飼料中のグルコシノレートと家畜・家禽への影響

松 本 達 郎

東北大学農学部, 仙台市 980

Glucosinolates in Feeds and Effects on Performance in Livestock and Poultry

Tatsuro MATSUMOTO

Faculty of Agriculture, Tohoku University,
Sendai-shi 980

グルコシノレート (glucosinolates) は、以前はカラシ油配糖体 (mustard oil glucosides) とか、含硫配糖体 (thioglucosides) と呼ばれていたもので、ナタネ子実中では柔組織 (parenchymal tissues) に広く分布している。glucosinolates を分解する酵素 myrosinase は、ミロシン細胞 (myrosin cell) と呼ばれる特定の異形細胞内にあって、植物体内では両者は隔離されて存在しているが、子実の細胞がこわされ、水分含量が充分であると、この酵素が作用して glucosinolates が分解し、グルコースと酸性硫酸イオンを遊離する一方、oxazolidine-thione (OZT, ゴイトリ), isothiocyanate (ITC, カラシ油), alkyl-cyanamide (nitrile, ニトリル) などを生成する。

ミロシナーゼによるグルコシノレートの加水分解

搾油の際にナタネ子実を押し潰すと、myrosinase が働いて glucosinolates の一部が分解するが、大部分はそのまま油粕中に残存する。加熱処理が充分行なわれていない場合には、酵素の活性もナタネ粕中に保たれている。glucosinolates を含んだナタネ粕に水が加わり、myrosinase が作用する場合、その条件によって分解生成物の種類や量が変化する。HILL¹⁾は、加熱していないナタネ粕に水を加えて自己消化を行なわせると、nitriles が主で OZT の少い加水分解が生成するのに対し、予め加熱処理をしてナタネ自体に含まれていた myrosinase を不

活化した後、改めて新たにカラシの myrosinase を添加して加水分解を行なわせると、OZT が主で nitriles の生成が少いことを観察した。更に、ナタネ (*Brassica napus*) の myrosinase を作用させた場合と、白カラシ (*Sinapis alba*) の myrosinase を作用させた場合とを比較したところ、白カラシの myrosinase を用いたときの方が OZT および ITC の測定値が高く、いずれの酵素を用いた場合も、アスコルビン酸 (AsA) を添加した場合の測定値は、添加せずに測定した値に比べて高くなった。特に、ナタネの myrosinase を用いた場合は、AsA 添加の有無によって OZT の測定値に大きな開きがあることを確かめている。myrosinase に AsA を添加すると myrosinase の活性が著しく増大する現象は、1957 年に長島と内山²⁾によって報告されており、AsA を加えなくても活性をもっているものと、AsA を加えなければほとんど活性を示さないものがあることも知られているが³⁾、酵素の由来 (origin) が違うと、glucosinolates の加水分解反応そのものが異なるのかどうか、今後更に詳細に検討する必要がある。最近 MELVIN⁴⁾は、ナタネと極めて近縁な植物であるキャベツ (*Brassica oleracea*) の新鮮な葉を、pH を調整せずに自己消化させると (pH 5.6~6.3), 主として nitriles を生成し、同じキャベツを一旦風乾した後 pH 5.8~6.3 で自己消化させると、主に ITC や OZT を生成することをみている。この場合は同じ由来の酵素を、同じ glucosinolates に作用させているのであるが、僅かな処理の違いで、その分解生成物が

異なることを示すものとして注目される。

myrosinase はカラシやワサビなどの辛味を生成させる酵素として古くから知られており、アブラナ科 (Cruciferae) を主とする植物界および微生物界にも存在している。当初は myrosine または sinigrinase と名付けられていたが、最近では glucosinolase とも呼ばれている。International Union of Biochemistry の命名規則に従うと、正式には thioglucoside glucohydrazase (E. C. 3. 2. 3. 1.) と記すことになっている。myrosinase に関する最近の知見をとりまとめたものとして大鶴³⁾の総説があるが、glucosinolates に対する myrosinase の反応機構、ならびにその分解生成物に関して、今後の研究の進展にまたねばならない点が多いようである。

1. ゴイトリン

アブラナ属 (*Brassica*) 植物の子実をラットに給与すると甲状腺が肥大することを KENNEDY and PURVES⁵⁾が報告したが、ASTWOOD *et al.*⁶⁾は、アブラナ属植物の子実および葉から抗甲状腺作用のある物質を単離し、その化学構造を決定して L-5-vinyl-2-thiooxazolidone (略称 VTO) と命名した。その後 (-)-5-vinyl-2-oxazolidinethione または (-)-5-vinyl-2-oxazolidine-2-thione (略称 OZT) と改名され、その抗甲状腺作用に基づいて goitrin という呼称が広く用いられている。また、goitrin を形成する 2-hydroxy-3-butenylglucosinolate は progoitrin と名付けられており、progoitrin より goitrin の形成経路は次の様に考えられている。

Astwood ら⁶⁾は、投与した放射性ヨウ素 (^{131}I) の甲状腺内へのとりこみ阻害を指標にして goitrin の抗甲状腺作用を検討し、goitrin のヒトに対する抗甲状腺作用は thiouracil (TU) と等しく、ラットに対しては TU の 1/5 であったと述べている。しかし、goitrin を長期間ラ

ットに投与した場合、体重に対する甲状腺重量の比は著しく増大したが、 ^{131}I の甲状腺へのとりこみについては、対照区と差がなかったという報告^{7,8)}もあり、抗甲状腺作用の強さの比較は、単純には行なえないようである。

