.5		
Trace mineral premix ¹⁾	0.15		
Vitamin A, D, E premix ²⁾	0.15		
Vitamin B premix ²⁾	0.1		
DL-methionine	0.1		
LCT (soybean oil)	-	8.0	-
MCT ³⁾	-	-	8.0

¹⁾ Trace mineral premix supplied the following in milligrams per kilogram of control diet : Mn 120, Zn 75, Fe 9, I 1.5, Cu 0.9.

²⁾ Vitamin premix supplied the following per kilogram of control diet : vitamin A 15000 I.U., vitamin D₃ 3000 I.U., dl- α -tocopherol 10 mg, thiamine 1 mg, riboflavin 7 mg, pyridoxine hydrochloride 0.5 mg, nicotinamide 6 mg, D-calcium pantothenic acid 10.9 mg, choline chloride 57.6 mg.

³⁾ Coconard MT (Kao Corporation, Wakayama, Japan. C8:0 85%, C10:0 15%).

TABLE 2-2

Chemical composition of the diets

	Control	LCT	MCT
Moisture (%)	8.9	9.2	10.0
Crude protein (%)	15.8	14.9	14.9
Ether extract (%)	3.5	11.5	10.4
Ash (%)	5.2	4.8	4.8
Gross energy (MJ/kg)	16.7	18.9	18.8

位の脂肪と腎脂肪を採取し、脂肪酸組成を分析した。

分析. 粗蛋白質を除く一般成分の分析は常法(60)によった。粗蛋白質の分析は、試料を硫酸分解した後テクニコンオートアナライザーIIで窒素を測定し、6.25を乗じて求めた。酸化クロムの定量は、時間を短縮し、測定誤差を少なくするため、吉田らのリン酸カリ法(113)を一部変更して行った。すなわち、試料(飼料0.6g、糞0.3g)およびリン酸カリ試薬をルツボ内でよく混合した後、予備灰化し、マッフル内(820℃)で30分間反応させた。放冷後、内容物を十分量の蒸留水で洗い出して定容(250mL)とし、その一部を3,000回転/分、20分間遠心分離した。得られた上澄を370nmで比色定量した。同様な方法で求めた濃度既知の酸化クロムの標準線を基準にして酸化クロム濃度を算出した。総エネルギーの分析は自動熱量計(島津製作所、CA-3P型)で行った。脂肪酸組成の測定は千国らの方法(22)により行った。すなわち、皮下脂肪を厚さ約1mmのスライスとし、外層と内層を分離、腎脂肪はそのまま、それぞれ約100mgの小片とした。これを無水硫酸ナトリウム約500mgと磨砕し、クロロホルム10mLで脂肪を抽出した。溶媒を減圧除去後、0.5Nナトリウムメチラートでメチル化し、ガスクロマトグラフィーで測定した。使用した機種はShimazu GC-9Aで、運転条件はChristopher and Glassの方法(24)で行った。測定値はカプリン酸(C10:0)、ミリスチン酸(C14:0)、パルミチン酸(C16

:0)、パルミトレイン酸 (C16:1)、ステアリン酸 (C18:0)、オレイン酸 (C18:1)、リノール酸 (C18:2)、リノレン酸 (C18:3)の合計を100として重量%で示した。

結 果

TABLE 2-3に飼養成績の結果を示す。1日平均増体量は対照区の850gに対してLC T区は929gと高い傾向を示した。一方、M C T区のそれは843gであり、対照区との差は認められなかった。1日平均飼料摂取量は、対照区の3.01kgに対し、LC T区では2.80kgと少ない傾向を示し、さらにM C T区は2.68kgと低い値を示した。飼料効率(増体量/飼料摂取量)においては対照区の28.6%に対し、LC T区では33.1%と有意($P < 0.05$)に高い値を示し、M C T区においても31.4%と有意ではないが高くなる傾向を示した。

TABLE 2-4に試験飼料の消化率を示す。粗脂肪の消化率は対照区に対し、LC T区、M C T区いずれも有意($P < 0.001$)に高い値となった。そこで飼料に添加したLC TおよびM C Tそのものの粗脂肪の消化率を算出するとTABLE 2-5で示す値となり、特にM C Tのそれは100%ときわめて優れていた。粗蛋白質および総エネルギーの消化率はM C T区でわずかに高くなる傾向が見られた。乾物の消化率は各試験区で差は認められなかった。

背脂肪厚の結果をTABLE 2-6に示す。LC T区において

はカタ、セ、コシいずれの部位においても対照区に対し厚い傾向がみられ、3部位平均では対照区の30.1mmに対してLCT区のそれは32.4mmであった。一方、MCT区においてはいずれの3部位においても対照区とほとんど差はみられなかった。

背脂肪外層、内層および腎脂肪の脂肪酸組成をそれぞれTABLE 2-7, 8, 9に示す。背脂肪外層の脂肪酸組成において、LCT区では対照区に対して有意($P < 0.01$)にC16:0、C16:1、C18:1が少なく、C18:2が多く、飽和/不飽和脂肪酸(S/U)比は低い値となった。MCT区では飽和脂肪酸が多い傾向がみられ、不飽和脂肪酸総量が少なく、S/U比は対照区に対し高い値を示した。背脂肪内層においては、LCT区で対照区に対して有意($P < 0.01$)にC16:0、C16:1、C18:1、飽和脂肪酸総量は少なく、C18:2、C18:3は多く、S/U比は低い値($P < 0.01$)となった。MCT区では対照区に対し、C18:0および飽和脂肪酸総量が有意($P < 0.05$)に多く、C18:1の少ない傾向を示し、S/U比は高くなった($P < 0.05$)。腎脂肪の脂肪酸組成においても皮下脂肪外・内層のそれと似た傾向を示した。なお、MCT区においては、いずれの3部位においても本来豚の脂肪にはほとんど存在しないC10:0が、わずかではあるが検出された。しかし本実験で用いたMCTのうち85%も占めるC8:0は検出されず、C8:0は直接脂肪組織に蓄積されることはないものと思われた。

TABLE 2-3

Effects of feeding MCT and LCT on the daily weight gain, feed intake and feed efficiency in growing pigs.

	Control	LCT	MCT
Daily weight gain (g/day)	850±43 ¹⁾	929±79	843±61
Daily feed intake (g/day)	3010±230	2800±200	2680±140
Feed efficiency (gain/feed, %)	28.6±1.4	33.1±1.0*	31.4±1.6

¹⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

* Significantly different from the control at P<0.05.

TABLE 2-4

Effects of feeding MCT and LCT on the digestibility (%) in growing pigs

	Control	LCT	MCT
Crude protein	73.8±1.4 ¹⁾	74.5±0.7	76.1±1.1
Ether extract	64.1±2.1	84.3±0.8***	89.7±0.4***
Dry matter	79.6±0.6	79.4±0.5	80.6±0.7
Gross energy	78.7±0.6	80.7±0.5	82.4±0.6

¹⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

*** Significantly different from the control at P<0.001.

TABLE 2-5		
Digestibility (%) of LCT and MCT in growing pigs		
	LCT (Soybean oil)	MCT
Digestibility (Ether extract)	92.4 ± 1.2 ¹⁾	100.0 ± 0.5

¹⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

TABLE 2-6			
Effects of feeding MCT and LCT on the back-fat thickness (mm) in growing pigs			
	Control	LCT	MCT
Shoulder	37.6 ± 1.5 ¹⁾	39.6 ± 1.8	38.4 ± 1.0
Midback	20.6 ± 1.0	23.0 ± 0.8	21.0 ± 2.4
Loin	32.2 ± 1.4	34.6 ± 1.6	31.8 ± 2.3
Mean	30.1 ± 1.1	32.4 ± 1.3	30.4 ± 1.8

¹⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

TABLE 2-7

Fatty acid composition (%) of the outer back-fat layer

Fatty acid	Control	LCT	MCT
10:0	ND ¹⁾	ND	0.3 ± 0
14:0	1.3 ± 0 ²⁾	1.2 ± 0	1.5 ± 0 ^{***}
16:0	23.3 ± 0.4	20.6 ± 0.6 ^{**}	23.9 ± 0.5
16:1	2.9 ± 0.2	2.1 ± 0.1 ^{**}	2.6 ± 0.2
18:0	11.9 ± 0.8	11.1 ± 0.6	14.4 ± 0.7
18:1	46.8 ± 0.9	39.7 ± 1.0 ^{**}	45.0 ± 0.7
18:2	12.9 ± 1.3	23.4 ± 1.6 ^{**}	11.6 ± 0.7
18:3	0.9 ± 0.1	1.8 ± 0.6	0.7 ± 0.1
Total saturated	36.5 ± 1.2	33.0 ± 1.2	40.1 ± 1.2
S/U Ratio ³⁾	0.58 ± 0.08	0.49 ± 0.03	0.67 ± 0.04

¹⁾ Not detected.

²⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

^{***}Significantly different from the control at P<0.01 and P<0.001, respectively.

³⁾ Saturated/Unsaturated Ratio

TABLE 2-8

Fatty acid composition (%) of the inner back-fat layer

Fatty acid	Control	LCT	MCT
10:0	ND ¹⁾	ND	0.3 ± 0
14:0	1.3 ± 0 ²⁾	1.2 ± 0	1.5 ± 0
16:0	25.1 ± 0.3	22.1 ± 0.4 ^{***}	25.7 ± 0.4
16:1	2.2 ± 0.1	1.7 ± 0.1 ^{**}	2.0 ± 0.1
18:0	15.7 ± 0.5	14.0 ± 0.9	18.2 ± 0.7*
18:1	44.1 ± 0.8	37.9 ± 1.1 ^{**}	41.9 ± 0.6
18:2	10.9 ± 1.1	21.2 ± 1.4 ^{***}	9.7 ± 0.5
18:3	0.7 ± 0.1	1.9 ± 0.2 ^{**}	0.8 ± 0.1
Total saturated	42.1 ± 0.7	37.3 ± 1.2 ^{**}	45.6 ± 1.0*
S/U Ratio ³⁾	0.73 ± 0.05	0.60 ± 0.03 ^{**}	0.84 ± 0.03*

¹⁾ Not detected.

²⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

***Significantly different from the control at P<0.05, P<0.01 and P<0.001, respectively.

³⁾ Saturated/Unsaturated Ratio

TABLE 2-9

Fatty acid composition (%) of the leaf fat

Fatty acid	Control	LCT	MCT
10:0	ND ¹⁾	ND	0.4 ± 0
14:0	1.4 ± 0.2 ²⁾	1.3 ± 0	1.6 ± 0.1*
16:0	27.3 ± 0.2	24.2 ± 0.3***	27.3 ± 0.3
16:1	2.1 ± 0.2	1.4 ± 0.1***	1.8 ± 0.1
18:0	18.9 ± 0.6	17.5 ± 0.7	22.1 ± 0.7**
18:1	40.3 ± 0.7	34.0 ± 0.7***	37.1 ± 0.4**
18:2	9.3 ± 0.4	19.6 ± 1.1***	8.9 ± 0.5
18:3	0.7 ± 0.1	1.9 ± 0.3**	0.8 ± 0.1
Total saturated	47.6 ± 0.6	43.0 ± 1.0**	51.4 ± 0.8**
S/U Ratio ³⁾	0.91 ± 0.02	0.76 ± 0.03**	1.06 ± 0.04**

¹⁾ Not detected.

²⁾ Values are means ± SEM for 5 pigs.

***Significantly different from the control at P<0.05, P<0.01 and P<0.001, respectively.

³⁾ Saturated/Unsaturated Ratio

考 察

飼料摂取量および飼料の消化率の結果から、1日当りのDE摂取量を算出すると対照区の 39.5 ± 2.8 (MJ/日)に対し、LCT区 42.7 ± 2.8 、MCT区 41.5 ± 2.2 となり、LCT区が最も高く、次いでMCT区となり対照区が最も低い値を示した。このDE摂取量の結果に対応して、1日平均増体量はLCT区で高い傾向がみられたが、MCT区では対照区とほぼ同じ値を示した。同様に背脂肪厚においてもLCT区において厚い傾向がみられ、対照区、MCT区では差は認められなかった。Geliebter et al. (33)はラットを用いた実験において、LCT摂取ラットに対し、MCT摂取ラットでは増体量の減少がみられ、その差は脂肪蓄積量の差によるとしている。豚を用いた本実験においても、LCT区とMCT区との間の増体量の差は、背脂肪厚の結果から推定して、脂肪蓄積量の差に起因している可能性が高い。

MCT区では対照区に対しDE摂取量が高い傾向を示したにもかかわらず、1日増体量および背脂肪厚の増加傾向がみられなかった。この理由として二つ考えられ、第一にMCT区で認められた程度のDE摂取量の増加では増体量、背脂肪厚への影響を精度的に検出できない可能性が考えられる。第二に、摂取したMCTは体内で酸化されやすく蓄積されにくいという性質から一部説明できるかもしれない。

ところでMCT区の飼料摂取量は対照区の89%であり、しかもこのうち8%は蛋白質を含まないMCTであったため、1日当りの蛋白質摂取量は、対照区の476gに対しMCT区のそれは399gと約84%であった。この蛋白質摂取量は日本飼養標準(72)の1日当り蛋白質要求量を上回っているため、飼養成績には影響はないと思われる。しかし蛋白質摂取量の違いが背脂肪厚に影響を与えている可能性は否定できない。したがって蛋白質摂取量をほぼ等しくした場合に、対照区とMCT区での背脂肪厚がどう変化するか、今後の検討が必要と思われる。

基礎飼料中の粗脂肪の消化率がMCT区、LCT区のそれに対して有意に低かった一因として、この消化率は見かけの消化率であり、飼料中含量が低かった(3.5%対10.4%および11.5%)ため、内因性部分の影響が大きかったことが考えられる。添加したMCTの消化率は約100%と計算され、これはラットにおけるMCTの消化率(99%)(48)とほぼ等しく、豚においてもMCTの消化率はきわめて良好であることが明らかとなった。一方、LCTの消化率は、92.4%と計算され、日本標準飼料成分表(73)の植物油の消化率(96%)と比較すると4%ほど低い値であった。ところで、飼料摂取量の増加に伴い、消化率は低下することが報告されている(85, 94, 95)。そこで本実験におけるLCTの消化率が低かった原因を明らかにするため、個体ごとの飼料摂取量(採糞直前の1週間の飼料摂

取量) と L C T、M C T の消化率の関係を FIGURE 2-1 に示す。同様に飼料摂取量と粗蛋白質の消化率との関係を FIGURE 2-2 に示す。FIGURE 2-1, 2 から明らかなように、L C T および粗蛋白質の消化率は飼料摂取量と有意 ($P < 0.05$) な負の相関が認められた。これより本実験における L C T の消化率が低かったのは、自由摂取による飼料摂取量の増加が原因と思われた。また、このことは通常肥育の自由摂取の条件下では、特に去勢豚においては、過食に起因する消化率の低下が起きることを示唆している。一方、FIGURE 2-1 より M C T の消化率は飼料摂取量とは無関係であることが明らかである。一般に、飼料摂取量の増加に伴う消化率低下の主な原因は、飼料の消化管内通過速度の増大とされている。したがって M C T は、FIGURE 2-1 の結果より、飼料摂取量の増加によって消化管内通過速度が速まったとしても、速やかに消化吸収されるものと思われた。

TABLE 2-7, 8, 9 で示すように、脂肪酸組成においては、いずれの部位においてもほぼ同様の結果となった。すなわち L C T 区では外因性の不飽和脂肪酸 (C18:2, C18:3) が多く、飽和脂肪酸およびモノ不飽和脂肪酸が少なかった。これは従来より知られている現象とよく一致し、飼料中に添加した L C T の多くは脂肪組織に直接取り込まれて蓄積されるものと思われた。一方、M C T の添加により、飽和脂肪酸が増加し、逆にモノ不飽和脂肪酸が減少した。

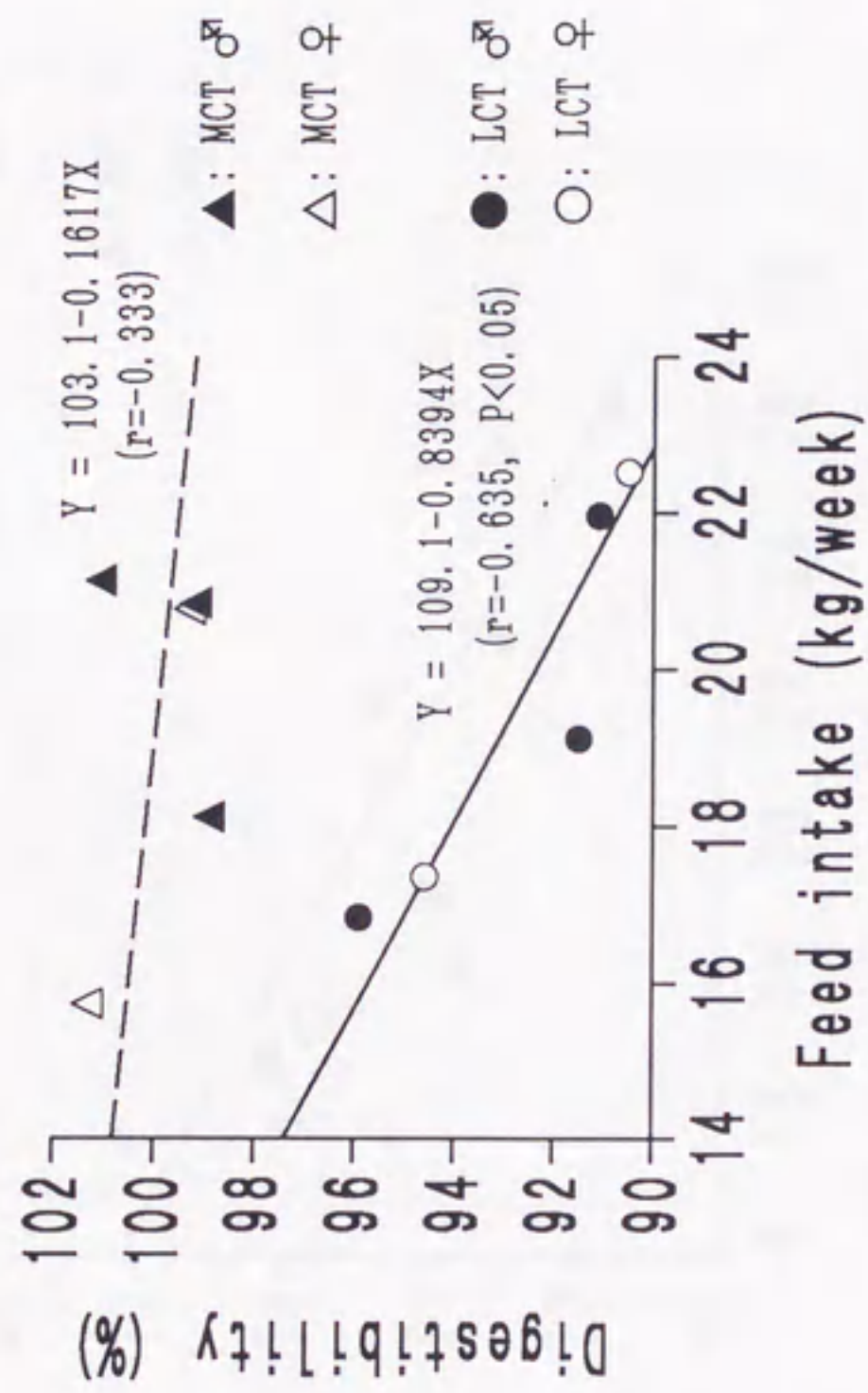


FIGURE 2-1 Correlation between feed intake and LCT or MCT digestibilities.

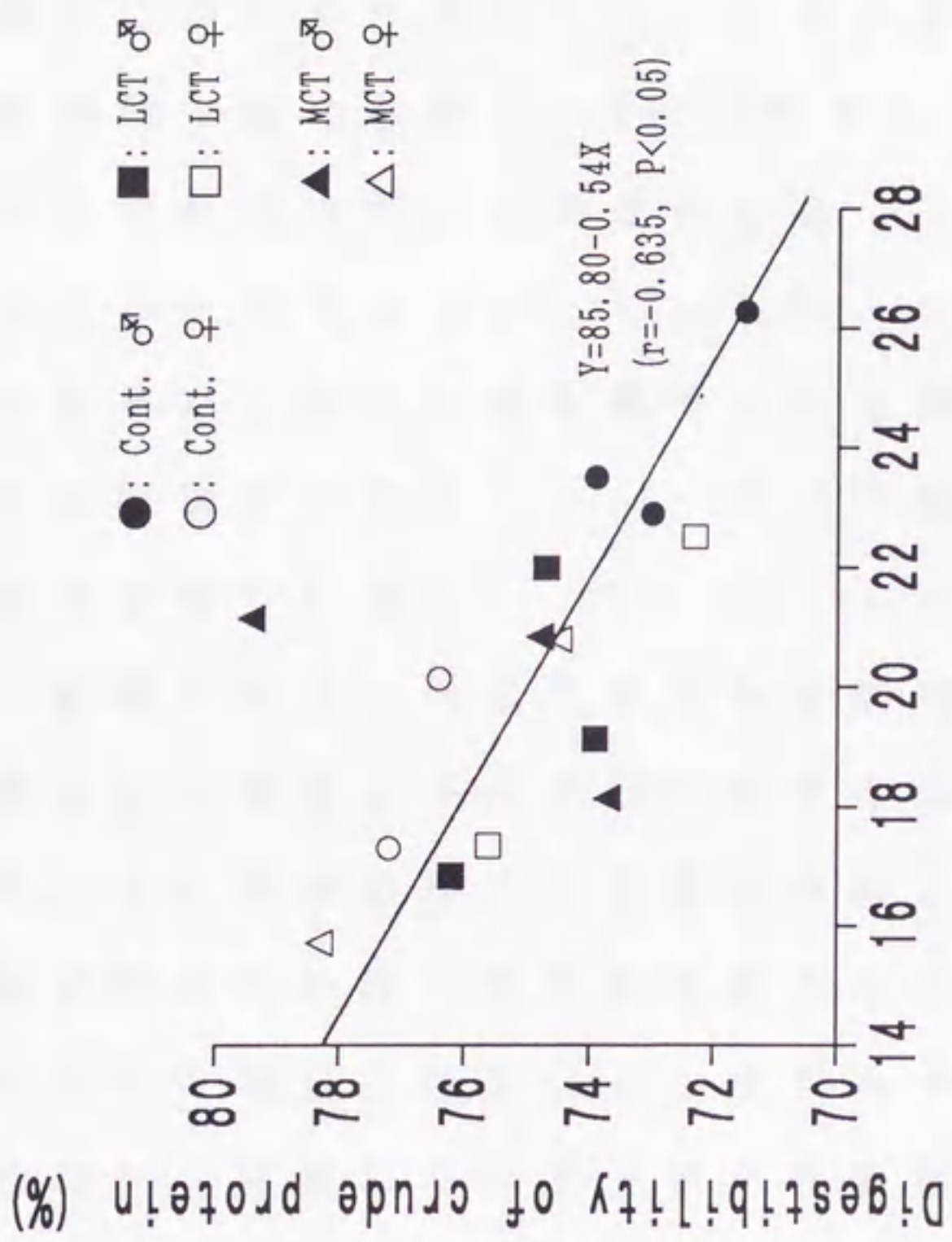


FIGURE 2-2 Correlation between feed intake and crude protein digestibility.

対照区およびMCT区における、C18:0とC18:1を加えた値はほぼ等しくなっており、体内での脂肪酸合成の程度は両区で大きく違わないものと思われる。したがってこのようなMCT区での脂肪酸組成の変化は、C18:0からC18:1への体内での不飽和化をMCTが直接的あるいは間接的に抑える作用をもつことを示唆している。ところで本実験で認められた、C18:0が増加しC18:1が減少するという現象はカボック粕添加によっても引き起こされることが示されている(38, 42, 43, 50, 107)。またMCTの原料であるココナツ油を給与すると硬い脂肪が作られることも報告されており(13)、MCTは軟脂豚対策に有効であるかもしれない。

結論として、MCTの添加は飼料摂取量を減少させ、増体には影響を与えず飼料効率を改善する傾向がみられた。また背脂肪厚には影響を及ぼさず、飽和脂肪酸の増加が認められ硬い脂肪を生産する可能性が示された。このようにMCTはLCTとは明らかに異なる性質を有しており、養豚において、様々な場面での応用が期待される。

第2章第2節

中鎖脂肪摂取が肥育豚の背脂肪厚およびその脂肪酸組成へ及ぼす影響

要 約

本研究は、MCT摂取による肥育豚の背脂肪厚への影響をより詳細に検討するとともに、その脂肪酸組成への影響についても明らかにすることを目的とした。MCTおよび長鎖脂肪（LCT、大豆油）の飼料中含量は8%とし、対照区は脂肪無添加とした。第2章第1節で、MCT摂取により飼料摂取量が低下することが明らかとなったので、本実験では飼料中の蛋白質含量を調整して各試験区の蛋白質摂取量が等しくなるようにした。体重約64kgのランドレース種、去勢肥育豚15頭を用いて4週間の飼養試験を行った。背脂肪厚は体長1/2部位の、脇へ2, 4, 6cmずれた3ヶ所を超音波測定器を用いて毎週測定した。飼養試験の結果、増体量はLCT区が高くなる傾向がみられ、飼料摂取量はMCT区、LCT区が少なくなる傾向が認められた。その結果、飼料効率是对照区と比べてMCT区およびLCT区で有意 ($P < 0.05$) に改善された。背脂肪厚はいずれの試験区においてもほぼ直線的に増加したが、その増加量是对照区に対してLCT区で有意に

高く、逆に M C T 区では有意に低くなった。背脂肪内層の脂肪酸組成は、対照区に対して M C T 区では飽和脂肪酸が多く、L C T 区ではリノール酸が多くなった。背脂肪内層の融点は L C T 区が最も低く、対照区、M C T 区の順で高くなった。これは脂肪酸組成の結果を良く反映していた。以上の結果より、M C T 摂取により肥育豚の背脂肪厚増加量の低下、背脂肪内層の飽和脂肪酸の上昇が観察され、いわゆる低脂肪で硬い脂肪の豚肉が生産されることが明らかとなった。

結 言

M C T の有する特異的な性質から、医学領域においての M C T の応用が検討され (6, 7) また養豚分野においても新生子豚や離乳子豚への投与効果が報告されている (2, 9, 19, 69)。ところで、体脂肪蓄積に関しては、ラットに M C T を給与すると、L C T を給与したラットと比較して体脂肪量が低下することが報告されている (33)。第 2 章第 1 節で肥育豚に M C T を摂取させたところ、背脂肪厚に対照区との差は認められなかった (101)。しかし、この時、飼料摂取量が M C T 区で低下しており、さらに飼料中の蛋白質含量は M C T を添加した量 (8%) だけ M C T 飼料では低くなり、1日当たりの蛋白質摂取量は対照区のそれと比べて M C T 区では約 84% であった。ところで、蛋白質摂取量が体脂肪含量に影響を及ぼすことはよく知ら

れており(17, 27)、したがってMCT摂取による背脂肪厚への影響をより詳しく検討するためには、蛋白質摂取量を等しくする必要がある。第2章第1節で、MCT摂取によってどの程度飼料摂取量が低下するかが明らかになったので、本実験においてはそれを考慮して飼料中の蛋白質含量を高め、蛋白質摂取量が各試験区ともほぼ一定になるようにして4週間の飼養試験を行った。合わせてビタミン、微量ミネラルについても蛋白質と同様に調整を行った。背脂肪厚の測定については、超音波測定器を用いて1週間ごとに行い、その増加量の経時変化が明らかになるようにした。また飼養試験終了時に背脂肪内層組織を採取して脂肪酸組成を測るとともに、その融点も測定した。

材料および方法

供試豚. 体重約64kgのランドレース種去勢豚15頭を各試験区5頭ずつの3試験区に分けた。

試験飼料. 試験飼料の組成をTABLE2-10に示す。LCT(大豆油)およびMCTの添加量は8%とした。LCT飼料およびMCT飼料には、第2章第1節の結果から予想される飼料摂取量の低下に応じて濃縮ダイズ蛋白質をそれぞれ3%および4%添加した。ビタミンおよび微量ミネラルについても蛋白質と同様に調整した。

試験方法. 供試豚は1.8×2.6mの豚房で単飼して不断

TABLE 2-10

Composition of diets (g/kg)

Ingredient	Control	LCT	MCT
Corn	780.0	693.3	685.1
Soyabean meal	127.0	112.9	111.6
Fish meal	100.0	89.0	88.0
Alfalfa meal (dehydrated)	50.0	44.4	43.9
CaCO ₃	3.0	2.7	2.6
Ca ₃ (PO ₄) ₂	20.0	17.8	17.6
NaCl	5.0	4.4	4.4
Trace mineral premix ¹⁾	1.5	1.7	1.8
Vitamin A, D, E premix ²⁾	2.0	2.2	2.4
Vitamin B premix ³⁾	1.5	1.7	1.8
Soya protein (CP 85%) ⁴⁾	-	30.0	40.0
LCT (soybean oil)	-	80.0	-
MCT ⁵⁾	-	-	80.0

¹⁾ Trace mineral premix containing (g/kg) : Mn 50, Fe 50, Cu 10, Zn 60, I 1.

²⁾ Vitamin A, D, E premix containing (I.U. or mg/g) : vitamin A 10000 I.U., vitamin D₃ 2000 I.U., dl- α -tocopherol 10 mg.

³⁾ Vitamin B premix containing (g/kg) : thiamine nitrate 1, riboflavin 7, pyridoxine hydrochloride 0.5, nicotinamide 6, D-calcium pantothenate 10.9, choline chloride 57.6.

⁴⁾ Ajipron Z (Ajinomoto Co., Tokyo, Japan).

⁵⁾ Coconard MT (Kao Co., Wakayama, Japan. C8:0 85%, C10:0 15%).

給餌、自由飲水とした。試験期間は4週間として毎週、体重、飼料摂取量および背脂肪厚を測定した。背脂肪厚の測定は超音波測定器（英国メディータ製）を用い、豚は鼻保定して測定を行った。測定部位は体長1/2部位の、正中線から脇へ2cm、4cmおよび6cmずれた3ヶ所とし、その平均値を背脂肪厚とした。試験終了後、屠殺し、背脂肪厚測定部位の背脂肪内層組織を採取して、その脂肪酸組成および融点を測定した。また肝臓重量も測定した。

分析. 脂肪酸組成の測定は第2章第1節と同様に行った。融点の測定は上昇融点法によった。可消化エネルギー（DE）摂取量の算出は、基礎飼料13.7MJ/kg(101)、MCT 33.9MJ/kg(101)、LCT 36.9MJ/kg(101)、濃縮ダイズ蛋白質13.5MJ/kg(73)の数値を用いて行った。

統計処理. 結果は平均値とPooled SEMで示した。データはGLMプロシジャー（SAS, version 6.03）を用いて分散分析を行った。処理効果に有意差が認められた時、処理区間の有意差検定はLeast significant differenceによって行った。結果は5%レベルで有意とみなした。

結 果

TABLE 2-11に飼養成績および肝臓重量の結果を示す。増体量はいずれの試験区においても有意差は認められなかったが、LCT区が高くなる傾向がみられた。飼料摂取量は第2章第1節の結果とほぼ同様で、MCT区が最

も少なく、次いでLCT区、対照区の順であったが各試験区間に有意差は認められなかった。その結果、飼料効率（増体量／飼料摂取量）はLCT区が最も高く、次いでMCT区、対照区の順となり、各試験区間で有意差が認められた。DE摂取量はLCT区でやや多くなる傾向がみられた。実験開始時の予測通りに飼料摂取量の低下がLCT区、MCT区で認められたため、飼料中の蛋白質含量が異なるにもかかわらず、各試験区の蛋白質摂取量はほぼ同じであった。肝臓重量はMCT区でやや重くなる傾向がみられた。

FIGURE 2-3に背脂肪厚増加量の経時変化の結果を示す。この図より、いずれの試験区においてもほぼ直線的に背脂肪厚が増加していくことが分かった。LCT区の背脂肪厚増加量は対照区のそれに対して2週目あたりから有意に高くなった。逆にMCT区においては対照区と比較して3週目から有意に低くなった。試験終了時には、背脂肪厚増加量はLCT区が最も高く、次いで対照区、MCT区の順となり、それぞれの試験区間には有意差が認められた。

TABLE 2-12に背脂肪内層の脂肪酸組成および融点を示す。対照区と比べてMCT区における背脂肪内層の脂肪酸組成は、C18:1が有意に低く、逆にC18:0は高くなる傾向がみられた。またMCT区では飼料由来と思われるC10:0がわずかではあるが存在していた。これらの結果よ

TABLE 2-11

Growth performance and liver weight in pigs fed LCT and MCT diets¹⁾

	Control	LCT	MCT	Pooled SEM
Body weight gain (g/d)	917	1048	900	66
Feed intake (g/d)	3312	3139	2973	162
DE intake ²⁾ (MJ/d)	45.6	48.9	45.6	2.5
Protein intake (g/d)	468	477	473	24
Feed efficiency (gain/feed, %)	27.6 ^c	33.3 ^a	30.3 ^b	0.9
Liver weight (g/kg body wt)	16.5	16.7	18.6	0.9

¹⁾ Values are means and pooled SEM.