抗甲状腺物質を実験動物に投与した場合、甲状腺重量が著しく増大するのは、抗甲状腺物質が甲状腺におけるホルモンの生合成を阻害し、その結果血中の thyroxine 濃度の減少がおきると、脳下垂体前葉より甲状腺刺激ホルモン (TSH) の分泌が増加し、これが甲状腺を刺激して甲状腺重量を増加させるものと考えられている⁹⁾。抗甲状腺作用の強さを比較する場合、ヨウ素のとりこみ阻害を指標にするか、甲状腺の重量増加を指標にするか、甲状腺内のホルモン生合成に対する阻害を指標にするか、あるいは、血中の甲状腺ホルモン濃度の減少を指標にするかによって、抗甲状腺作用の評価は異なってくる。AKIBA and MATSUMOTO¹⁰⁾は、白レグ雄初生ヒナに goitrin または propylthiouracil (PTU) を段階的に種々異なった水準で添加した飼料を 14 日間給与し、14 日令に Na^{131}I を注射して goitrin と PTU の抗甲状腺作用を parallel-line assay によって検討した。goitrin の甲状腺肥大作用は PTU の約 1/3、血中の甲状腺ホルモン濃度を減少させる作用では PTU の 1/10~1/15、甲状腺内でのホルモン生合成を阻害する作用は PTU の 1/20~1/25 という結果を得た。なお、 ^{131}I の甲状腺へのとりこみ阻害作用については、PTU は ^{131}I のとりこみを減少させたが goitrin は逆にとりこみを増加させたので、この指標を用いて両者の抗甲状腺作用を比較することは出来なかった。CLANDININ ら¹¹⁾は、合成 goitrin (ラセミ体)を用いて、ヒナの成長、甲状腺重量、甲状腺の ^{131}I とりこみ、および、甲状腺からの ^{131}I の排出速度への影響を調べた。goitrin を飼料に添加したことによって、最初は甲状腺の ^{131}I とりこみが減退し、甲状腺からの排出速度の方は早められたが、3~4 週間経過すると、 ^{131}I のとりこみが増加し、甲状腺からの排出速度は正常に復した。goitrin を摂取したヒナでは、体重に対する甲状腺重量の比が増加したまま生理的平衡状態に到達したのと考えられると述べている。goitrin または PTU を 10 mg, 1 日 2 回, 3 日間連続してヒナの筋肉内に注射した AKIBA and MATSUMOTO¹²⁾の実験では、goitrin も PTU もともに甲状腺の ^{131}I とりこみを減少させ、甲状腺内のホルモン合成を抑制し、血漿中の PB^{131}I 濃度を低下させた。この場合の抗甲状腺作用については、goitrin と PTU との間に差がなかった。30 mg の goitrin または PTU を、微アルカリ性水溶液として、2 週令の白レグ雄ヒナに 1 回だけ経口投与した場合¹³⁾は、goitrin 投与

後抗甲状腺作用発現までの時間が、PTU に比較して長くかかり、その作用の消失するまでの時間は goitrin の方が早かった。

成長中のヒナに goitrin, methimazole (1-methyl-2-mercaptoimidazole) および methiocil (6-methyl-thiou-racil) の3種の抗甲状腺物質を飼料に 0.05% 添加して3週間給与し、甲状腺の ^{131}I とりこみと排出を比較した MATSUMOTO ら¹⁴⁾の実験によると、goitrin 添加の場合は、甲状腺の単位重量あたりの ^{131}I とりこみは抗甲状腺物質を含まない飼料を給与した対照区のヒナとほぼ同じで、甲状腺からの ^{131}I の排出速度も対照区と同様にゆるやかであった。methimazole あるいは methiocil を添加した区では、甲状腺の単位重量あたりの ^{131}I のとりこみが、対照区あるいは goitrin 区の約 1/2 となり、甲状腺からの排出速度は対照区よりも早くなった。この場合、goitrin 添加区の甲状腺重量は対照区の約3倍になっていて、 ^{131}I のとりこみ総量としては goitrin 区は対照区の約3倍の値を示した。

甲状腺ホルモンは、循環血より無機態のヨウ素イオンを甲状腺内の thyroglobuline 分子内にとり入れて、ここで酸化酵素系の働きによってヨウ素と tyrosine とを結合させて monoiodotyrosine (MIT) および diiodotyrosine (DIT) を生成し、2分子の DIT が縮合して thyroxine (T_4) を作り、1分子の MIT と1分子の DIT とが縮合して triiodothyronine (T_3) を生成するものと考えられている¹⁵⁾。goitrin または PTU を 0.0125~0.05% 添加した飼料を給与したヒナに Na^{131}I を投与して、甲状腺ホルモンの生合成に対する影響を比較した AKIBA and MATSUMOTO^{10,16,17)}の実験によると、PTU は甲状腺ホルモンの生合成の全ての段階を抑制するのに対して、goitrin は甲状腺ホルモンの生合成を阻害するが、ヨウ素イオンの酸化および MIT の生成は阻害しない。しかし、甲状腺内の iodothyronine ($\text{T}_3 + \text{T}_4$) の低下が比較的少ない割には、血中のホルモン濃度の低下が幾分大きいことは、goitrin が甲状腺ホルモンの分泌機能に何らかの阻害作用を及ぼしていることを示唆している。

Lo and HILL¹⁸⁾は、glucosinolate 含量の低いナタネ粕 (Bronowski meal) と含量の高いナタネ粕 (B. napus meal) とを用いて、飼料中の glucosinolates 含量が 0.3% のものと、2.6% のものとを調製し、この二種類の飼料の摂取量が同一になるように制限給餌した場合のラットの甲状腺の ^{125}I とりこみの差異を比較した。glucosinolates の摂取量が少い場合には、甲状腺の単位重量あたりの ^{125}I のとりこみが増加したが、glucosinolates の摂取量が多い場合には ^{125}I とりこみが抑制され、甲状腺