²⁾ DE=digestible energy.

Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

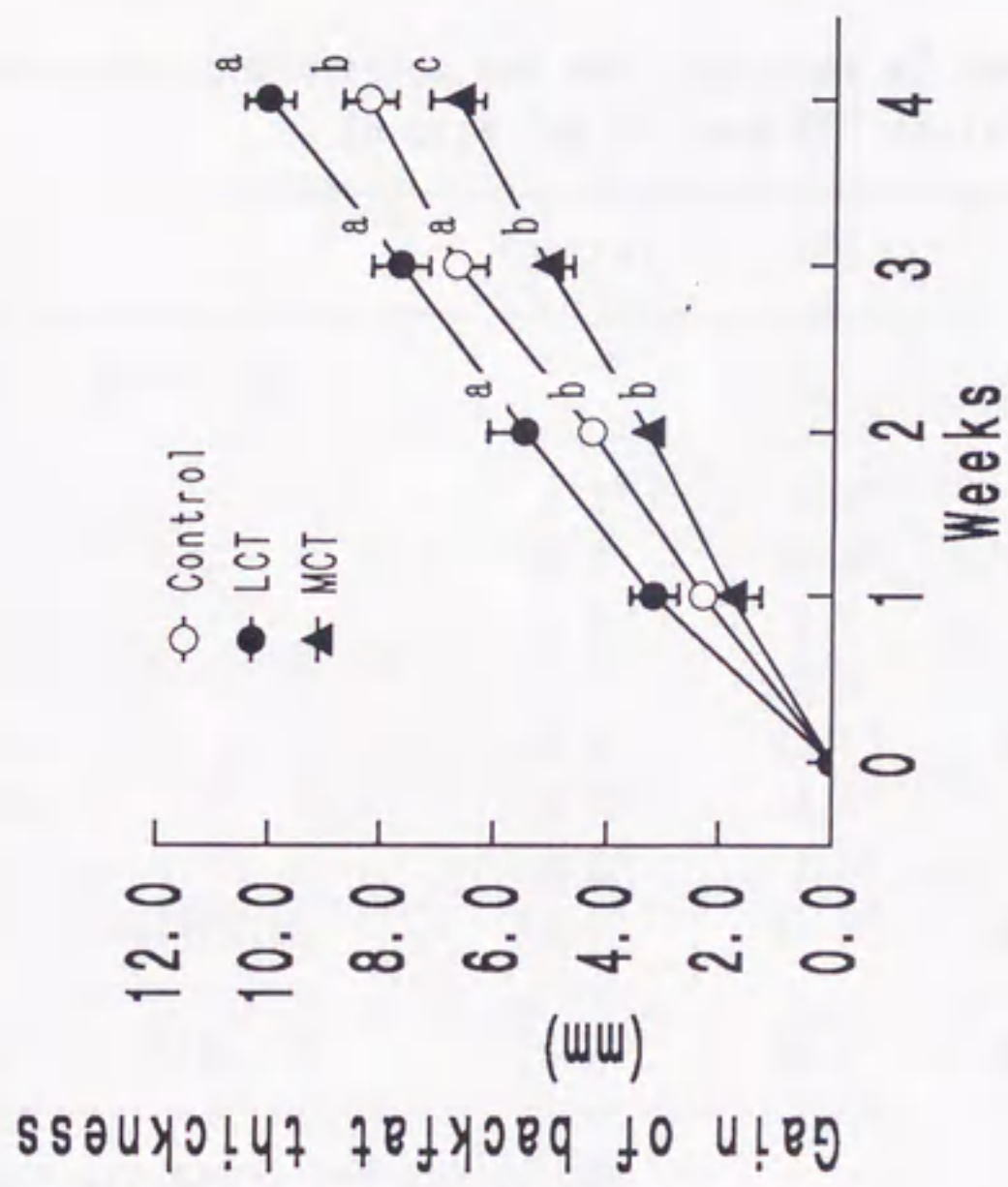


FIGURE 2-3. Gain of backfat thickness in pigs fed LCT and MCT diets. Each point at each week with different superscripts are significantly different. ($P < 0.05$)

TABLE 2-12

Fatty acid composition and melting point of the inner backfat layer
in pigs fed LCT and MCT diets¹⁾

	Control	LCT	MCT	Pooled SEM
Fatty acid, (%)				
10:0	-	-	0.3	-
14:0	1.2 ^b	1.2 ^b	1.5 ^a	0.0
16:0	26.8 ^a	23.6 ^b	27.2 ^a	0.4
16:1	1.9	1.7	1.9	0.2
18:0	16.1 ^a	13.0 ^b	17.9 ^a	0.7
18:1	45.4 ^a	40.7 ^b	42.9 ^b	0.8
18:2	8.6 ^b	18.6 ^a	8.1 ^b	0.2
18:3	0.2 ^b	1.3 ^a	0.2 ^b	0.0
total saturated	43.9 ^b	37.8 ^c	46.8 ^a	0.8
Melting point, °C	36.9 ^b	31.0 ^c	40.4 ^a	0.7

¹⁾ Values are means and pooled SEM.

Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

り、総飽和脂肪酸含量はMCT区が対照区に対して有意に高くなった。LCT区は飼料中に8%添加した大豆油の影響を強く受け、C18:2が対照区と比較して2倍以上の含量であった。またC16:0、C18:0、C18:1がLCT区で対照区に対して有意に低くなった。その結果、総飽和脂肪酸含量は対照区に対してLCT区が有意に高くなった。融点は、これらの脂肪酸組成の結果を良く反映して、MCT区が最も高く、次いで対照区、LCT区の順となり、それぞれの試験区間内で有意差が認められた。

考 察

本実験の結果から、肥育豚にMCT添加飼料を給与すると背脂肪厚の増加を抑制できることが明らかとなった。背脂肪厚に関して第2章第1節の実験結果と本実験の結果とは異なったが、その原因はいくつか考えられる。第一に、本実験では各試験区における蛋白質摂取量がほぼ等しかったことが上げられる。蛋白質摂取量の違いによって体脂肪蓄積量が大きく影響を受けることはよく知られており(17,27)、本実験ではその影響をほぼ除外できたものと思われる。第二に、本実験の背脂肪厚の測定は、超音波測定器を用いて経時的に背脂肪厚を測定できたことである。このことによって、その増加量測定が可能となり、少なくとも試験開始時の背脂肪厚の個体差は除かれたと考えられる。さらに供試豚の性の統一(本実験で

は去勢豚のみ)なども背脂肪厚に影響を及ぼしたものである。

MCT区とLCT区で飼料効率が改善されたが、そのメカニズムはそれぞれ異なるものと考えられる。LCT区においては飼料中に8%含まれるLCT(大豆油)が効率良く体内に蓄積された結果、飼料効率が改善されたものと思われる。これを支持するデータとして、LCT区の背脂肪厚増加量および背脂肪内層におけるリノール酸含量が、3試験区のうちで最も高いことを上げることができる。一方、MCTに関しては、飼料中に含まれるMCTは多くは酸化分解され、体内に蓄積されにくいことが明らかにされている(6,7)。したがってMCT飼料中の基礎飼料由来の成分が効率良く体内に蓄積されたものと思われる。MCT区における背脂肪厚の増加量が低かったこと、および増体量が対照区とほぼ等しかったことを考慮すると、増体の中味は蛋白質または水分あるいはその両方が増加したものであると思われるが、詳しいことは不明である。

背脂肪内層の脂肪酸組成において、対照区に対してMCT区でC18:0の増加傾向およびC18:1の有意な減少が観察され、これは第2章第1節の結果と良く一致した。

飽和脂肪酸総量の結果をよく反映して、MCT区における融点は対照区に対して有意に高かったが、このことは硬い脂肪が生産されることを示している。一般に、不

飽和脂肪酸含量の多い豚、すなわち軟脂豚は脂肪合成能力の低い、いわゆる「ひね豚」に発生しやすい。一方、脂肪合成能力の高い豚は比較的硬い脂肪を生産するが、同時に厚脂になりやすい。したがって本実験の脂肪酸組成および背脂肪厚の結果より、MCT給与は、脂肪合成能力の低い「ひね豚」には軟脂豚発生の防止効果、脂肪合成能力の高い豚には厚脂防止対策に有効と考えられる。

以上のことより、蛋白質摂取量が低下しない条件下で肥育豚にMCTを摂取させると、飼料効率は改善され、背脂肪厚の増加を抑制し、飽和脂肪酸含量の高い、いわゆる硬い脂肪が生産されると結論された。

第2章第3節

豚回腸末端アミノ酸消化率に対する飼料添加中鎖脂肪 および長鎖脂肪の影響

要 約

本研究では、飼料中に添加した中鎖脂肪(MCT)および長鎖脂肪(LCT)が豚回腸末端アミノ酸消化率にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。回腸末端にカニキュールを装着した雌肥育豚6頭を用い、回腸内容物を採取して酸化クロム法にて粗蛋白質およびアミノ酸の消化率を測定した。試験区は、基礎飼料(対照区)、基礎飼料+MCT(MCT区)、基礎飼料+大豆油(LCT区)の3試験区とした。メチオニン、アルギニンを除いた必須アミノ酸の回腸末端消化率は、対照区に対してMCT区およびLCT区で改善される傾向が認められたが、統計的な有意差は見られなかった。またMCT区とLCT区間に差は見られなかった。養豚飼料に最も不足しやすいリジンの回腸末端消化率は対照区の77.4%に対し、MCT区、LCT区それぞれ80.3、79.8%であった。粗蛋白質の回腸末端消化率は必須アミノ酸のそれと同様な傾向がみられた。非必須アミノ酸の回腸末端消化率は一定の傾向は認められなかった。以上のことより、飼料中にM

C T および L C T を添加することにより、必須アミノ酸の回腸末端消化率は改善されることが示唆されたが、その程度は大きくはないものと思われた。また M C T と L C T では、アミノ酸の回腸末端消化率に対する影響に違いはないものと思われた。

結 言

カプリル酸 (C8:0) およびカプリン酸 (C10:0) を主な脂肪酸組成とする中鎖脂肪酸は、自然界に多く存在している長鎖脂肪酸 (L C T) と比べて、いくつかの異なる性質をもっている (6, 100)。この特性を生かそうと、現在まで栄養学研究者によって多くの試みがなされている。

最近、コレシストキニン (C C K) 分泌に対する種々のトリグリセリドの影響を調べたところ、M C T がその分泌に対して極めて強い刺激を与えることが Douglas et al. (28) によって報告された。同様な結果がトリにおいても示された (54)。C C K は消化酵素を含む膵液の分泌を刺激することによく知られている (35)。したがって M C T を摂取することによって蛋白質およびアミノ酸の消化率がどのように影響を受けるか、きわめて興味もたれる。

一般に、アミノ酸消化率の測定は、排泄された糞を分析する方法 (18, 55, 86) に比べて回腸内容物を分析する方法 (52) が、より正確であるとされている。この理由とし

て、大腸に存在する微生物がアミノ酸を分解し、その結果排泄された糞中のアミノ酸含量に影響を及ぼすことが考えられている。そこで、本研究では、回腸末端アミノ酸消化率に及ぼすMCTおよびLCT摂取の影響について、回腸末端にカニユーレを装着した肥育豚を用いて検討を行った。

材料および方法

供試動物. 平均体重約46kgの雌の肥育豚(ランドレース×大ヨークシャー×デュロック)6頭を用いた。豚には内径10mmのカニユーレを回盲部から30cm手前の回腸末端部に装着した。詳細はFuruya and Takahashiの報告(30)の通りである。豚は豚房に1頭ずつ入れ、単飼とした。

飼料. 基礎飼料の配合割合をTABLE 2-13に示す。また基礎飼料中の粗蛋白質含量およびアミノ酸組成をTABLE 2-14に示す。本実験に用いたMCTの脂肪酸組成はカプリル酸85%、カプリン酸15%であり、花王(株)の製品であった。粗蛋白質およびアミノ酸の消化率を測定するためのマーカ―として、酸化クロムを0.1%飼料中に添加した。

実験方法. 実験は3×3のラテン方格法で行った。1サイクルの実験期間は5日間とし、回腸内容物の採取は実験3日目から5日目までの3日間に、13時～15時の間に行った。飼料給与は自動給餌器を用い、1日分を1時、

TABLE 2-13

Composition of diets (%)

Ingredient	Control	LCT	MCT
Corn	22.0	} 92.0	} 92.0
Barley	22.0		
Milo	22.0		
Soybean meal (CP46%)	9.0		
Rice bran	4.0		
Wheat bran	12.0		
Fish meal (CP60%)	4.0		
Alfalfa meal (dehydrated)	2.5		
CaCO ₃	0.7		
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.8		
NaCl	0.5		
Trace mineral premix ¹⁾	0.15		
Vitamin A, D, E premix ²⁾	0.15		
Vitamin B premix ²⁾	0.1		
DL-methionine	0.1		
LCT (soybean oil)	-	8.0	-
MCT ³⁾	-	-	8.0

¹⁾ Trace mineral premix supplied the following in milligrams per kilogram of control diet : Mn 120, Zn 75, Fe 9, I 1.5, Cu 0.9.

²⁾ Vitamin premix supplied the following per kilogram of control diet : vitamin A 15000 I.U., vitamin D₃ 3000 I.U., dl- α -tocopherol 10 mg, thiamine 1 mg, riboflavin 7 mg, pyridoxine hydrochloride 0.5 mg, nicotinamide 6 mg, D-calcium pantothenic acid 10.9 mg, choline chloride 57.6 mg.

³⁾ Coconard MT (Kao Corporation, Wakayama, Japan. C8:0 85%, C10:0 15%).

TABLE 2-14

Crude protein content and amino acid
composition of basal diet

	Content (%)
Crude protein	15.8
Amino acid	
Essential	
Threonine	0.55
Valine	0.71
Methionine	0.30
Isoleucine	0.62
Leucine	1.29
Phenylalanine	0.73
Lysine	0.70
Histidine	0.36
Arginine	0.91
Nonessential	
Aspartic acid	1.15
Serine	0.67
Glutamic acid	2.85
Glycine	0.77
Alanine	0.88
Cystine	0.20
Tyrosine	0.53
Hydroxyproline	0.12
Proline	1.10

9時および17時の3回に分けて等量与えた。各給餌時間に、455gの基礎飼料(対照飼料)、455g基礎飼料+41gMCT(MCT飼料)、455g基礎飼料+36g大豆油(LCT飼料)のいずれかを与えた。MCTとLCTの量は等カロリーになるように調整した。水は自由飲水とした。回腸末端内容物の採取および調整方法はFuruya et al.の報告(31)と同様に行った。

分析方法。 飼料および回腸内容物の粗蛋白質含量はケルダール分解の後、テクニコンオートアナライザーで窒素を測定し、6.25を乗じて求めた。飼料および回腸内容物のアミノ酸含量は、脱気した6N塩酸中で110℃、24時間加水分解し、アミノ酸自動分析機(Hitachi 835)で測定した。トリプトファンは測定しなかった。酸化クロムの測定は吉田らの方法(113)を一部修正した方法(99)で分光光度計を用いて行った。

統計処理。 データは平均値±SEMで示した。データはSAS(version 6.03)のGLMプロシジャーを用いて、3×3ラテン方格法で統計処理を行った。

結果および考察

粗蛋白質と回腸末端アミノ酸消化率の結果をTABLE 2-15に示す。基礎飼料の必須アミノ酸消化率のうちで、メチオニンの消化率が最も高い値を示した。しかし、一般的には養豚用の飼料原料ではメチオニンではなく、ア

TABLE 2-15

Ileal digestibilities of crude protein and amino acids in pigs fed a diet containing medium- and long-chain triglycerides¹⁾

	Control	MCT ²⁾	LCT ³⁾
		%	
Crude protein	71.4±2.0	73.4±1.2	73.7±1.9
Essential amino acid			
Threonine	72.8±2.0	73.3±0.7	74.2±1.5
Valine	76.5±1.6	79.2±0.4	78.8±1.5
Methionine	87.4±0.8	88.0±0.3	87.7±0.8
Isoleucine	77.5±1.2	79.7±0.3	79.1±1.3
Leucine	80.9±1.0	81.4±0.3	82.6±0.9
Phenylalanine	80.8±0.9	82.3±0.2	82.5±0.9
Lysine	77.4±1.6	80.3±0.4	79.8±1.3
Histidine	78.7±1.1	81.1±0.4	81.8±0.9
Arginine	83.5±1.2	83.2±1.1	85.5±0.9
Nonessential amino acid			
Aspartic acid	74.6±2.3	75.0±0.7	75.8±1.3
Serine	75.0±1.6	75.4±1.0	76.4±1.2
Glutamic acid	82.0±2.1	83.6±1.0	85.2±1.3
Glycine	55.1±6.5	58.0±3.3	62.7±3.7
Alanine	75.8±1.8	74.6±1.1	77.1±1.4
Cystine	81.0±2.4	81.7±0.4	82.8±1.1
Tyrosine	81.4±1.2	80.9±0.4	82.1±0.7
Hydroxyproline	62.2±3.8	54.7±2.0	61.2±5.1
Proline	60.6±10.2	60.5±10.6	61.0±8.0

¹⁾ Values are means±SEM of 6 pigs.

²⁾ MCT = Medium-chain triglycerides.

³⁾ LCT = Long-chain triglycerides.

ルギニンが最も高い消化率を示すことが知られている(45, 88, 103)。本実験では、消化率がきわめて高いと考えられる結晶DL-メチオニンが0.1%飼料中に添加されており、これがメチオニンの消化率を高めたものと思われた。トレオニンの低い消化率が本実験で観察されたが、この結果は多くの報告とよく一致した(32, 45, 84, 87, 103)。穀物主体の飼料で、一般的に第1制限アミノ酸となりやすいリジンの消化率は77.4%であった。この値は他の必須アミノ酸のそれと比較して低かった。非必須アミノ酸において、グルタミン酸の消化率が最も高かったが、これは他の報告とよく一致した(32, 84, 87, 103)。グリシン、ヒドロキシプロリンおよびプロリンの消化率は他の非必須アミノ酸のそれと比べて低く、また標準誤差は大きかった。2つの研究グループが、内因性の分泌物中にはグリシンやプロリンの濃度が高いことを報告している(87, 104)。本実験で測定された消化率は見かけの消化率であり、したがってこれらのアミノ酸の消化率は内因性のアミノ酸の影響を強く受けたものと思われた。

MCT飼料において、アルギニンを除いた必須アミノ酸の消化率は対照飼料のそれと比べて高くなる傾向がみられたが、5%レベルでの有意差は認められなかった。同様な傾向がLCT飼料においても観察された。MCT飼料およびLCT飼料の粗蛋白質消化率もまた、必須アミノ酸消化率と同様に対照飼料に対して高くなる傾向がみ

られた。豚においては従来、飼料中に油脂を添加しても粗蛋白質の消化率には影響を及ぼさないとされてきた(46, 88)。しかし、本実験において、対照飼料にMCTあるいはLCTを添加することによって回腸末端の必須アミノ酸消化率は改善される傾向がみられ、さらに粗蛋白質においても同様な傾向がみられた。飼料中への油脂添加によるこのような反応は、トリの結果とよく一致し(96)、また豚においても高脂肪食(20~27%)においてのみ報告されている(46, 88)。

膵酵素分泌促進作用をもつCCK(35)の分泌は、MCT給与によって促進される(28)。この理由から、本実験では蛋白質およびアミノ酸の消化率がMCT給与によりどのような影響を受けるかについて検討を行った。しかし個々の必須アミノ酸消化率はMCT飼料とLCT飼料で差はみられなかった。本実験の条件下では、この結果の説明として三つの可能性が考えられる。すなわち、①MCT飼料およびLCT飼料を摂取した豚において、CCKの分泌およびそれに続く膵酵素分泌には差はみられない、②豚における蛋白質消化に対して膵酵素は律速にはならない、③MCT飼料を摂取した豚においては、膵酵素分泌促進に起因する内因性アミノ酸の増加が、真の消化率の改善を打ち消す、以上である。

最近、田島らは、MCTを摂取したラットから調整した小腸刷子縁膜におけるリジン、ロイシンおよびフェニ

ルアラニンの吸収速度は、LCTを摂取したラットから調整したそれよりも数倍速くなることを報告した(98)。この結果と本実験の結果を合わせて考えると、アミノ酸の吸収速度と消化率とは直接関係はないのかもしれない。しかし本実験では、試験飼料に対する適応期間が十分ではなかった可能性が考えられる。なぜなら、回腸内容物の採取は実験開始3日目から行い、試験飼料に対する適応期間は2日間のみだからである。

本実験の結論として、MCTおよびLCT摂取により回腸末端アミノ酸消化率は同等に改善されるものと思われた。ただし、その程度は大きくはないものと考えられた。

第 3 章

蛋白質節約作用に対する中鎖 脂肪給与の影響

第 3 章 第 1 節

絶食ラットへのグルコース、長鎖脂肪および中鎖脂肪 投与による蛋白質節約作用の比較検討

要 約

蛋白質節約作用の発現において、グルコース、長鎖脂肪 (L C T) および中鎖脂肪 (M C T) がどのような違いを示すか、絶食ラットを用いて比較検討を行った。一晚絶食させたラットに等カロリーのグルコース、L C T および M C T を強制投与し、24 時間にわたる尿を採取して、排泄された尿素および総窒素を測定した。また血漿中の尿素濃度も測定した。排泄された尿中の尿素量は、対照区 (水を投与) に対してグルコース区、M C T 区で有意に低下したが L C T 区では有意差が認められなかった。同様な結果が尿中の総窒素においてもみられた。また血漿

中の尿素濃度においても同様な結果が得られた。以上のことより、蛋白質節約作用の発現に関して、MCTはLCTとは異なり、グルコースに似た性質を有するものと思われた。

結 言

飼料中に炭水化物あるいは脂肪(長鎖脂肪、LCT)を添加すると、窒素蓄積の増大、いわゆる蛋白質節約作用が観察される。この蛋白質節約作用は、炭水化物、脂肪のいずれも同程度に効果がある(62)とされているが、その作用発現の経路および速度については異なることが指摘されている。Nakano and Ashida(66)は、アロキサン糖尿病ラットにおいて、炭水化物の蛋白質節約作用は脂肪のそれとは異なって消失することを示した。Reeds et al.(83)は、肥育豚において、尿素合成および血漿中の尿素濃度は、飼料中へスターチを添加することにより4時間以内に低下し、一方脂肪の添加の場合は、両者の変化が起きるには18~24時間要することを報告した。さらに彼らは、スターチ添加後に血漿中のグルコースおよびインスリン濃度は上昇するが、脂肪添加後にはグルコース、インスリン濃度のいずれも変化しないことを示した。

最近、LCTと比べて特徴ある性質をもつMCTが注目され、多くの栄養・生理研究者によって研究が進められている(6,7)。しかしながら、蛋白質節約作用に対する

MCTの影響についてはほとんど明らかにされていない(4)。そこで、本実験ではMCT、LCTおよびグルコースのもつ蛋白質節約作用の発現の違いについて比較検討を行った。

材料および方法

ウィスター系雄ラット(日本SLC、浜松)を実験に用いた。予備期間中、ラットには慣用飼料(可消化粗蛋白質、18.1%；代謝エネルギー、14.0MJ/kg)および水を5日以上自由に与えた。一晚絶食させた後の翌朝9時に実験を開始した。体重約185gのラットを4試験区に分け、各試験区には8頭ずつ割り付けた。第1の試験区(対照区)には1mLの水を与えた。第2の試験区には2mLの30%グルコース溶液を与えた。第3の試験区には0.52mLのLCT飼料(0.26gの大豆油を0.23gの水と1.2mgのコール酸ナトリウムでエマルジョン化したもの)を与えた。第4の試験区には0.58mLのMCT飼料〔0.29gのMCT(C8:0, 85%；C10:0, 15%)を0.26gの水と1.2mgのコール酸ナトリウムでエマルジョン化したもの〕を与えた。グルコース、LCTおよびMCTの投与量は等カロリーになるように調整した。すべての飼料は胃チューブを用いてラットに強制投与した。それぞれの飼料は夕方6時にも与えた。ラットは代謝ケージ内で飼育し、24時間におたる尿を採取した。翌日、朝9時にラットは血漿を得るために断頭屠殺し、へ

パリン処理した試験管に血液を採取した。血液は1500×g、20分間冷却遠心を行い、分析に供するまで-45℃で貯蔵した。血漿尿素はキット(和光純薬)を用いて、ウレアーゼインドフェノール法で測定した。尿中の総窒素は、ケルダール分解後テクニコンオートアナライザーで測定した。尿中の尿素はキット(和光純薬)を用いてジアセチルモノオキシム法で測定した。統計処理はスチューデントのt検定で行った。

結果および考察

結果はTABLE 3-1に示す。体重の減少量は対照区が最も大きく、他の3試験区に差はみられなかった。尿中の尿素、総窒素および血漿中の尿素濃度は、対照区のそれらと比べてグルコース区では有意に低くなった。しかしLCT区ではそのような反応はみられなかった。これらの結果は、Nakano and Ashidaの報告(66)とよく一致した。彼らは、脂肪が蛋白質節約作用を発揮するためには、ある程度の時間が必要であることを示している。一方、Reeds et al.(83)もまた、肥育豚に脂肪を添加した時、血漿中の尿素濃度および尿素合成の変化は18~24時間遅れることを報告している。

MCT区においても、グルコース区と同様に血漿中の尿素濃度、尿中の尿素および総窒素は対照区のそれと比べて有意に減少した。本実験で得られた結果は、脂肪酸

の炭素数の違いが蛋白質節約作用の発現に影響を及ぼすことを明確に示している。Odle et al. (75)は、統計的な有意差はみられなかったものの、MCTを摂取した新生子豚はLCTを摂取した新生子豚と比べ、窒素排泄量は少なかったことを報告している。

MCTは、すばやく消化・吸収され、門脈を通して肝臓へ運ばれ、多くは酸化されてCO₂やケトン体に代謝される(6,7)。またMCT投与によってインスリン濃度が上昇することが報告されている(112)。これらのMCTのもつ特性が、MCT投与によって引き起こされる蛋白質節約作用のメカニズムについて、一部説明できるかもしれない。

結論として、蛋白質節約作用の発現に関して、MCTはLCTとは異なり、グルコースに似た性質を有するものと思われた。

TABLE 3-1

Effect of feeding glucose, long- and medium chain triglycerides on the body weight change, plasma level of urea, and on the urinary output of urea and total nitrogen¹⁾

Treatment	Initial body wt. (g)	Body wt. change (g/24hr)	Plasma urea (mg/100ml)	Urine	
				Urea (mg/24hr)	Total N (mg/24hr)
Control	187.5±2.0	-12.1±0.4	34.5±1.2	246±11	145±5
Glucose	183.9±1.1	-10.6±0.5*	28.9±0.6**	182±9***	119±4**
LCT ²⁾	186.1±2.4	-10.5±0.4*	32.4±0.9	220±7	140±5
MCT ³⁾	183.5±3.1	-10.6±0.5*	30.6±0.9*	190±12**	124±5**

¹⁾ Values are means ± SEM of 8 rats. Values are significantly different from the control value for *P<0.05, **P<0.01 and ***P<0.001.

²⁾ LCT = long-chain triglycerides, soybean oil.

³⁾ MCT = medium-chain triglycerides, Coconard MT (Kao Corporation, Wakayama, Japan. C8:0 85%, C10:0 15%)

第3章第2節

中鎖脂肪、長鎖脂肪および炭水化物投与による絶食ラットの蛋白質節約作用発現に及ぼす影響

要 約

非蛋白態のエネルギー源を動物に投与すると窒素の蓄積が増大することが知られており、この現象は蛋白質節約作用と言われている。本研究は、中鎖脂肪(MCT)、長鎖脂肪(LCT)および炭水化物の絶食ラットへの投与が、48時間にわたる蛋白質節約作用の発現に対してどのような違いが生ずるのかを検討した。MCT、LCTおよび炭水化物の投与量は等カロリーになるようにした。対照区は水のみを与えた。最初の24時間で、対照区に対して炭水化物区およびMCT区の尿中尿素排泄量は有意に低下したが、LCT区では対照区と差はみられなかった。しかし48時間ではLCT区のそれは対照区に対して有意に低くなった。肝臓のセリン脱水酵素活性は、MCT区とLCT区で差は認められなかったものの、対照区に対しては両区ともに有意に低かった。炭水化物区におけるセリン脱水酵素活性はすべての試験区の中で最も低かった。肝臓のリジン-2-オキソグルタレート還元酵素活性は、対照区に対して炭水化物区、LCT区で有意に

低くなったが、MCT区のそれは対照区との差は認められなかった。血漿中のリジンおよび分岐鎖アミノ酸の濃度は4試験区の中でMCT区が最も低くなった。一方、血漿中のグルタミン酸濃度はMCT区で最も高くなった。これらの結果は、MCT、LCTおよび炭水化物の投与によって蛋白質節約作用は異なった形で発現し、MCT区とLCT区間の発現の違いは、アミノ酸分解酵素系のシステムでは説明できないことを示している。また、MCT投与による窒素の保留の一部は、グルタミン酸として蓄積されることが示唆された。

緒 言

炭水化物あるいは脂肪（通常は長鎖脂肪、LCT）投与により、比較的長期間（約1週間）では窒素蓄積の速度が同様に増加することが人や動物で示されている(62)。この現象は、一般に蛋白質節約作用と言われている。これまでにいくつかの栄養研究のグループによって、蛋白質節約作用のメカニズムの説明として、蛋白質合成の増加、蛋白質およびアミノ酸分解の減少が示されている(63, 65, 67, 82, 83)。しかし、比較的短期間（1～2日）においては炭水化物および脂肪投与に起因する蛋白質節約作用に関して以下に述べるような違いが示されており、そのメカニズムは必ずしも明確にはされていない。Reeds et al. (83)は、飼料へのスターチ添加によって、

血漿中の尿素濃度は4時間以内に低下し始めるが、脂肪添加ではそのような変化が現れるまでには18~24時間が必要であることを示している。彼らはまた、スターチ添加後には血漿中のグルコース、インスリン濃度は上昇するが、脂肪添加後ではそのような変化は起きないことも示している。Nakano and Ashida(66)は、アロキサン糖尿病ラットにおいて炭水化物投与による蛋白質節約作用は消失するが、脂肪投与では消失しないことを報告している。

LCTと比較してMCT(主にカプリル酸およびカプリン酸を含む)は、いくつかのユニークな性質を有している(6,7)。すなわち、①MCTはLCTよりも速やかに加水分解される、②MCT由来の中鎖脂肪酸はすばやく吸収されて門脈系へ運ばれるが、長鎖脂肪酸はリンパ系へ運ばれる、③中鎖脂肪酸は、多くは肝臓でCO₂やケトン体にまで分解される。このようなユニークな性質から、これまでに多くの研究者たちによって、新しい機能を有したエネルギー源としてMCTに関する報告がされている(6,7,9,19,69)。

中鎖脂肪酸のもつ、酸化分解されやすいという性質は特に注目に値する。というのは、絶食中の動物においては脂肪酸の利用性がその蛋白質節約作用に大きく影響を及ぼすと思われるからである。そこで第1章第1節でMCTのもつ蛋白質節約作用について検討を行ったところ、24時間での尿中尿素および血漿中の尿素濃度はLCT投

与で変動がみられなかったにもかかわらず、MCT投与では有意に減少した(100)。しかしMCT投与によるアミノ酸分解系酵素の活性変動については不明である。そこで、本実験ではMCT、LCTおよび炭水化物投与に起因する蛋白質節約作用発現の違いを明らかにすることを目的として、尿中尿素排泄量と共に、肝臓のリジンおよびセリン分解酵素の活性を測定した。加えて、血漿および肝臓中の遊離アミノ酸濃度も測定した。