内で無機ヨウ素の有機化が阻害されたと報告している。また、Lo and BELL¹⁹⁾は、カラシ油 (ITC) を生成する 3-butenyl-isothiocyanate 型の glucosinolate (ITC)-G と、ITC と OZT の両者を生成するナタネの glucosinolate [(ITC)-G + (OZT)-G] を21日間ラットに給与し、21日目に微量の ^{125}I を投与して、甲状腺内におけるホルモン合成への影響を調べた。(ITC)-G の投与は ^{125}I - T_3 および ^{125}I - T_4 の割合を減少させ、[(ITC)-G + (OZT)-G] の給与では、甲状腺内のヨウ素の大部分がヨウ素イオンの形で存在し、(^{125}I - $\text{T}_3 + ^{125}\text{I}$ - T_4)/(^{125}I -MIT + ^{125}I -DIT) の比率が低下することをみている。Lo and HILL²⁰⁾は、myrosinase を不活化したナタネ粕中の glucosinolates およびナタネ粕から抽出分離した glucosinolates を、マウスおよびラットに給与して、消化管内で、glucosinolates が分解または吸収されることを確かめているが、IINO²¹⁾は、摘出したラットの甲状腺を用いて、甲状腺ホルモンの *in vitro* 生合成に対する抗甲状腺物質の阻害作用を検討し、goitrin は甲状腺ホルモンの生合成を阻害するが、progoitrin は何ら抗甲状腺作用を示さないことを確かめている。従って Lo らの一連の実験¹⁸⁻²⁰⁾は、glucosinolate がラットの消化管内で分解され、その分解物が吸収されたことを示唆しているものと考えられるが、分解生成物が ITC と OZT の両者のみであったかどうかは明らかでない。SMITH and CAMP-BELL²²⁾は、加熱してないナタネ粕 30g を水 60ml と混合し、18時間絶食させた産卵鶏に強制給餌し、15, 30, 60分後に屠殺して消化管各部の内容物を調べたところ、nitriles は消化管内の全域に亘って存在し、その量は OZT よりも多かったと記している。ナタネ粕中の glucosinolates が消化管内で加水分解した際の生成物には nitriles が多いということは注目すべき事実であるが、前述の HILL¹⁾の実験結果もこれを裏書している。

GREER and DEENEY²³⁾は、ヒトやラットでは、progoitrin は myrosinase を同時に与えなくとも、ほとんど定量的に goitrin に変化するので、加熱により myrosinase を不活化すれば glucosinolates を含むアブラナ科の野菜は無害であるという考え方は改めるようにと主張しているが、ヒナの飼料に配合したナタネ粕の抗甲状腺作用を、甲状腺肥大を目標にして検討した松本ら²⁴⁾の実験によると、ナタネ粕の抗甲状腺作用は、化学的に定量された goitrin の存在量から予測されるものよりはるかに小さい。従って、ヒナの消化管内でナタネ粕の glucosinolates から生成する goitrin の量は、飼料中の myrosinase 活性さえ除かれていれば、極めて僅かであると考えられる。BELL²⁵⁾は、加熱処理をして酵素を不活化した

ナタネ粕を配合した飼料を豚に与えた場合、これに myrosinase の供給源となるものを添加すると、添加しない場合に比べて、成長阻害が3倍も大きくなることをみている。myrosinase 活性の有無が、飼料中の glucosinolate の生理作用の発現に大きく関与していることを示唆しているものと考えられる。

生体内にとりこまれた goitrin の代謝については、PELTOLA and KRUSIUS²⁶⁾が、放射性イオン (³⁵S) で標識した goitrin をラットに投与して、甲状腺、肝臓および腎臓へのとりこみを調べている。goitrin も他の抗甲状腺物質、PTU や methimazole などと同じく、特に甲状腺内に多くとりこまれ、甲状腺からの排出速度は他の臓器に比べてゆるやかである。従って、1日あたりの goitrin の摂取量が少くても、長期間に亘って摂取すれば、甲状腺に何らかの影響をもたらす場合もありうることを警告している。

甲状腺ホルモンは動物体の全般的な物質代謝を盛にし、発育と成熟を促進する作用があるので、抗甲状腺物質を摂取することによって、動物体の窒素代謝が影響を受けることが予想される。BELL²⁷⁾は、飼料に 0.15% の goitrin を添加した場合、マウスの成長が良質な飼料を与えた標準的成長の約 1/2 に低下したことを報告している。林ら²⁸⁾は、種々の異なった量の goitrin をラットに経口投与して、窒素代謝への影響を検討した。未成熟ラットの場合は goitrin の投与によって窒素蓄積量が減少したが、成熟ラットの場合は逆に増加した。飼料に 0.05% の goitrin を添加して成熟ラットに給与した秋葉・松本²⁹⁾の飼養試験では、飼料のエネルギーおよび粗タンパク質の消化率は goitrin を添加しても変化しなかったが、窒素の蓄積量および蓄積率に影響がみられた。標準タンパク質飼料 (CP 16%) 給与の場合、窒素の蓄積量および蓄積率が goitrin の添加によって有意に増加した ($P<0.05$)。しかし、低タンパク質飼料 (CP 5%) の場合は、goitrin 無添加の対照区よりも飼料の摂取量が減少し、窒素の蓄積量および蓄積率がともに有意に減少した ($P<0.01$)。

動物体の窒素代謝に対する goitrin の影響は、投与量によっても異なるが、動物の幼若と成熟の違い、飼料中のタンパク質の含量の多い少いによって、大きく変化することが確かめられた。

2. カラシ油とチオシアン化物

isothiocyanate (ITC) は、カラシ油 mustard oil と呼ばれる揮発性の辛味成分で、調味料として用いられるカラシには多量に含まれている。独特の刺激臭を有するので、ナタネ粕中に遊離の形で存在する場合は、たとえ微

量であっても容易に感知出来る。有機溶剤に可溶であるから、圧抽法または抽出法で採油したナタネ粕には、遊離の ITC はほとんど存在していない。

BELL³⁰⁾は、ITC (allyl-isothiocyanate) を大豆粕および肉粉に 0.05% 添加してマウスに給与した場合、飼料摂取量を同一量に補正した体重の増加量が、ITC を添加しない対照区に比べて 12% 減であったと述べているが、ナタネ粕を 10% 配合した育雛用飼料に、更に 0.05% の ITC を、給餌の都度飼料に添加して白レグ雄初生ヒナに 35 日間給与した伊藤ら³¹⁾の飼養試験では、ITC 添加区の飼料はカラシ油臭が非常に強烈であったが、飼料摂取は良好で、ヒナの発育は ITC 無添加のナタネ粕区よりもすぐれており、甲状腺、肝臓、腎臓などにも異状はなかった。

新鮮なキャベツの葉をウサギに多量給与すると、甲状腺が肥大することが知られており、cabbage goiter と名付けられているが、キャベツに含まれている抗甲状腺物質は主に thiocyanate であり、thiocyanate による甲状腺の肥大は、ヨウ素の添加によって防止できる³²⁾。

thiocyanate は甲状腺のヨウ素のとりこみを妨げるが、充分量のヨウ素があれば、たとえ thiocyanate が飼料に含まれていても、甲状腺ホルモンの生合成は正常に行なわれる。しかし、ナタネ粕給与によっておこる甲状腺の肥大は、ヨウ素を添加しても防止はできない³³⁻³⁷⁾。

Langer^{38,39)}は、キャベツの抗甲状腺作用は、thiocyanate, goitrin および ITC 3 者の複合作用と結論している。

カラシ油は isothiocyanic acid のエステルであるが、遊離の isothiocyanic acid と thiocyanic acid の両者は、分子内転位によって相互に変化する互変異性体である。

isothiocyanic acid thiocyanic acid

多くのアブラナ科植物で、isothiocyanate の代わりに thiocyanate が存在していることが確かめられているが⁴⁰⁾、ナタネの場合はカラシと同様に ITC が多い。甲状腺に対する ITC の作用を OZT と比較した松本ら²⁴⁾の実験では、ITC 投与による甲状腺の肥大は僅かであったが、ITC は甲状腺の ¹³¹I とりこみに対して抑制的に作用し、OZT は逆に促進的に作用した。ITC と OZT とを同時に与えた場合は、ITC の抑制作用は OZT の促進作用によって打消された。

柴田・池田⁴¹⁾は、鶏の小腸における ¹³¹I の吸収が、thiocyanate (KSCN) によって抑制されるが methylthiouracil (MTU) では影響がないことをみている。AKIBA and MATSUMOTO⁴²⁾は goitrin を 0.05% 添加した

飼料を 14 日間給与したヒナの場合、飼料中のヨウ素の見掛けの吸収率は goitrin を添加していない対照区と同じであった。以上の結果は thiocyanate の抗甲状腺作用はヨウ素の添加によって防止出来るが、goitrin による甲状腺の肥大はヨウ素を添加してもあまり効果がない事実と関連があるものと考えられる。

3. ニトリル

glucosinolates の分解生成物のうち, nitriles についての研究報告は比較的少ない。しかし、その害作用という点では最も注目すべき物質のように考えられる。VAN ETTEN ら⁴³⁾は、ナタネと同じアブラナ科の植物である crambe (*Abyssinian kale*) の子実より抽出した glucosinolates を myrosinase によって加水分解し、3 種類の nitrile と goitrin との混合物を得た。この nitrile を飼料に添加してラットに与えるとその害作用は goitrin よりも大きく、成長が阻害され、死亡が多くなることをみている。最近 HILL¹⁾は、nitrile が多く goitrin の少ないナタネ粕 (nitrile 5.67 mg/g, goitrin 1.80 mg/g) と nitrile が少く goitrin の多いナタネ粕 (nitrile 0.29 mg/g, goitrin 8.40 mg/g) とをラットおよびヒナに給与してその影響を比較したが、nitrile は goitrin に比べて害作用が強いことを確かめている。また、ヒナに対しては、myrosinase を添加して与えれば害作用を示すが、myrosinase を添加しなければ害作用を示さなかったナタネ粕が、ラットに対しては、myrosinase を添加しなくても著しい成長阻害を示したことを報告している。このことは飼料中に myrosinase がなくても、ラットでは消化管内で glucosinolates の分解が行なわれるが、ヒナではその分解が少ないことを示唆するものと解される。

nitrile は反応性に富んだ化合物で $\text{C}\equiv\text{N}$ 結合の存在に基づく多くの附加反応が知られているが、酸またはアルカリによって加水分解され、第一段階ではアミドを作り、ついで、酸とアンモニアを生成する。

nitrile が還元されると、第一段階ではイミンを生成し、ついで、第一アミンとなる。

ナトリウムとアルコールによる還元では、容易に第一アミンを生成するほか、副次的に炭化水素とシアン化水素を生成する⁴⁴⁾。

生体内で nitrile がどのような化学変化をするものかわくわしいことはわからないが、還元反応によってアミンが生成すれば、比較的急性の害作用を示すものと考えら

れる。nitrile が示す強い害作用は、生体内で有害なアミンを生成していることを示唆しているように思われる。

グルコシノレート含有飼料の家畜・家禽への影響

glucosinolates 含量の高い飼料として現在最も注目されているのはナタネ粕である。glucosinolates の加水分解物によってひきおこされる種々の生理作用が家畜の生産性に大きく影響するため、glucosinolates の含量が、ナタネ粕の配合割合を規制する最大の因子となっている。ナタネ粕の飼料価値を検討した研究報告は非常に多いが、原料ナタネの種類および搾油方法の違いがその栄養価に大きく影響するため、飼料としてのナタネ粕の評価は様々である。