材料および方法

動物および飼料. 32匹の雄ウィスター系ラット(日本SLC、浜松)を、室温 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ で、12時間明暗サイクルの室内で、代謝ケージ内で単飼飼育した。予備期間中、ラットには慣用飼料(可消化粗蛋白質、 181g/kg 、代謝エネルギー、 14.0MJ/kg 、トウモロコシ、大豆粕および魚粉を主体にした飼料)と水を自由に与えた。実験第1日目の夕方5時に、体重 $155 \sim 160\text{g}$ のラットから飼料を除き24時間の絶食を開始した。第2日目の夕方5時にラットを4つの試験区に分け、各試験区8匹ずつとした。1.8mol/Lの硫酸2mLを含んだフラスコに、尿の採取を開始した。対照区は、さらに2日間の絶食を続けた。炭水化物区は2.4gの α -コーンスターチを与えた。LCT区は1.0gの大豆油を与えた。MCT区は1.1gのMCT(C8:0, 85%; C10:0, 15%)を与えた。MCTは花王(和歌山)の

製品 (Coconard MT) を用いた。MCT、LCT および α -
コーンスターチの量は等カロリーになるように調整した。
それぞれの飼料はガラス製の給餌器に入れ、代謝ケージ
の床に置いた。それぞれの飼料は第3日目の朝9時および
夕方5時にも与えた。第4日目の朝9時に最後の飼料をラッ
トに与えた。夕方5時に、軽いエーテル麻酔下にてラット
を断頭屠殺した。血液はヘパリン処理した試験管に採取
し、 $1500 \times g$ 、20分間の冷却遠心を行い、血漿を得た。血
漿および尿のサンプルは分析まで -45°C にて貯蔵した。肝
臓は血液を取り除くために氷冷した生理食塩水で還流し、
ただちに取り出して秤量し、ホモジネートの調整まで
 -45°C で貯蔵した。

分析。尿中尿素の測定は市販のキット (和光純薬)
を用いてジアセチルモノオキシム法で測定した。血漿中
の尿素およびグルコースは市販のキット (和光純薬) を
用いて、それぞれウレアーゼ・インドフェノール法およ
び0-トルイジンホウ酸法で測定した。血漿中の遊離アミ
ノ酸を測定するために、血漿に等量の 0.39mol/L スルフォ
サリチル酸を添加し、 $10,000 \times g$ 、20分間遠心分離を行っ
た。得られた上澄をアミノ酸自動分析計 (HITACHI 835) に
供し、遊離アミノ酸濃度を測定した。肝臓ホモジネート
(20%) も同様な方法で遊離アミノ酸を測定した。

酵素活性測定法。アミノ酸分解系酵素として2つの
酵素を選択した。1つはセリン脱水酵素 (SDH, EC. 4.2.

1.13)であり、これはラットにおけるセリン分解の律速酵素である。本酵素活性については、すでに Nakano and Ashida (66)によって炭水化物、LCT摂取による変動は報告されている。もう一つは、リジン-2-オキソグルタレート還元酵素 (LOGR, EC.1.5.1.8)であり、リジン分解の律速酵素である。本酵素を選択した理由は、リジンは欠乏しやすく栄養学的に重要であり、また、体蛋白質中に多く存在しているからである。SDHは Suda and Nakagawa (92)の方法で行った。すなわち肝臓を、2mmol/L EDTAおよび10mmol/L 2-メルカプトエタノールを含む0.2mol/L リン酸カリウムバッファー (pH8.0)でテフロン-ガラスホモジナイザーを用いてホモジナイズし20%のホモジネートを得た。得られたホモジネートを23,000×g、30分遠心分離を行い、その上澄をSDH活性の測定に供した。LOGRは Noda and Ichihara (71)の方法によった。すなわち肝臓を0.1mmol/L EDTAおよび5mmol/L 2-メルカプトエタノールを含む10mmol/Lのリン酸カリウムバッファー (pH7.6)でポリトロンホモジナイザーを用いてホモジナイズし、10%のホモジネートを得た。そのホモジネートを20秒間超音波処理をし、その後23,000×g、30分間遠心分離を行った。得られた上澄をLOGR活性の測定に供した。

統計処理。結果は、平均値およびPooled SEMで示した。データはGLMプロシジャー (SAS, version6.03)を用いて一元配置の分散分析を行った。処理効果に有意差が

認められた時、処理区間の有意差検定はLeast significant differenceによって行った。結果は5%レベルで有意とみなした。

結 果

体重変化と肝臓重量. 体重変化と肝臓重量(g/100g体重)の結果をTABLE 3-2に示す。対照区に対していずれの3試験区も体重減少量は少なかったが、その3試験区間内では差は認められなかった。炭水化物区およびMCT区における肝臓重量は対照区のそれよりも重くなったが、LCT区と対照区間で差はみられなかった。

尿中尿素排泄量. FIGURE 3-1で示すように、炭水化物区における尿中尿素排泄量は、実験開始後24時間で対照区よりも有意に減少したが、LCT区では差はみられなかった。しかし、48時間ではLCT区においても尿中尿素排泄量は有意に減少した。MCT区の尿中尿素排泄量は、炭水化物区のそれと同様に、24時間ですでに対照区よりも有意に低い値を示した。しかし、わずかではあるが有意に炭水化物区よりも高かった。48時間にわたる尿中尿素排泄量はすべての4試験区間で有意差が認められ、対照区が最も高く、次いでLCT区、MCT区、炭水化物区の順に低くなった。データは示さなかったが、尿中の総窒素排泄量も尿素排泄量と同様な結果であった。

血漿中の尿素およびグルコース濃度. TABLE 3-3に血

TABLE 3-2

Body weight change and relative liver weight of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate¹

	Group				Pooled SEM
	Control	MCT	LCT	Carbohydrate	
Body weight change, g/2 d	-16.0 ^b	-9.7 ^a	-10.6 ^a	-9.9 ^a	0.4
Liver weight, g/100g body wt	3.01 ^c	3.44 ^a	3.02 ^c	3.23 ^b	0.04

¹Values are means and pooled SEM for 8 rats/dietary group. Means within a row not followed by the same letter are significantly different (P<0.05).

TABLE 3-3

Plasma urea and glucose concentrations of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate¹

	Group				Pooled SEM
	Control	MCT	LCT	Carbohydrate	
Urea, mmol/L	5.27 ^a	3.49 ^c	4.19 ^b	2.89 ^d	0.09
Glucose, mmol/L	6.86 ^b	6.15 ^c	5.10 ^d	8.41 ^a	0.13

¹Values are means and pooled SEM for 8 rats/dietary group. Means within a row not followed by the same letter are significantly different (P<0.05).

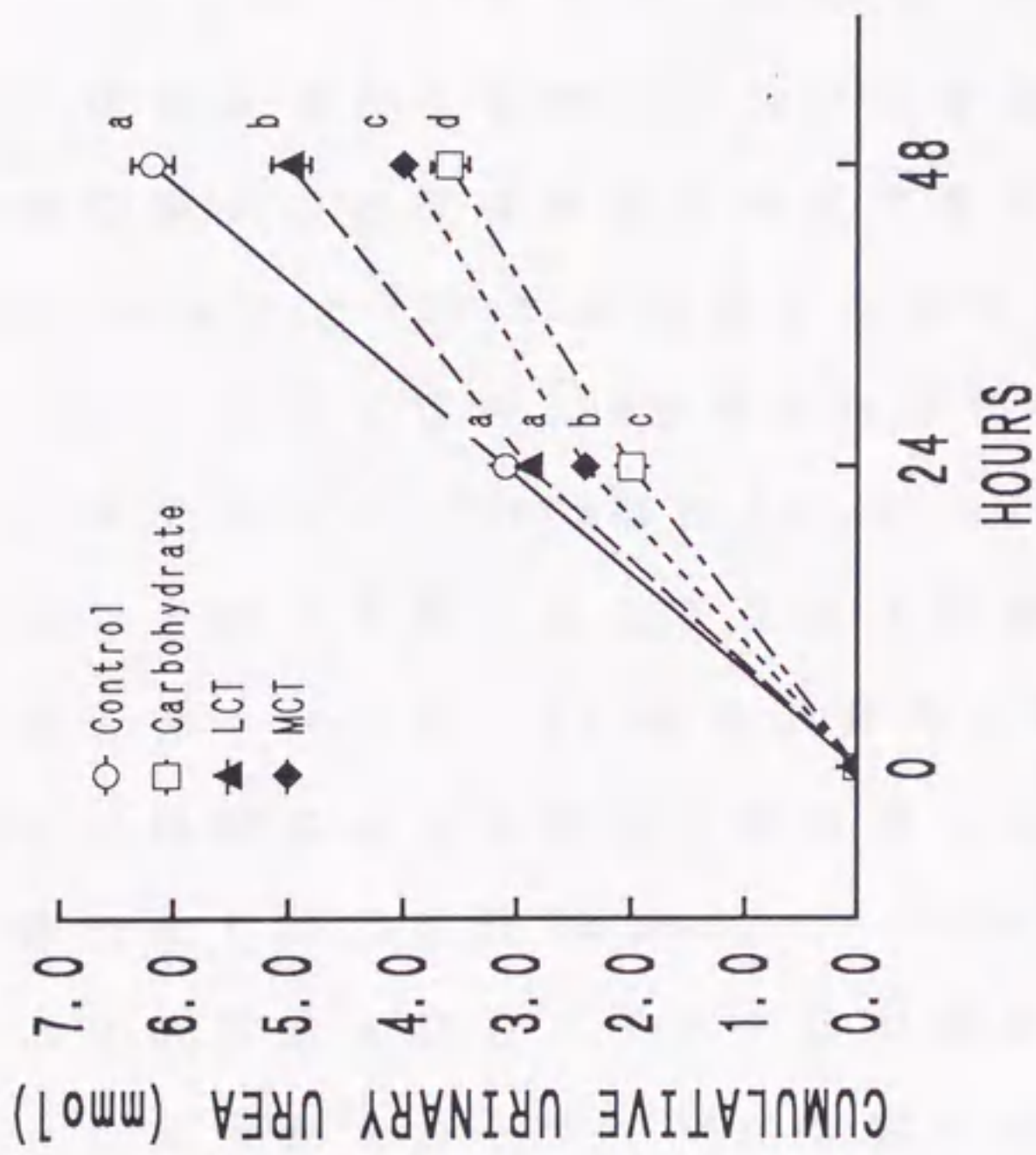


FIGURE 3-1 Cumulative excretion of urinary urea of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), Long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate for the 48 hours. Each point represents the mean \pm SEM of 8 rats. Means at each time not followed by the same letter are significantly different ($P < 0.05$).

漿中の尿素およびグルコース濃度を示す。血漿中の尿素濃度は、対照区が最も高く、次いでLCT区、MCT区、炭水化物区の順で低くなった。血漿中の尿素濃度で観察されたこのような反応は、尿中尿素排泄量の変化とよく一致した。血漿中のグルコース濃度は尿素濃度の反応とは異なり、LCT区が最も低く、次いでMCT区、対照区、炭水化物区の順で高くなった。

酵素活性. 肝臓のSDHおよびLOGR活性の結果をTABLE 3-4に示す。SDH活性は、対照区に対してMCT区、LCT区および炭水化物区において有意に低くなった。SDH活性の減少の程度は炭水化物区で最も大きく、その活性($\mu\text{mole}/\text{min}\cdot\text{g liver}$)は対照区のおよそ25%であった。MCT区とLCT区のSDH活性はほぼ同じであり、対照区の約48%であった。LOGR活性($\mu\text{mol}/\text{min}\cdot\text{g liver}$)は対照区に対してMCT区、LCT区および炭水化物区において有意に低くなった。SDH活性の変化と同様に、LOGR活性の減少の程度は炭水化物区で最も著しかった。LOGR活性を体重当たりの比活性($\mu\text{mol}/\text{min}\cdot 100\text{g}$ 体重)で表わすと、炭水化物区およびLCT区では対照区に対して有意に低かったにもかかわらず、MCT区のそれは、対照区との間に有意差は認められなかった。

血漿中および肝臓中の遊離アミノ酸濃度. 血漿中および肝臓中の遊離アミノ酸濃度をTABLE 3-5, 6に示す。血漿中のアミノ酸濃度は各試験区間において、いくつかの

TABLE 3-4

Liver serine dehydratase and lysine-2-oxoglutarate reductase activities of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate¹

	Group				Pooled SEM
	Control	MCT	LCT	Carbohydrate	
Serine dehydratase					
$\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g liver})$	91 ^a	42 ^{b,c}	47 ^b	20 ^c	9
$\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot 100\text{g body wt})$	276 ^a	145 ^b	142 ^b	66 ^b	28
Lysine-2-oxoglutarate reductase					
$\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g liver})$	2.90 ^a	2.45 ^b	2.22 ^b	1.81 ^c	0.12
$\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot 100\text{g body wt})$	8.74 ^a	8.43 ^a	6.70 ^b	5.87 ^b	0.45

¹Values are means and pooled SEM for 8 rats/dietary group. Means within a row not followed by the same letter are significantly different ($P < 0.05$).

パターンが観察された。血漿中のトレオニン、フェニルアラニン、ヒスチジンおよびチロシンの濃度は、対照区に対してMCT区、LCT区、炭水化物区で有意に低下した。しかし3試験区間においては、これらのアミノ酸濃度に差はみられなかった。血漿中の分岐鎖アミノ酸（イソロイシン、ロイシンおよびバリン）濃度は、4試験区間でそれぞれ有意差がみられた。MCT区で、分岐鎖アミノ酸濃度は最も低く、次いで炭水化物区、LCT区、対照区の順に高くなった。血漿中のリジン濃度はMCT区が他の3試験区と比べて有意に低くなり、その3試験区はほぼ同じリジン濃度を示した。一方、MCT区におけるアスパラギン酸およびグルタミン酸濃度は、他の3試験区と比較して高くなった。セリンおよびアラニン濃度は炭水化物区において他の3試験区と比べて高くなった。グリシン濃度は対照区に比べてLCT区で高く、MCT区で低くなった。

肝臓中のアラニン濃度は対照区に対して炭水化物区で高く、LCT区で低くなった。肝臓中のアスパラギン酸およびグルタミン酸は対照区に対してLCT区で低くなった。しかし、全体的に、肝臓中のアミノ酸濃度の変動は血漿中のそれと比較して小さいものであった。

考 察

FIGURE 3-1 および TABLE 3-3 の結果から、MCT、L

TABLE 3-5

Plasma free amino acids concentrations of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate¹

	Group				Pooled SEM
	Control	MCT	LCT	Carbohydrate	
	$\mu\text{mol/L}$				
Essential amino acid					
threonine	167 ^a	137 ^b	142 ^b	140 ^b	5
valine	196 ^a	92 ^d	152 ^b	126 ^c	5
methionine	50 ^a	39 ^c	42 ^{b,c}	43 ^b	1
isoleucine	116 ^a	45 ^d	89 ^b	64 ^c	3
leucine	164 ^a	70 ^d	128 ^b	107 ^c	5
phenylalanine	82 ^a	68 ^b	74 ^b	73 ^b	2
lysine	346 ^a	251 ^b	349 ^a	352 ^a	12
histidine	66 ^a	60 ^b	58 ^b	57 ^b	1
arginine	112 ^a	89 ^b	98 ^b	115 ^a	4
Nonessential amino acid					
aspartic acid	26 ^b	34 ^a	21 ^c	25 ^b	1
serine	227 ^b	211 ^b	211 ^b	283 ^a	7
glutamic acid	184 ^b	524 ^a	227 ^b	218 ^b	21
glycine	288 ^b	246 ^c	332 ^a	298 ^b	10
alanine	260 ^c	330 ^b	198 ^d	422 ^a	13
tyrosine	76 ^a	67 ^b	65 ^b	64 ^b	2
ornithine	52 ^a	43 ^c	48 ^{a,b}	44 ^{b,c}	2
proline	126	114	114	120	8

¹Values are means and pooled SEM for 8 rats /dietary group. Means within a row not followed by the same letter are significantly different (P<0.05).