1. 家禽

ナタネ粕を大豆粕の代替物として飼料に配合した場合、ヒナの成長がおくれ、甲状腺の著しい肥大がみられたという報告は数多い。上坂ら⁴⁵⁾は、ナタネ粕を 15% 配合した飼料に乾燥甲状腺剤チラーゼン (帝国臓器製) を 100 ppm 添加すると、ヒナの甲状腺重量、組織像ともに正常に復することを認めたが、發育に対する効果は認めていない。しかし、ナタネ粕を用いる場合、エネルギーおよびタンパク質を大豆粕配合の場合と同一になるように調製すれば、ヒナの甲状腺は肥大するが、成長は大豆粕配合の場合と同じになることが、多くの研究者によって確かめられている⁴⁶⁻⁴⁹⁾。ヒナの甲状腺の肥大度と増体量との間に、相関関係は存在していないので、ナタネ粕給与による甲状腺の肥大が、成長阻害因子の存在を示唆するものとは考えられない。MARANGOS ら⁵⁰⁾は、goitrin を全く含まないカラシ粕 (B 区)、goitrin 含量が小 (C 区)、中 (D 区) および大 (E 区) 3 種のナタネ粕を、産卵鶏用の飼料にいずれも 12% 配合し、産卵開始後 6 か月の雑種 (H and N Nick Chicks) を用いて、12 週間の飼養試験を行なった。対照区の飼料には大豆粕をタンパク質として同一量配合し (A 区)、もう一つの対照区として市販の配合飼料を給与した区 (F 区) を設け、各区の産卵数、卵重、斃死数を比較した。試験期間中 1 日 1 羽あたりの産卵重は、B 区、D 区、E 区で有意に減少し、また、B 区および D 区では斃死鶏が有意に多くなった。肉眼による観察では、主な死因は肝臓出血症 (liver haemorrhage) によるものと考えられた。試験終了時における各区 5 羽ずつの甲状腺重量の比較では、A 区に比べて、C 区は約 2.9 倍、D 区は約 4.3 倍、E 区は約 8.9 倍となったが、B 区は A 区とほぼ同じであった。産卵鶏の甲状腺重量は、飼料中の goitrin 含量と密接に関

係していたが、甲状腺の肥大度は、産卵および斃死とは無関係であった。峯苔ら⁵¹⁾は、三つの異なった会社で作られたナタネ粕 A (OZT 0.24%, ITC 0.83%), B (OZT 0.07%, ITC 0.08%), C (OZT 0.29%, ITC 0.76%) を、産卵鶏用飼料にそれぞれ 10% 配合し、初産より約 58 週間飼養した。OZT および ITC 含量の非常に低い B では、甲状腺はあまり肥大しなかったが、産卵率の低下や肝臓出血症による斃死鶏が、他のナタネ粕 (A および C) と同様に多かった。SMITH and CAMPBELL²²⁾によると、glucosinolate 含量の多いナタネ粕 (*Target* 種) を給与した場合は産卵率の低下が大きく、glucosinolate 含量の少ないナタネ粕 (*Bronowski* 種) の場合は産卵率の低下が僅かであったが、肝臓出血症の発生率は、いずれのナタネ粕でも対照区に比べて有意に高く、兩種のナタネ粕の間には差がなかった。一般に、良質なナタネ粕であれば、産卵鶏用飼料に 10% まで配合しても、産卵率や斃死率に影響しないとされているが^{46, 52-54)}、ナタネ粕の種類によっては、この程度の配合割合であっても、産卵率や斃死率に影響する場合があることも報告されている^{50, 55-57)}。窪田ら⁵⁸⁾は、長期に亘る飼養試験の結果に基づいて、ナタネ粕の配合割合は 8% 以下にとどめることを推奨している。

ナタネ粕給与による肝臓出血症は、特定の系統の産卵鶏 (Hyline 934E 鶏種) に出やすいことが報告されているが^{59, 60)}、峯苔ら⁵¹⁾の実験も Hyline 系の産卵鶏を用いており、鶏種による違いを検討する必要があると述べている。

ナタネ粕を配合した飼料を給与した場合、魚臭い卵 (fishy egg, tainted egg, crabby egg) を生むことがある。単冠白色レグホーン種 (SCWL) ではナタネ粕を給与しても異臭卵はほとんど出ないが、褐色の殻の卵を生む鶏種ロードアイランドレッド (RIR) 系統の産卵鶏では異臭卵を発生しやすい^{61, 62)}。白い殻の卵を生む鶏種でも、褐色レグホーン種 (BL) 系統のものでは異臭卵が出やすいようである⁶²⁾。OVERFIELD and ELSON⁶³⁾は、ナタネ粕を、0, 3, 6, 9% 配合した飼料を、褐色卵を生む鶏に給与した。ナタネ粕の配合割合は産卵には影響しなかったが、3% 添加区で 1.2%, 6% 添加区で 19.3%, 9% 添加区では 20.9% の異臭卵が発生したが、ナタネ粕を配合しなかった対照区には、異臭卵は全く発生しなかった。卵の異臭の本体は、trimethylamine であることが HOBSON-FROHOCH and LAND⁶⁴⁾によって確かめられている。trimethylamine は動植物が腐敗する際に生成する塩基性の気体で、アンモニアに似た臭をもっているが、ナタネ粕には通常ほとんど存在していない。褐色卵を生む

鶏種では、前駆体の形で摂取した trimethylamine の体内での処理能力が低いいためか、あるいは、trimethyloxydase 阻害因子をもっているためであると考えられている⁶²⁾。ナタネ粕の給与をやめると、異臭卵を生まなくなるので、trimethylamine の前駆体が glucosinolates である公算は大きいように考えられる。CLANDININら⁶¹⁾は、異臭卵発生防止の見地から、産卵鶏用飼料へのナタネ粕の配合割合は、5% 以下にとどめることを推奨している。

MARCH and BIELY⁶⁵⁾は、ナタネ粕を給与した鶏の産んだ卵の受精率、孵化率および孵化後のヒナの發育には、何ら悪い影響は認められなかったが、孵化直後のヒナの甲状腺重量が、大豆粕を給与した対照区の鶏の卵から孵化したヒナに比べて、大きくくなっていることに気付いた。この場合、孵化後 4 週間のヒナでは、甲状腺重量は正常のものとかわりなかった。ROAS and CLANDININ^{66, 67)}は、ナタネ粕の glucosinolates の加水分解物が卵へ移行することを懸念して、ナタネ粕を多量に給与した鶏の生んだ卵について、OZT, ITC および nitriles の分析を行なったが、卵の中にその存在を確かめえなかった。そこで、産卵鶏に ¹²⁵I を投与して卵への移行を追究した結果、ナタネ粕を給与した産卵鶏では、ヨウ素の卵への移行が減少していることが確かめられた。従って、ナタネ粕を多量に与えた鶏の卵から孵化したヒナの甲状腺が肥大しているのは、ヨウ素の不足に起因しているものと推論した。窪田ら⁵⁸⁾はナタネ粕を長期間給与した鶏の卵について、抗甲状腺物質の有無をヒナの飼養試験によって調べた。83% の基礎飼料に、全卵 (卵殻を除いたもので、水分約 74%) を風乾物 (水分 12%) として 17% 相当になるように混合し、室温で通風乾燥後粉碎して、初生ヒナに 4 週間給与したが、甲状腺の肥大は認められなかった。ナタネ粕に含まれている glucosinolates の加水分解物が、卵へ移行するという懸念はないものと考えられる。

2. 豚

HUSSAR and BOWLAND⁶⁸⁾は、ナタネ粕を豚に給与した場合の抗甲状腺作用を報告し、MANNS and BOWLAND⁶⁹⁾は、長期間ナタネ粕を給与すると、血中の protein-bound iodine (PBI) が減少することをみている。JOSEFSSON⁷⁰⁾によると、豚は glucosinolates の分解生成物に比較的高感度であるという理由から、スウェーデンでは養豚用配合飼料に用いるナタネ粕の量は、多くの場合 1% 以下にしているようである。BOWLAND⁷¹⁾によると、カナダでは体重 25 kg までの幼い豚では 4% まで、25~90 kg までの豚に対しては 10% までナタネ粕を配合しても差支えない。

ここで示した範囲内での使用であれば、ナタネ粕は市場に出す豚の屠体の品質に、何ら悪い影響を与えないと述べている。なお、妊娠初期および泌乳中の母豚に対しては、ナタネ粕の配合割合は 3% をこえてはならないとされていたが、SABEN and BOWLAND⁷²⁾は、*B. campestris* 系のナタネ粕 (OZT 0.24%, ITC 0.26%) を、同じ窒素含量の大豆粕のかわりに、4% または 8% 飼料に配合して、妊娠中および泌乳中の母豚に給与し、この程度のナタネ粕の配合割合でも、豚の繁殖に何ら悪い影響を与えないことを確かめている。わが国では、佐野⁷³⁾が、カナダ産のナタネを原料にして、日本の搾油工場 3 箇所で製造された 3 種類のナタネ粕をそれぞれ 10% 配合した飼料を用い、豚産肉能力検定の実施要領に準じて、肉豚の肥育試験を行なった。甲状腺ならびに肝臓の重量は、ナタネ粕配合飼料の給与によって有意に増加したが、屠体の肉質や脂肪などには、ナタネ粕給与の影響は認められなかった。使用した 3 種類のナタネ粕は、色合いや水溶性窒素指数の点では、それぞれ異なっていたが、飼料の嗜好性および豚の発育、屠体の品質などの諸点からみる限りでは、実用上差異はなかった。肉豚用の飼料にナタネ粕を 10% 配合することは可能であると結論している。

ヨーロッパで栽培されているナタネは主に *B. napus* の冬作で、カナダで栽培されているナタネの大部分は *B. campestris* の夏作である。JOSEFSSON and APPELQVIST⁷⁴⁾の調査によると、ナタネ粕の glucosinolates 含量は、*B. napus* の冬作では、3.39~7.77%，夏作は、3.72~5.75%であったのに対し、*B. campestris* では、冬作は 3.09~4.30%，夏作は 3.01~3.59% (いずれも乾物中) となっており、一般に *B. campestris* は *B. napus* に比べて glucosinolates が少く、夏作ナタネは冬作ナタネよりも glucosinolates が少いといえるようである。飼料としてのナタネ粕の品質は搾油方法によっても大きく左右されるが、原料ナタネの glucosinolates 含量が高いか、低いかに違いが、ナタネ粕の配合許容限度を決める上で影響していたように考えられる。

なお、ナタネ粕を配合して豚に与える場合、myrosinase source を添加すると、成長阻害が著しく大きくなるという前述の BELL²⁵⁾の報告は、ナタネ粕の glucosinolates 含量とともに、ナタネ粕中に残存している myrosinase 活性の程度、myrosinase 活性をもつ他の配合原料の有無が、ナタネ粕の飼料価値を大きく左右することを示唆している。BELL⁷⁵⁾の実験によると、myrosinase の添加は、ナタネ粕中の glucosinolates あるいはその分解物の、消化管からの吸収速度を著しく早めるようである。

3. 反芻家畜

アブラナ科の植物を摂取している仔牛⁷⁶⁾や仔羊⁷⁷⁾の甲状腺に異状が認められたという報告はあるが、反芻家畜では、ナタネ粕を給与しても、鶏や豚などのように、甲状腺の異状をきたすことは少いようである^{78,79)}。ヨーロッパでは、ナタネ粕は古くから飼料として利用されているが、スウェーデンでは、飼料として使われているナタネ粕の 80% 前後は牛の配合飼料原料になっている⁷⁰⁾。

ナタネ粕の給与が、牛自体には影響を与えても、ミルクの品質に影響しないかどうかということは、当然慎重に検討されるべき問題である。CLEMENTS and WISHARD⁷⁶⁾は、アブラナ科の植物である marrowstem kale (*Brassica oleracea* var *moelleria*) を多量に摂取している牛のミルク中に、甲状腺の ¹³¹I のとりこみを阻害する物質が含まれており、また、オーストラリアの甲状腺腫発生地帯の放牧場には、アブラナ科の雑草が多く、ミルクが甲状腺腫発生の原因となっている可能性を指摘した。PELTOLA and KRUSIUS⁸⁰⁻⁸²⁾も、フィンランドの甲状腺腫発生地帯の牛のミルクについて同様な観察をし、ミルク中に thiouracil, あるいは VTO (goitrin) のような抗甲状腺物質が存在しているものと推論した。このような報告に対して、VIRTANEN⁸³⁻⁸⁶⁾は、marrowstem kale を給与した牛のミルクの中の抗甲状腺物質の有無を詳細に検討し、また、PELTOLA らが調査したのと同じ甲状腺腫発生地帯の、同じ牧場から集めたミルクを用いて、PELTOLA の実験を追試し、更に、goitrin あるいは pro-goitrin を乳牛に投与して、ミルクへの移行を調べるなどして、広汎な実験および調査を行なったが、ミルクが甲状腺腫誘発の原因になるという証拠は何も得られなかったと述べている。HOPPE⁸⁷⁾は、1日あたりの泌乳量が 24~30 kg の乳牛に、ナタネ粕 (OZT 1.38%, ITC 0.22%, SCN⁻ 0.04%) を 1.8 kg/日 給与したが、ミルクの脂肪、固形物、乳糖、クエン酸および Cl⁻ 含量、ならびに、産乳量に何ら影響がなかった。また、飼料中の OZT および ITC は、ミルクにはほとんど移行しなかった。thiocyanate (SCN⁻) は、落花生粕を与えた対照区の牛のミルクでは、3.64 mg/l であったが、ナタネ粕給与区のミルクは 5.71 mg/l に増加した。VIRTANEN^{85,86)}の実験によると、アブラナ科の植物が飼料中に多量に存在していても、ミルク中の thiocyanate は 1 mg% 以上にはならないということである。