TABLE 3-6

Liver free amino acids concentrations of rats fed medium-chain triglycerides (MCT), long-chain triglycerides (LCT) and carbohydrate¹

	Group				Pooled SEM
	Control	MCT	LCT	Carbohydrate	
	$\mu\text{mol/g liver}$				
Essential amino acid					
threonine	1.21	1.12	1.21	1.21	0.07
valine	1.65	1.35	1.50	1.58	0.10
methionine	0.68	0.61	0.67	0.59	0.04
isoleucine	0.69	0.60	0.65	0.59	0.04
leucine	1.69	1.47	1.60	1.45	0.09
phenylalanine	0.80	0.74	0.78	0.75	0.04
lysine	1.89	1.54	1.80	1.72	0.09
histidine	0.98	0.95	0.89	0.94	0.03
Nonessential amino acid					
aspartic acid	2.08 ^a	1.91 ^{ab}	1.53 ^b	2.09 ^a	0.15
serine	2.31	2.25	2.36	2.56	0.15
glutamic acid	5.19 ^a	5.46 ^a	4.18 ^b	5.42 ^a	0.30
glycine	4.90	4.74	5.09	5.10	0.23
alanine	5.99 ^b	6.03 ^b	4.69 ^c	7.24 ^a	0.30
tyrosine	0.95	0.80	0.85	0.81	0.04
ornithine	1.59	1.41	1.50	1.41	0.09
proline	0.71	0.72	0.72	0.75	0.03

¹Values are mean and pooled SEM for 8 rats/dietary group. Means within a row not followed by the same letter are significantly different ($P < 0.05$).

C T および炭水化物投与による蛋白質節約作用の発現には、時間的、量的に違いのあることが明らかとなった。これらの結果は第3章第1節の実験結果(100)とよく一致した。統計的な有意差は認められなかったものの、同様な結果が、新生子豚においても報告されている(75)。

Nakano and Ashidaは、炭水化物および脂肪投与に起因する蛋白質節約作用の発現には、肝臓におけるアミノ酸分解酵素活性の低下が重要な役割をはたすことを報告した(63, 64)。このことは、炭水化物および脂肪投与が、絶食によるアミノ酸分解酵素活性の誘導を阻害することを示している。彼らはまた、脂肪投与ではアミノ酸分解酵素誘導の阻害が遅れることを示唆している。しかし本実験において、M C T区とL C T区でSDH活性はほぼ同じ値を示したにもかかわらず、尿中尿素排泄量および血漿中の尿素濃度はL C T区に対してM C T区で有意に低くなった。さらに、M C T区におけるLOGRの体重当たりの比活性はL C T区よりも高くなった。これらのことは、アミノ酸分解酵素活性と尿中尿素排泄量との関係が矛盾し、M C T投与とL C T投与との間における蛋白質節約作用発現の違いは、アミノ酸分解酵素系システムに起因しないことを示唆している。ところで、M C T区においてはある程度の窒素はグルタミン酸として保留され、尿素合成に利用されにくいかもしれない。なぜなら、血漿中のグルタミン酸濃度が、L C T区に対してM C T区では

2.3倍も高い値を示したからである。

ところでMCT区、LCT区の両区のSDH活性は対照区のそれと比較して有意に低い活性を示し、また、尿中尿素排泄量も、MCT区とLCT区間で差はあるものの、いずれも対照区に対して低い値であった。この事実は、アミノ酸分解酵素活性が蛋白質節約作用発現のメカニズムのうちの一つであることを示すものと思われる。さらに、炭水化物区においては、尿中尿素排泄量および血漿中の尿素濃度と同様に、SDHおよびLOGR活性も、すべての試験区と比較して最も低い値を示し、このことも蛋白質節約作用へのアミノ酸分解酵素の関与を示唆している。

MCT区における血漿中のリジン濃度は、他の3試験区よりも有意に低かったが、このことの説明については二つの可能性が考えられる。まず第一に、MCT区におけるLOGR活性は対照区のそれとほぼ同じであるが、炭水化物区とLCT区と比較して有意に高い値を示し、このことは、炭水化物区やLCT区とは異なって、リジンの分解速度はMCT区では対照区とほぼ同様であることを示唆している。第二に、体蛋白質の分解速度は、MCT区、LCT区および炭水化物区で同様に低下していると考えられる。というのは血漿中のトレオニン、フェニルアラニンおよびヒスチジンの濃度はこの3試験区はほぼ同等で、対照区に対して有意に低くなった。すなわち、この3試験区で体蛋白質由来のアミノ酸は血液への流入が同程度に

減少したものと思われる。この仮説を裏付ける報告として、Reeds et al. (83)は、炭水化物および脂肪に対する体蛋白質のすばやい代謝的反応は体蛋白質分解の低下であることを示している。加えて、本実験条件下では腸管からのアミノ酸吸収はないものと考えられる。これらの結果を合わせて考えると、MCT区における血漿中の低リジン濃度は、血液へのリジン供給の低下とともに、リジン分解速度の増大に起因するものと思われた。炭水化物区およびLCT区においては、血液へのリジン供給の低下とともに、リジン分解速度も低下しているものと思われた。一方、対照区においては、血液へのリジン供給およびリジン分解速度のいずれも増大しているものと思われた。血漿中のリジン濃度と同様な傾向が肝臓中のリジン濃度においても観察された。

血漿中のリジン濃度と同様に、分岐鎖アミノ酸（イソロイシン、ロイシンおよびバリン）濃度においてもMCT区が最も低い値を示した。この点に関して、リジンと同様に、分岐鎖アミノ酸の分解速度がMCT区で上昇している可能性が考えられる。その理由として、分岐鎖アミノ酸が分解される主な組織と考えられているラットの骨格筋(20, 21)において、分岐鎖アミノ酸の酸化がカプリル酸(C8)によって促進されることが報告されている(16, 80, 91)。さらに、本実験の結果から、血漿中のアラニン濃度がLCT区および対照区と比較してMCT区で有意

に高く、このことは骨格筋において分解された分岐鎖アミノ酸のアミノ基がグルタミン酸を経由してピルビン酸に渡され、結果としてアラニン合成、血液へのアラニン流入、というアミノ酸代謝の流れが示唆される。一方、MCT区における血漿中のアラニン濃度が高かったことの説明として、他の理由がもう一つ考えられる。Pegorrier et al. (81)は、新生ラットにおいてMCT投与後血中のアラニン、グルコース、乳酸およびピルビン酸濃度が2~3倍に上昇することを報告している。彼らはまた、ピルビン酸デヒドロゲナーゼの活性剤と共にMCTを投与した時は、血中のアラニン、乳酸およびピルビン酸濃度は上昇しなかったことも示している。Crozier (26)はラットの肝細胞を用いて、グルコース産生がLCT区と比較してMCT区では2倍高かったことを示している。これらの報告は、MCT投与が糖新生を促進することを示唆している。しかしながら、本実験においては、MCT区における血漿中のグルコース濃度は、LCT区のそれよりも高かったものの、対照区よりは低くなった。したがってMCT区におけるピルビン酸は、糖新生に利用されるのではなく、主にアラニンそしておそらく乳酸の合成に利用されるのかもしれない。

炭水化物区においては、血漿中および肝臓中のアラニン濃度はすべての試験区の中で最も高かった。この理由として、炭水化物投与によってグルコースが上昇し、グ

ルコースからのアラニン合成が高まったものと思われる。

これらの結果より、以下のことが結論として得られた。MCT、LCTおよび炭水化物投与により蛋白質節約作用は異なって発現した。MCT投与とLCT投与の間における蛋白質節約作用発現の違いは、アミノ酸分解酵素系システムには起因していなかった。また、MCT投与によって、ある程度の窒素はグルタミン酸として保留されることが示唆された。したがってMCT投与によって蛋白質節約作用は発現するが、そのうちの一部は、窒素（グルタミン酸）節約作用として働くのかもしれない。

総合考察

本研究は、特異な構造を有する脂肪酸として分子内に二重結合を3つ有する γ -リノレン酸、および鎖長が8, 10の中鎖脂肪酸を取り上げ、それぞれの持つ栄養生化学的な特性について検討したものである。ここで得られた新知見について総合的に考察してみる。

第1章では、 $n-6$ 系列の脂肪酸である γ -リノレン酸を高濃度（約25%）に含むGLA油をラットに給与すると、体蛋白質含量には影響を与えずに体脂肪含量のみが低下することを明らかにした。また、肝臓における脂肪酸合成系酵素の活性には影響を与えずに、脂肪酸 β 酸化に関与するカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソーム β 酸化活性が促進されることを示した。同様なことを、実用家畜である豚においても示した。これらの新知見は $n-3$ 系列の高度不飽和脂肪酸であるエイコサペンタエン酸（EPA）やドコサヘキサエン酸（DHA）を多く含む魚油ですでに報告されている（8, 79）。したがって、 $n-3$ 系列の高度不飽和脂肪酸と同様な特性を $n-6$ 系列である γ -リノレン酸が有するものと思われる。しかし魚油を給与した場合には、たとえば体脂肪含量が低下す

るには飼料中の魚油含量が19-20%程度必要とされ(8,79)、14%程度ではその効果は現れないことが報告されている(5)。本研究でGLA油含量がわずか4%でその効果が明確に示されたことから、n-3系列とn-6系列ではその特性は強度的に異なるものと思われる。脂肪酸 β 酸化系酵素活性に関しては、カルニチンパルミトイル転移酵素が誘導されるには、EPAが600mg/day/kg B.W.、ペルオキシソーム β 酸化においては1300mg/day/kg B.W.以上が必要であることが報告されている(1)。また、DHAは1000mg/day/kg B.W.以上がペルオキシソーム β 酸化の誘導には必要とされている(110)。本研究では、GLA摂取量が440mg/day/kg B.W.で両酵素共に誘導されており、酵素誘導の面においてもGLAは、EPAやDHAとは強度的に異なるものと思われる。一方、脂肪酸合成系酵素への影響に関しては、EPAは活性を抑制することが報告されている。(111)。本研究においては、GLAは脂肪酸合成系酵素活性に影響を与えなかった。したがって、EPA、DHAおよびGLAは脂質代謝に及ぼす影響に関して、強度的のみならず、特性においてもそれぞれ異なる点を有するものと考えられる。

本研究で明かにされたことは、体脂肪含量を低下させるにはリノール酸では不十分で、 $\Delta 6$ 不飽和化反応をパスしたGLAが必要であるということである。すなわち $\Delta 6$ 不飽和化酵素が律速になっていると考えられる。し

かし、GLAそのもの、あるいはその先の代謝産物のどの物質が生理機能を有するかは、現時点では不明である。ただし、GLAは通常ただちにジホモγ-リノレン酸(DHGLA)に鎖長延長されるため、GLAそのものが生理機能を持つとは考えにくい。DHGLAは $\Delta 5$ 不飽和化酵素の作用によりアラキドン酸(AA)へと代謝されるが、この $\Delta 5$ 不飽和化酵素も $\Delta 6$ 不飽和化酵素と同様に様々な条件によって調節されている。また、DHGLAおよびAAが、それぞれプロスタグランジンE₁、E₂の前駆体であることも考慮すると、体脂肪含量低下作用を有するものはDHGLAあるいはAAである可能性が高いと思われる。今後、これらのことを明らかにするため、 $\Delta 6$ 、 $\Delta 5$ 不飽和化酵素の各種阻害剤を用いて検討する必要があると思われる。一方、動物そのものが品種、系統により $\Delta 6$ および $\Delta 5$ 不飽和化酵素活性が異なることが最近ラットで報告され(3)、実験の内容によっては使用する実験動物にも注意することが必要であろう。

第2章では、豚の飼料に中鎖脂肪(MCT)を添加すると、エネルギー摂取量としては変わらないが飼料摂取量が低下し、背脂肪厚の増加は抑制され、脂肪組織の脂肪酸組成は飽和脂肪酸が増加することを示した。すなわち、飼料中へのMCT添加により低脂肪で、かつ硬い脂肪の豚肉が生産される。一般に、肥育去勢豚ではエネルギー

ギーの過剰摂取が厚脂の主要因とされている。したがって飼料へのMCT添加によって、摂取エネルギー量は対照区と同じであるが、そのうちの酸化分解される割合が高くなり、これが主要因として背脂肪厚の増加が抑制されるものと思われる。脂肪酸組成の変化は予想外の結果であったが、これとほぼ同じ現象が、シクロプロペノイドを含むカボック粕の飼料中への添加によって起きることが明らかにされており(42)、すでに実用化されている。以上のことより、飼料中へのMCT添加により、低脂肪かつ硬い脂肪の豚肉が生産されるという実用面での2つの利点が明かであり、MCTの養豚分野における実用レベルでの応用が期待される。

また、小腸末端におけるアミノ酸の利用率がMCT添加によって改善される可能性も示され、蛋白質の有効利用という面においてもMCTの応用は期待される。

第3章では、絶食ラットにおける蛋白質節約作用の発現の仕方、すなわち尿中尿素排泄量が、MCTは長鎖脂肪(LCT)とは異なり炭水化物に近いことを示した。このことは、絶食ラットにおける蛋白質節約作用発現は脂肪酸の利用性(酸化分解)が大きく関与していることを示唆している。脂肪酸の酸化分解が高まるとケトン体の産生が増加するが、一般に、MCT摂取によって血中のケトン体は上昇する。このケトン体が蛋白質節約作用

に 関 与 し て い る 可 能 性 が 高 い (89)。 し か し、 そ れ を 否 定 す る 報 告 も さ れ て お り (59)、 脂 肪 摂 取 に よ る 蛋 白 質 節 約 作 用 の メ カ ニ ズ ム 解 明 に は さ ら に 多 く の 研 究 が 必 要 で あ る う。

肝 臓 に お け る ア ミ ノ 酸 分 解 酵 素 活 性 (S D H, L O G R) の 変 動 と 尿 中 尿 素 排 泄 量 の 反 応 は 必 ず し も パ ラ レ ル な 関 係 と は な ら な か っ た。 こ の こ と は M C T, L C T, 炭 水 化 物 に よ る 蛋 白 質 節 約 作 用 発 現 の 違 い は ア ミ ノ 酸 分 解 系 酵 素 の シ ス テ ム で は 説 明 で き な い こ と を 示 唆 し て い る。 M C T 区 の み に 特 徴 的 に 現 れ る 現 象 は 血 漿 中 の 数 種 類 の ア ミ ノ 酸 濃 度 に 見 ら れ る。 そ の う ち の 1 つ は、 グ ル タ ミ ン 酸 濃 度 が M C T 区 で は 他 の 3 試 験 区 と 比 較 し て 2 倍 以 上 に 上 昇 す る こ と で あ る。 同 様 な 変 化 が ア ス パ ラ キ ン 酸 の 濃 度 に お い て も 見 ら れ る。 こ の 現 象 が 何 に 起 因 し て い る の か は 詳 し く は 不 明 で あ る。 し か し、 M C T 区 で は 分 岐 鎖 ア ミ ノ 酸 や リ ジ ン な ど の 必 須 ア ミ ノ 酸 濃 度 が 低 下 し て お り、 こ れ ら の ア ミ ノ 酸 分 解 に よ り 放 出 さ れ た ア ミ ノ 基 が α -ケ ト グ ル タ ル 酸 に 渡 さ れ て グ ル タ ミ ン 酸 が 生 成 し た の か も し れ な い。

体 脂 肪 蓄 積 の 制 御 と い う 点 に 焦 点 を し ぼ る と、 最 近、 興 味 あ る ユ ニ ー ク な 報 告 が 2 つ さ れ た。 1 つ は、 脂 肪 細 胞 の 抗 体 を 作 成 し、 こ れ を 投 与 す る 方 法 で あ る (49, 78)。 す な わ ち、 脂 肪 細 胞 を 抗 体 に よ っ て 破 壊 し、 脂 肪 の 蓄 積

する場を少なくすることによって脂肪蓄積を制御しようとするものである。もう1つは、微量元素であるクロム(3価)を、ある特殊な形態(クロムピコリネート)で動物に摂取させると体脂肪が低下するというものである(77)。これは、従来あまり研究がされていなかった微量元素のもつ、脂質代謝に対する新しい生理機能と考えられる。これらの研究および本研究の結果も含めて、近い将来脂肪蓄積の制御が可能となり、低脂肪豚肉生産に応用されることが期待される。さらに、これらの研究は人間の肥満に対しても有益な基礎データが提供できるものと思われる。

要 約

本研究は、特異な構造を有する脂肪酸として分子内に二重結合を3つ有する γ -リノレン酸 (GLA)、および鎖長が8, 10の中鎖脂肪酸を取り上げ、それぞれの持つ栄養生化学的な特性について検討を行った。得られた結果は以下の通りである。