乳牛のミルクに、飼料中の抗甲状腺物質が移行することを肯定する実験も、これを否定する実験も、ともに綿密、詳細に行なわれているので、この問題に結着がついたものと断定するわけにはいかないが、乳牛に対するナ

タネ粕の給与によって、glucosinolates またはその分解生成物のミルクへの移行が、實際上問題になる懸念は少いように考える。

お わ り に

わが国の油脂事情⁸⁸⁾をみると、昭和50年度における植物性油脂の生産量のなかで、最も多いのは大豆油の47万2千トンで、第2位はナタネ油の30万4千トン、第3位が米糠油の9万8千トンとなっていて、油料原料としてのナタネの比重は極めて大きい。ナタネは油脂の含量が高いので、搾油後に残る油粕としては、大豆粕が約200万トンで第1位、米糠油粕が約42万トンで第2位を占め、ナタネ粕は約40万トンで第3位となっている。昭和42年度における大豆粕の生産量は125万トン、米糠油粕は38万トン、ナタネ粕は13万トンである。大豆粕の生産量も1.6倍に増加したが、ナタネ粕は3倍になっており、その増加は特に著しい。

飼料として利用されているナタネ粕の量は、昭和50年度において約14万トンで、飼料化率は約35%である。大豆粕では約85%が、米糠油粕では約73%が飼料として利用されているのに比べると、ナタネ粕の飼料化率は低く、大半は肥料にされている。

ナタネ粕は35%前後のタンパク質を含み⁸⁹⁾、protein efficiency ratio (PER) はカゼインに比適し、大豆粕よりも高い⁹⁰⁾。タンパク質資源として価値あるナタネ粕を、飼料として充分活用していないわが国の現状は、当をえてないものといえる。glucosinolates 含量の非常に低い *Bronowski* 種の存在が確認されたのは約10年前のことであるが、その後、油の中のエルシン酸 $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}\cdot(\text{CH}_2)_{11}\cdot\text{COOH}]$ の少ないもの、油粕中に glucosinolates の少ないもの、という二大目標を目指してナタネの育種改良は急速に進展し、この両者ともに少い“*Erglu* 種”(西ドイツ)、“*Tower* 種”(カナダ)などの新品種も作り出されている。また、搾油工程の工夫によって、タンパク質の栄養価の低下を避けながら myrosinase を不活化することも行なわれる一方、ナタネ粕を処理して glucosinolates を積極的に取除いた製品も作られるようになってきている。ナタネ油の需要の増加と、その油粕の品質の向上とによって、タンパク質飼料資源としてナタネ粕は、今後益々重要視されるものと思われる。

文 献

- HILL, D. C., Rapessed Assoc of Canada, Publ No 40: 53-55. 1976.
- 長島善次・内山正昭, 農化 33: 980-984. 1959.
- 大鶴 勝, 京都大学食糧科学研究所報告 第38号, 13-32. 昭和50年3月.
- MELVIN, E., M. E. DAXENBICHER, C. H. VANETTEN, and G. F. SPENCER, J Agric Food Chem 25: 121-124. 1977.
- KENNEDY, G., and H. D. PURVES, Br J Exp Pathol 22: 241-244. 1941.
- ASTWOOD, E. B., M. A. GREER, and M. G. ETTLINGER, J Biol Chem 181: 121-129. 1949.
- KRUSIUS, F. E., and P. PELTOLA, Acta Endocrinol 53: 342-352. 1966.
- LANGER, P., and N. MICHAJLOVSKIJI, Acta Endocrinol 62: 21-30. 1969.
- CLANDININ, D. R., and E. W. TAJCNAR, Poult Sci 39: 291-293. 1961.
- AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, Poult Sci 55: 716-719. 1976.
- CLANDININ, D. R., L. BAYLY, and A. CABALLERO, Poult Sci 45: 833-837. 1966.
- AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, Tohoku J Agric Res 23: 79-85. 1972.
- AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, Tohoku J Agric Res 23: 86-91. 1972.
- MATSUMOTO, T., H. ITOH, and Y. AKIBA, Poult Sci 47: 1323-1330. 1968.
- PITT-RIVERS, R., and R. R. CAVALIERI, in The Thyroid Gland by R. PITT-RIVERS and W. R. TROTTER Vol 1. 87-112. Butterworths. London. 1964.
- AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, Tohoku J Agric Res 22: 189-197. 1971.
- AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, Jap J Zootech Sci 投稿中
- LO, M. T., and D. C. HILL, J Nutr 101: 975-980. 1971.
- LO, M. T., and J. M. BELL, Can J Anim Sci 52: 295-302. 1972.
- LO, M. T., and D. C. HILL, Can J Anim Sci 51: 187-192. 1971.
- INO, S., Acta Endocrinol 36: 212-220. 1961.
- SMITH, T. K., and L. D. CAMPBELL, Poult Sci 55: 861-867. 1976.
- GREER, M. A., and J. K. DEENEY, J Clin Invest 38: 1465-1474. 1959.
- 松本達郎・秋葉征夫・星 千秋・青砥 理, 家禽会誌 12: 265-269. 1975.
- BELL, J. M., J Anim Sci 24: 1147-1151. 1965.
- PELTOLA, P., and F. E. KRUSIUS, Experimenta 25: 1328-1329. 1969.
- BELL, J. M., Can J Anim Sci 37: 43-49. 1957.
- 林 国興・秋葉征夫・松本達郎, 栄養と食糧 25: 72-78. 1972.
- 秋葉征夫・松本達郎, 栄養と食糧 28: 457-461. 1975.

- 30) BELL, J. M. *Can J Anim Sci* **37**: 31-42. 1957.
- 31) 伊葉茂雄・松本達郎・波多野 正, 畜産の研究 **13**: 441-442. 1959.
- 32) PITT-RIVERS, R., *Physiol Rev* **30**: 194-205. 1950.
- 33) DOW, D. S., and C. E. ALLEN, *Can J Agric Sci* **34**: 607-613. 1954.
- 34) KRATZER, F. H., P. N. DAVIS, D. E. WILLIAMS, and B. J. MARSHALL, *J Nutr* **53**: 407-419. 1954.
- 35) KLAIN, G. T., D. C. HILL, H. D. BRANION, and J. A. GRAY, *Poult Sci* **35**: 1315-1326. 1956.
- 36) CLANDININ, D. A., and L. BAYLY, *Poult Sci* **39**: 1239-1240. 1960. (Abstr).
- 37) 森脇甲介・川口幸一・井口新一郎, 京都大学農学部畜産学教室創設 25 年記念論文集, 20-24, および, 25-31. 1961.
- 38) LANGER, P., *Physiol Bohemoslov* **13**: 542-549. (Nutr Abstr Rev **35**: 2275. 1965 による)
- 39) LANGER, P., *Endocrinol* **79**: 1117-1122. 1966.
- 40) GMELIN, R., and A. J. VIRTANEN, *Suom Kemistil* **32B**: 236. 1959. (Chem Abstr **55**: 13553f. 1961 による)
- 41) 柴田 浩・池田三義, 日獣誌 **32**: 1-9. 1970.
- 42) AKIBA, Y., and T. MATSUMOTO, *Jap J Zootech Sci* **47**: 679-683. 1976.
- 43) VANETTEN, C. H., W. E. GAGNE, D. J. ROBBINS, A. N. BOOTH, M. E. DEXENBICHLER, and I. A. WOLF, *Cereal Chem* **46**: 145-155. 1969.
- 44) 市来崎巖, 大有機化学 (小竹無二雄監修), 第 4 巻: 280, 朝倉書店. 東京. 1967.
- 45) 上坂章次・川島良治・加藤啓介・大崎豊彦・岡田通子, 日畜会報 **35**: 特別号: 167-172. 1964.
- 46) CLANDININ, D. R., Canada Dept of Agric, Publ **1257**: 81-96. Queen's Printer and Controller of Stationary, Ottawa, Canada, 1965.
- 47) 中谷哲郎, 日畜会報 **40**: 18-24. 1969.
- 48) 中谷哲郎, 日畜会報 **40**: 25-31. 1969.
- 49) ANWAR, A., D. R. CLANDININ, and A. R. ROBLEE, *Poult Sci* **50**: 181-183. 1971.
- 50) MARANGOS, A., R. HILL, B. M. LAWS, and D. MUSCHAMP, *Br Poult Sci* **15**: 405-414. 1974.
- 51) 峯苔稔三・黒田修平・日浅文男・檜橋綱雄・伊藤隆・寺山照也, 第 80 回 日本獣医学会(昭和 50 年 11 月), 講演要旨: 153. 1975.
- 52) 窪田大作・森本 宏, 家禽誌 **6**: 36-39. 1969.
- 53) CLANDININ, D. R., Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **32**: 68-71. 1973.
- 54) SUMMERS J. D., Rapeseed Assoc of Canada, Publ **32**: 75-79. 1973.
- 55) JACKSON, N., *J Sci Food Agric* **20**: 734-740 1969.
- 56) SUMMERS, J. D., G. RAJARANTAM, and W. F. PEPPER, *Poult Sci* **50**: 1382-1386. 1971.
- 57) MARCH, B. E., J. BIELY, and R. SOONG, *Poult Sci* **51**: 1589-1596. 1972.
- 58) 窪田大作・土黒定信・久保辰雄・松島正洋・野口進・今井一郎・飯野雅夫・平野公夫・田家清一, 家禽誌 **9**: 274-280. 1972.
- 59) SLINGER, S. L., Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **40**: 84-85. 1976.
- 60) SLINGER, S. L., Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **40**: 89-91. 1976.
- 61) CLANDININ, D. R., M. Z. HAWRYSH, J. H. HOWELL, J. A. HANSON, R. G. CHRISTIAN, and G. MILE, Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **40**: 79-81. 1976.
- 62) BOLTON, W. T., T. G. CARTER, and R. M. JONES, *Br Poult Sci* **17**: 313-320. 1976.
- 63) OVERFIELD, N. D., and H. A. ELSON, *Br Poult Sci* **16**: 213-217. 1975.
- 64) HOBSON-FROHOCH, A., D. G. LAND, N. M. GRIF-FITHS, and R. F. CURTIS, *Nature (London)* **243**: 304-305. 1973.
- 65) MARCH, B. E., and J. BIELY, Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **32**: 71-75. 1973.
- 66) ROAS, A. J., and D. R. CLANDININ, *Br Poult Sci* **16**: 413-415. 1975.
- 67) ROAS, A. J., and D. R. CLANDININ, Rapeseed Assoc of Canada, Publ No **40**: 56-58. 1976.
- 68) HUSSAR, N., and J. P. BOWLAND, *Can J Anim Sci* **39**: 84-89. 1959.
- 69) MANNS, J. G., J. P. BOWLAND, V. E. MENDEL, and S. ZIVKOVIC, *Can J Anim