1. 微生物由来でGLAを高濃度(約25%)に含むGLA油の摂取がラットの体脂肪および肝臓における脂肪酸代謝関連酵素の活性にどのような影響を与えるかについて検討を行った。飼料中のGLA油量は4%とし、4週間の飼育試験を行った。その結果、飼料摂取量は試験区間で差は認められなかったものの、増体量は対照区に対しGLA油区が低かった。屠体中の脂肪量は対照区に対してGLA油区が有意に少なかった。一方、屠体中の蛋白質および水分量に差は認められなかった。肝臓における脂肪酸合成系酵素の活性は各試験区で差は見られなかったものの、脂肪酸の β 酸化に関与する酵素、すなわちカルニチンパルミトイル転移酵素およびペルオキシソーム β 酸化活性は対照区に対してGLA油区で有意に高くなった。これらの結果は、GLA油摂取が体脂肪量を低下さ

せ、肝臓における脂肪酸 β 酸化を促進させることを明確に示している。

ラットと同様な実験を肥育豚においても行った。すなわちGLA油を1日当たり90g肥育豚に与え、基礎飼料を自由摂取として6週間の飼養試験を行った。その間、背脂肪厚の測定を、超音波測定器を用いて毎週行った。その結果、背脂肪厚の増加量は週の経過と共にほぼ直線的に増加したが、GLA油区が対照区に対して低くなる傾向を示し、第6週目では有意に低くなった。肝臓における脂肪酸 β 酸化系酵素活性は、GLA油区で高い傾向が見られ、特にペルオキシソーム β 酸化活性は統計的に有意差が認められた。以上のことより、ラットと同様な現象が肥育豚においても確認された。

2. 中鎖脂肪酸を組成としてもつ中鎖脂肪(MCT)の摂取が、肥育豚の背脂肪厚、脂肪酸組成にどのような影響を与えるかについて検討した。飼料中のMCTおよび長鎖脂肪(LCT, 大豆油)の添加量を8%とし、肥育去勢豚を用いた4週間の飼養試験を行った。背脂肪厚は超音波測定器を用いて毎週測定した。飼養試験の結果は、飼料効率が対照区(脂肪無添加)に対してMCT, LCT区で有意に改善された。背脂肪厚はいずれの試験区においてもほぼ直線的に増加したが、その増加量は対照区に対してLCT区で有意に高く、逆にMCT区では

有意に低くなった。背脂肪内層の脂肪酸組成は、対照区に対してMCT区では飽和脂肪酸が多くなった。以上の結果より、MCT摂取により肥育豚の背脂肪厚の低下、脂肪組織における飽和脂肪酸の増加が観察され、いわゆる低脂肪で硬い脂肪の豚肉が生産されることが明らかとなった。

MCTはコレシストキニン（膵液分泌促進作用をもつ消化管ホルモン）の分泌を促進する機能をもつことが明らかとされたので、豚小腸末端におけるアミノ酸消化率に及ぼす飼料へのMCT添加（8%）の影響を検討した。その結果、統計的な有意差は認められなかったが、MCT添加によりアミノ酸の消化率は改善される傾向がみられた。

3. MCT, LCTおよび炭水化物の絶食ラットへの投与が、48時間にわたる蛋白質節約作用の発現（尿中尿素排泄量）に対してどのような違いが生ずるかを検討した。併せて、肝臓でのアミノ酸分解酵素および血漿中の遊離アミノ酸濃度も測定した。MCT, LCTおよび炭水化物の投与量は等カロリーになるようにし、対照区は水のみを与えた。実験開始後24時間で、対照区に対して炭水化物およびMCT区の尿中尿素排泄量は有意に低下したが、LCT区では対照区との差は認められなかった。しかし、48時間ではLCT区のそれは対照区に対して有

意に低くなった。肝臓のセリン脱水酵素活性は、MCT区とLCT区で差は見られなかったものの、対照区に対しては両区共に有意に低かった。リジン-2-オキソグルタレート還元酵素活性は炭水化物、LCT区で有意に低くなったが、MCT区では対照区との差は見られなかった。血漿中のグルタミン酸濃度はMCT区で他の3試験区に対して2倍以上に高くなった。これらの結果はMCT, LCTおよび炭水化物の投与によって蛋白質節約作用は異なった形で発現し、MCTとLCT間の違いは、アミノ酸分解系のシステムでは説明できないことを示している。また、MCT投与による窒素の保留の一部は、グルタミン酸として蓄積されることが示唆された。

文 献

- 1) Aarsland, A., Lundquist, M., Børretsen, B. & Berge, R.K. (1990)
On the effect of peroxisomal β -oxidation and carnitine palmitoyltransferase activity by eicosapentaenoic acid in liver and heart from rats. *Lipids* 25: 546-548.
- 2) Alle, G.L., Romsos, D.R., Leveille, G.A. & Baker, D.H. (1972)
Metabolic consequence of dietary medium-chain triglycerides in the pig. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 139: 422-427.
- 3) de Antueno, R.J., Elliot, M. & Horrobin, D.F. (1994) Liver $\Delta 5$ and $\Delta 6$ desaturase activity differs among laboratory rat strains. *Lipids* 29: 327-331.
- 4) Aurousseau, B. & Vermoral, M. (1971) Caprylic acid utilization by growing rats at two different physiological states. *Nutr. Rep. Int.* 4: 95-102.
- 5) Awad, A.B., Bernardis, L.L. & Fink, C.S. (1990) Failure to demonstrate an effect of dietary fatty acid composition on body weight, body composition and parameters of lipid metabolism in mature rats. *J. Nutr.* 120: 1277-1282.
- 6) Bach, A.C. & Babayan, V.K. (1982) Medium-chain triglycerides: an update. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 950-962.
- 7) Bach, A.C., Frey, A. & Lutz, O. (1989) Clinical and experimental effects of medium-chain triglyceride-based fat emulsion—a review.

Clin. Nutr. 8: 223-235.

- 8) Belzung, F., Raclot, T. & Groscolas, R. (1993) Fish oil n-3 fatty acids selectively limit the hypertrophy of abdominal fat depots in growing rats fed high-fat diets. *Am. J. Physiol.* 264: R1111-R1118.
- 9) Benevenga, N.J., Steinman-Goldsworthy, J.K., Crenshaw, T.D. & Odle (1989) Utilization of medium-chain triglycerides by neonatal piglets : 1. Effects on milk consumption and body fuel utilization. *J. Anim. Sci.* 67: 3331-3339.
- 10) Berge, R.K., Flatmark, T. & Christiansen, E.N. (1987) Effect of high-fat diet with partially hydrogenated fish oil on long-chain fatty acid metabolizing enzymes in subcellular fractions of rats liver. *Arch. Biochem. Biophys.* 252: 269-276.
- 11) Berge, R.K., Nilsson, A. & Husøy, A.M. (1988) Rapid stimulation of liver palmitoyl-CoA synthetase, carnitine palmitoyltransferase and glycerophosphate acyltransferase compared to peroxisomal β -oxidation and palmitoyl-CoA hydrolase in rats fed high-fat diets. *Biochim. Biophys. Acta* 960: 417-426.
- 12) Bieber, L.L., Abraham, T. & Helmrath, T. (1972) A rapid spectrophotometric assay for carnitine palmitoyltransferase. *Anal. Biochem.* 50: 509-518.
- 13) Blumer, T.N., Barrick, E.R., Brown, W.L., Smith, F.H. & Smart, W.W.G. (1957) Influence of changing the kind of fat in the diet at various weight intervals on carcass fat characteristics of

- swine. *J. Anim. Sci.* 16: 68-73.
- 14) Bottino, N.R., Vandenberg, G.A. & Reiser, R. (1967) Resistance of certain long-chain polyunsaturated fatty acids of marine oils to pancreatic lipase hydrolysis *Lipids* 2: 489-493.
 - 15) Brenner, R.R. (1989) Factors influencing fatty acid chain elongation and desaturation. In: *The Role of Fats in Human Nutrition* (Vergroesen, A.J. and Crawford, M. eds), pp. 45-79, Academic Press, London.
 - 16) Buse, M.G., Biggers, J.F., Friderici, K.H. & Buse, J. (1972) Oxidation of branched chain amino acids by isolated heart and diaphragms of the rat. *J. Biol. Chem.* 247: 8085-8096.
 - 17) Campbell, R.G., Taverner, M.R. & Curic, D.M. (1984) Effect of feeding level and dietary protein content on the growth, body composition and rate of protein deposition in pigs growing from 45 to 90 kg. *Anim. Prod.* 38: 233-240.
 - 18) Carlson, K.H. & Bayley, H.S. (1970) Nitrogen and amino acids in the feces of young pigs receiving a protein-free diet and diets containing graded levels of soybean oil meal or casein. *J. Nutr.* 100: 1353-1362.
 - 19) Cera, K.R., Mahan, D.C. & Reinhart G.A. (1989) Postweaning swine performance and serum profile responses to supplemental medium-chain free fatty acids and tallow. *J. Anim. Sci.* 67: 2048-2055.
 - 20) Chang, T.W. & Goldberg, A.L. (1978) The origin of alanine

- produced in skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 253: 3677-3684.
- 21) Chang, T.W. & Goldberg, A.L. (1978) The metabolic fates of amino acids and the formation of glutamine in skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 253: 3685-3695.
- 22) 千国幸一、神部昌行、小沢 忍、小石川常吉、吉武 充、矢野信礼
(1985) 脂肪酸組成の品種間差と性差の成長に伴う変化. *日豚研誌* 22:
200-205.
- 23) Christian A. Drevon (1992) Marine oils and their effects.
Nutrition Reviews 50: 38-45.
- 24) Christopherson, S.W. & Glass, R.L. (1969) Preparation of milk fat methyl esters by alcoholysis in an essentially nonalcoholic solution. *J. Dairy Sci.* 52: 1289-1290.
- 25) Cleary, M.P., Shepherd, A. & Jenks, B. (1984) Effect of dehydroepiandrosterone on growth in lean and obese Zucker rats. *J. Nutr.* 114: 1242-1251.
- 26) Crozier, G.L. (1988) Medium-chain triglyceride feeding over the long term: The metabolic fate of [^{14}C]octanoate and [^{14}C]pate in isolated rat hepatocytes. *J. Nutr.* 118: 297-304.
- 27) Davies, A.S. (1983) Growth and development of pigs : a reanalysis of the effects of nutrition on body composition. *J. Agric. Sci. Camb.* 100: 681-687.
- 28) Douglas, B.R., Jansen, J.B.M.J., Dejong, A.J.L. & Lamers, C.B.H. w. (1990) Effect of various triglycerides on plasma cholecystokinin levels in rats. *J. Nutr.* 120: 686-690.

- 29) Farnworth, E.R. & Kramer, J.K.G. (1987) Fat metabolism in growing swine: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 301-318.
- 30) Furuya, S. & Takahashi, S. (1975) Rate of passage of chromic oxide and polyethylen glycol and digestibility in the digestive tract of pigs. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 46: 630-641.
- 31) Furuya, S., Nagano, R. & Kaji, Y. (1986) True ileal digestibility of crude protein and amino acids in protein sources as determined by a regression method for growing pigs. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 57: 859-870.
- 32) Furuya, S., Kaji, Y., Asano, T. & Murayama, R. (1988) Ileal digestibilities of amino acids in wheat bran, rice bran, rapeseed meal, grain sorghum, meat and born meal and feather meal for growing pigs. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 59: 407-413.
- 33) Geliebter, A., Torbay, N., Bracco, E.F., Hashim, S.A. & Van Itallie ((1983) Overfeeding with medium-chain triglyceride diet result in diminished deposition of fat. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 1-4.
- 34) Hanrahan, J.P., Quirke, J.F., Bomann, W., Allen, P., McEwan, J.C., Fitzsimons, J.M., Kotzian, J. & Roche, J.F. (1986) β -Agonists and their effects on growth and carcass quality. In: W. Haresign & D.J.A. Cole [eds.] *Recent Advance in Animal Nutrition* pp. 125-138. Butterworths, London.
- 35) Harper, A.A. & Raper, H.S. (1943) Pancreozymin, a stimulant of the secretion of pancreatic enzymes in extract of the small

- intestine. *J. Physiol. Lond.* 102: 115-125.
- 36) Haslett, C., Douglas, J.G., Chalmers, S.R., Weighhill, A. & Munro, J.F. (1983) A double-blind evaluation of evening primrose oil as an antiobesity agent. *Int. J. Obesity* 7: 549-553.
- 37) Heimermann, W.H., Holman, R.T., Gordon, D.T., Kowalyshyn, D.E. & Jensen, R.G. (1973) Effect of double bond position in octadecenoates upon hydrolysis by pancreatic lipase. *Lipids* 8: 45-47.
- 38) 堀内 篤、奥 絃一郎、河原崎達雄 (1982) カボック油粕の給与が豚体脂肪の組成に及ぼす影響調査. 静岡県養豚試験場報告 30: 52-60.
- 39) Horrobin, D.F. (1981) Loss of delta-6-desaturase as a key factor in aging. *Med. Hypothesis* 7: 1211-1220.
- 40) Huang, Y.S., Manku, M.S. & Horrobin, D.F. (1984) The effects of dietary cholesterol on blood and liver polyunsaturated fatty acids and plasma cholesterol in rats fed various types of fatty acid diet. *Lipids* 19: 664-672.
- 41) 井手 隆 (1988) γ -リノレン酸の代謝調節機能. 日本農芸化学会誌 62: 46-49.
- 42) 井上 譲、金氏剛也、執行文昭 (1989) カボック油の給与が豚脂の脂肪酸組成におよぼす影響. 日畜会報 51: 830-836.
- 43) 入江正和、大本邦介 (1985) 高リノール酸飼料給与豚におけるカボック粕の軟脂改善効果. 日豚研誌 22: 168-173.
- 44) Ishii, H., Fukumori, N., Horie, S. & Suga, T. (1980) Effect of fat content in the diet on hepatic peroxisomes of the rat.

Biochim Biophys. Acta 617: 1-11.

- 45) Jogensen, H., Sauer, W.C. & Thacker, P.A. (1984) Amino acid availabilities in soybean meal, sunflower meal, fish meal and meat and bone meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 58: 926-934.
- 46) Just, A. (1982) The net value of crude fat for growing pigs. *Livestock Prod. Sci.* 9: 501-509.
- 47) 柏原典雄 (1990) 経腸栄養剤. 日本農芸化学会編、化学と生物、 28: 238-245, 学会出版センター、東京.
- 48) kaunitz, H., Slanetz, C.A., Johnson, R.E., Babayan, V.K., & Barsky G. (1958) Nutritional properties of the triglycerides of saturated fatty acids of medium chain-length. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 35: 10-13.
- 49) Kestin, S., Kennedy, R., Tonner, E., Kiernan, M., Cryer, A., Griffin, H., Butterwith, S., Rhind, S., & Flint, D. (1993) Decreased fat content and increased lean in pigs treated with antibodies to adipocyte plasma membranes. *J. Anim. Sci.* 71: 1486-1494.
- 50) 小林博史、柳川道夫、(1983) 豚の肉質改善に関する試験 (第4報)、カボック油の給与が豚肉質に及ぼす影響. 埼玉畜試研報 21: 85-93.
- 51) Lazarow, P.B. and de Duve, C. (1976) A fatty acyl-CoA oxidizing system in rat liver peroxisomes; enhancement by clofibrate, a hypolipidemic drug. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 73: 2043-2046.
- 52) Low, A.G. (1980) Amino acid use by the piglet. In: Haresign, W. [eds] *Recent advances in animal nutrition.* pp.141-156.

Butterworths London and Boston.

- 53) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. & Randall, R.J. (1951)
Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*
193: 265-275.
- 54) Mabayo, R.T., Furuse, M., Yong, S. & Okumura, J. (1992)
Medium-chain triacylglycerols enhance release of cholecystokinin
in chicks. *J. Nutr.* 122: 1702-1705.
- 55) Maede, R.J. (1972) Biological availability of amino acids *J. Anim.*
Sci. 35: 713-723.
- 56) Martyn, P. & Hansen, I.A. (1981) Initiation of lipogenic enzyme
activities in rat mammary glands. *Biochem. J.* 198: 187-192.
- 57) McGarry, J.D. & Foster, D.W. (1980) Regulation of hepatic fatty
acid oxidation and ketone body production. *Ann. Rev. Biochem.* 49:
395-420.
- 58) Mersmann, H.J. (1987) Nutritional and endocrinological influences
on the composition of animal growth. In: R.F. Chandra [eds.]
Progress in food and nutrition science, Vol. II, Pergamon Press,
New York.
- 59) Miles, J.M., Nissen, S.L., Rizza, R.A., Gerich, J.E., & Haymond,
M.W. (1983) Failure of infused β -hydroxybutyrate to decrease
proteolysis in man. *Diabetes* 32: 197-205.
- 60) 森本 宏 (監修)、(1971) 動物栄養試験法、養賢堂 東京.
- 61) Morrison, W.R. & Smith, L.M. (1964) Preparation of fatty acid
methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron

- fluoride-methanol. J. Lipid Res. 5: 600-608.
- 62) Munro, H.N. (1964) General aspects of the regulation of protein metabolism by diet and hormones. In: Munro, H.N. & Allison, J.B. [eds] Mammalian protein metabolism vol. I pp.382-482, Academic Press, New York.
- 63) Nakano, K. & Ashida, K. (1970) Effect of dietary carbohydrate and fat on amino acid-degrading enzymes in relation to their protein sparing action. J. Nutr. 100: 208-216.
- 64) Nakano, K. & Ashida, K. (1972) Further studies on the effect of dietary carbohydrate and fat on protein metabolism in rats. J. Nutr. 102: 283-290.
- 65) Nakano, K. Ando, T. & Ashida, K. (1974) Effect of feeding carbohydrate or fat on incorporation of ¹⁴C-phenylalanine in vivo and in vitro into rat liver and muscle protein. J. Nutr. 104: 264-271.
- 66) Nakano, K. & Ashida, K. (1975) Possible intervention of insulin, cyclic AMP, and glucocorticoids in protein-sparing action of dietary carbohydrate in rats. J. Nutr. 105: 906-913.
- 67) Nakano, K. Ishikawa, T. (1977) Role and metabolism of free leucine in skeletal muscle in protein sparing action of dietary carbohydrate and fat. Agric. Biol. Chem. 41: 229-234.
- 68) Neat, C.E., Thomassen, M.S. & Osmondsen, H. (1980) Induction of peroxisomal β -oxidation in rat liver by high-fat diets. Biochem. J. 186: 369-371.

- 69) Newport, M.J., Storry, J.E. & Tuckley B. (1979) Artificial rearing of pigs 7. Medium chain triglycerides as a dietary source of energy and their effect on live-weight gain, feed:gain ratio, carcass composition and blood lipids. *Br. J. Nutr.* 41: 85-93.
- 70) 日本種豚登録協会編、豚産肉能力検定実務書 (1979).
- 71) Noda, C. & Ichihara, A. (1978) Purification and properties of l-lysine- α -ketoglutarate reductase from rat liver mitochondria. *Biochim. Biophys. Acta* 525: 307-313.
- 72) 農林水産省農林水産技術会議事務局編、(1987) 日本飼養標準、豚(1987年版)、中央畜産会。
- 73) 農林水産技術会議事務局編 (1987) 日本標準飼料成分表(1987年版) 農林水産省農林水産技術会議事務局。
- 74) Ochoa, S. (1955) "Malic" Enzyme. *Meth. Enzymol.* 1: 739-741.
- 75) Odle, J., Benevenga, N.J. & Crenshaw, T.D. (1989) Utilization of medium-chain triglycerides by neonatal piglets: 2. Effects of even- and odd-chain triglyceride consumption over the first 2 days of life on blood metabolites and urinary nitrogen excretion. *J. Anim. Sci.* 67: 3340-3351.
- 76) O'Hea, E.K. & Leveille, G.A. (1969) Significance of adipose tissue and liver as sites of fatty acid synthesis in the pig and the efficiency of utilization of various substrates for lipogenesis. *J. Nutr.* 99: 338-344.
- 77) Page, T.G., Southern, L.L., Ward, T.L., & Thompson, Jr.D.L. (1993)

- Effect of chromium on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 656-662.
- 78) Panton, D., Futter, C., Kestin, S., & Flint, (1990) Increased growth and protein deposition in rats treated with antibodies to adipocytes. *Am. J. Physiol.* 258: E985-E989.
- 79) Parrish, C.C., Pathy, D.A. & Angel, A. (1990) Dietary fish oils limit adipose tissue hypertrophy in rats. *Metabolism* 39: 217-219.
- 80) Paul, H.S. & Adibi, S.A. (1976) Assessment of effect of starvation, glucose, fatty acids and hormones on α -decarboxylation of leucine in skeletal muscle of rat. *J. Nutr.* 106: 1079-1088.
- 81) Pegorier, J.P., Leturque, A., Ferre, P., Turlan, P. & Girard, J. (1983) Effects of medium-chain triglyceride feeding on glucose homeostasis in the newborn rat. *Am. J. Physiol.* 244: E329-E334.
- 82) Reeds, P.J., Fuller, M.F., Cadenhead, A., Lobley, G.E. & McDonald, J.D. (1981) Effects of changes in the intakes of protein and non-protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 45: 539-546.
- 83) Reeds, P.J., Fuller, M.F., Cadenhead, A. & Hay, S.M. (1987) Urea synthesis and leucine turnover in growing pigs: changes during 2 d following the addition of carbohydrate or fat to the diet. *Br. J. Nutr.* 58: 301-311.
- 84) Rudolph, B.C., Boggs, L.S., Tanksley, JR. D.A. & Anderson, S.A. (1983) Digestibility of nitrogen and amino acids in soybean

- products for pigs. *J. Anim. Sci.* 57: 373-386.
- 85) 斎藤 守、高橋正也、(1985) 豚における消化率の変動要因、1) 消化率
におよぼす飼料の給与量と体重の影響。 畜試研報、43: 93-98.
- 86) Sauer W.C., Giovannetti, P.M. & Stothers, S.C. (1974)
Availability of amino acids from barley, wheat, triticale, and
soybean meal for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 54: 97-105.
- 87) Sauer, W.C., Stothers, S.C. & Parker, R.J. (1977) Apparent and
true availabilities of amino acids in wheat and milling
by-products for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 57: 775-784.
- 88) Sauer, W.C., Just, A., Jorgensen, H.H., Fekadu, M. & Eggum, B.O.
(1980) The influence of diet composition on the apparent
digestibility of crude protein and amino acids at the terminal
ileum and overall in pigs. *Acta Agr. Scand.* 30: 449-459.
- 89) Sherwin, R.S., Hendler, R.G., & Felig, P. (1975) Effect of ketone
infusion on amino acid and nitrogen metabolism. *J. Clin. Invest.*
55: 1382-1390.
- 90) 清水 昌 (1993) Single cell oil: 微生物によって作られる有用油脂
類. 日本農芸化学会編、化学と生物、31: 312-322, 学会出版センター
東京.
- 91) Spydevold, O. & Hokland, B. (1981) Oxidation of branched-chain
amino acids in skeletal muscle and liver of rat. Effects of
octanoate and energy state. *Biochim. Biophys. Acta* 676: 279-288.
- 92) Suda, M. & Nakagawa, H. (1971) L-Serine dehydratase (rat liver).
Meth. Enzymol. 17B: 346-351.

- 93) Sugano, M., Ishida, T. & Ide, T. (1986) Effect of various polyunsaturated fatty acids on blood cholesterol and eicosanoids in rats. *Agric. Biol. Chem.* 50: 2335-2340.
- 94) 杉本亘之 (1985) 豚における飼料の給与水準が消化率に及ぼす影響. *日畜会報*, 56: 797-801.
- 95) 杉本亘之 (1986) 豚における飼料の質および給与水準が消化管内通過速度に及ぼす影響. *日畜会報*, 57: 818-822.
- 96) Summers, J.D. (1984) The extra caloric value of fats in poultry diets. In: Wiseman, J. [eds] *Fat in animal nutrition* pp. 265-276. Butterworths, Lond.
- 97) Tagliaferro, A.R., Davis, J.R., Truchon, S. & Hamont, N.V. (1986) Effects of dehydroepiandrosterone acetate on metabolism, body weight and composition of male and female rats. *J. Nutr.* 116: 1977-1983.
- 98) Tajima, K., Takada, R., Itabashi, K., Kameoka, K. & Sugimura, K. (1993) Effects of long- and medium-chain triglycerides on amino acid uptake in rat intestinal brush border membrane vesicles. *Comp. Biochem. Physiol.* 106A: 719-723.
- 99) Takada, R. & Mori, T. (1989) Effects of feeding frequency on the utilization of added lysine and on the digestibility of the diet in pigs. *Jpn. J. Zootech. Sci.* 60: 231-235.
- 100) Takada, R., Saitoh, M. & Mori, T. (1990) Comparative effects of glucose, long-chain triglycerides and medium-chain triglycerides on the protein metabolism of fasted rats. *Agric. Biol. Chem.*

54: 2755-2756.

- 101) 高田良三、設楽 修、斎藤 守、森 淳 (1992) 中鎖脂肪給与が肥育豚の発育、消化率、背脂肪および脂肪酸組成に及ぼす影響. 日豚学誌 29: 32-40.
- 102) Takada, R., Saitoh M. & Mori T. (1994) Dietary γ -Linolenic acid-enriched oil reduces body fat content and induces liver enzyme activities relating to fatty acid β -oxidation in rats. J. Nutr. 124: 469-474.
- 103) Tanksley, T.D. & Corley, J.R. (1981) Apparent digestibility of amino acids and nitrogen in three cottonseed meals and one soybean meal. J. Anim. Sci. 52: 769-777.
- 104) Taverner, M.R. Hume, I.D. & Farrell, D.J. (1981) Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 2. Apparent and true ileal availability. Br. J. Nutr. 46: 159-171.
- 105) Thomassen, M.S., Christiansen, E.N. & Norum, K.R. (1982) Characterization of the stimulatory effect of high-fat diets on peroxisomal β -oxidation in rat liver. Biochem. J. 206: 195-202.
- 106) Tsugawa, N., Okano, T., Takeuchi, A., Kayama, M. & Kobayashi, T. (1992) Metabolism of orally administered ergosterol and 7-dehydrocholesterol in rats and lack of evidence for their vitamin D biological activity. J. Nutr. Sci. Vitamin. 38: 15-25.
- 107) 梅本栄一、小山 昇、池田勝俊 (1982) カボック粕の給与が豚の発育および脂肪酸組成に及ぼす影響. 神奈川畜試研報、72: 56-66.
- 108) Vaddadi, K.S. & Horrobin, D.F. (1979) Weight loss produced by

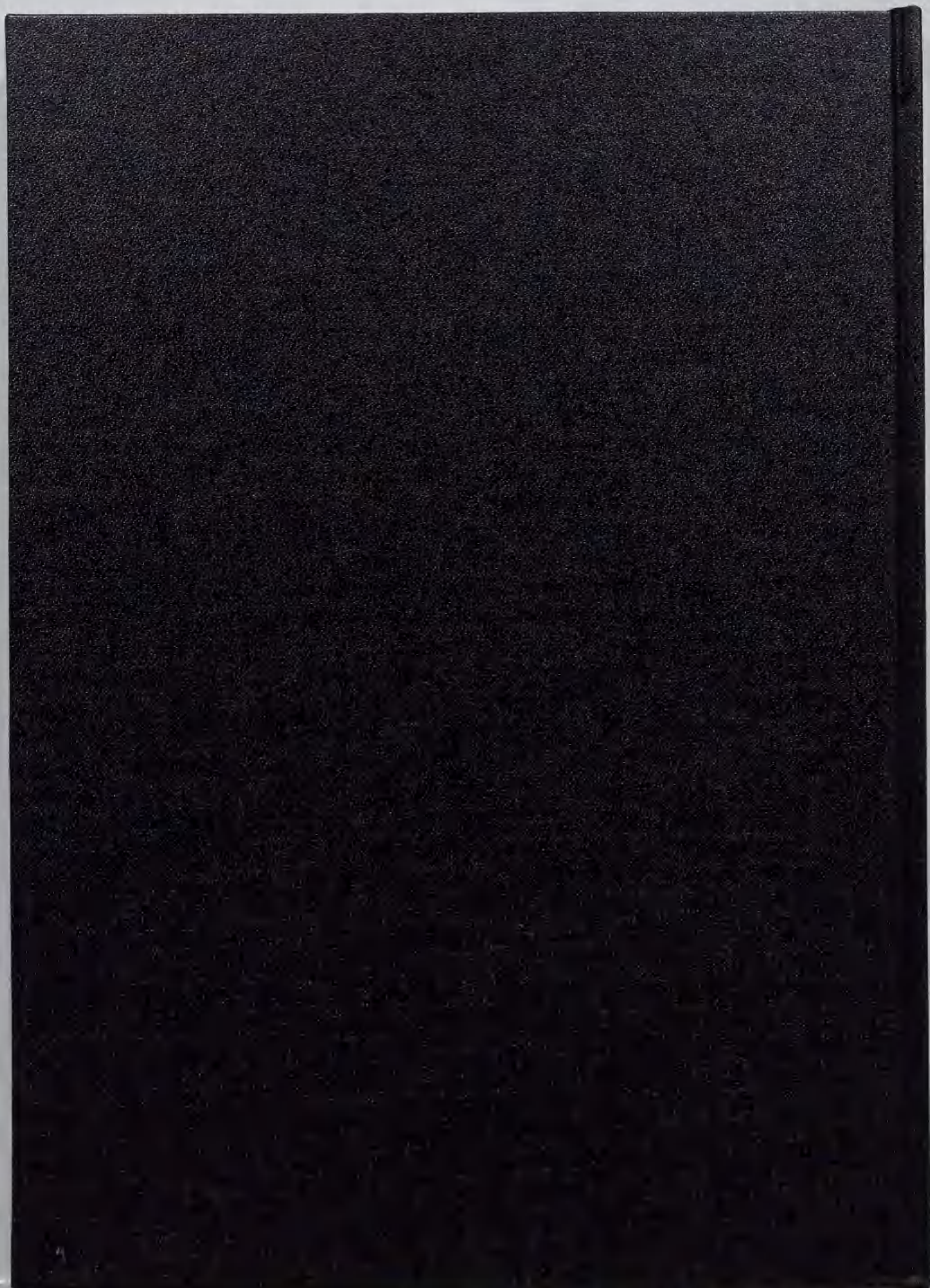
- evening primrose oil administration in normal and schizophrenic individuals. *IRCS Medical Science* 7: 52.
- 109) Whittmore, C.T. & Elsley, F.W.H. (1977) *Practical pig nutrition* 2nd ed. pp. 20-38. Farming Press Ltd., Wharfedale Road, Ipswich, Suffolk.
- 110) Willumsen, N., Hexeberg, S., Skorve, J., Lundquist, M., & Berge R.K. (1993) Docosahexaenoic acid shows no triglyceride-lowering effects but increases the peroxisomal fatty acid oxidation in liver of rats. *J. Lipid Res.* 34: 13-22.
- 111) Willumsen, N., Skorve, J., Hexeberg, S., Rustan, A.C., & Berge, R.K. (1993) The hypotriglyceridemic effect of eicosapentaenoic acid in rats is reflected in increased mitochondrial fatty acid oxidation followed by diminished lipogenesis. *Lipids* 28: 683-690.
- 112) Yen, Y.-Y. & Zee, P. (1976) Relation of ketosis to metabolic changes induced by acute medium-chain triglyceride feeding in rats. *J. Nutr.* 106: 58-67.
- 113) 吉田 実、小坂清巳、堀井 聰、亀岡暄一 (1967) リン酸カリ試薬による酸化クロームの新定量法について. *日家禽会誌*, 4: 24-29.

謝 辞

本研究は、農林水産省畜産試験場栄養部栄養第2研究室において進められたものであり、終始暖かいご助言ご指導をいただきました現室長斎藤守博士ならびに前室長森淳博士、元室長高橋正也博士に深く感謝いたします。

また、共同研究者である農林水産省九州農業試験場畜産部梶雄次博士、兵庫県立中央農業技術センター畜産試験場設楽修研究員、新技術事業団田島清博士に厚く御礼申し上げます。

研究の実施、分析等でご協力いただいた酒匂容子氏および当研究室に在籍された研修生の方々に深く感謝いたします。また、豚舎における豚の実験で多大なるご協力をいただいた当场動物第3管理室の方々に厚く御礼申し上げます。



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

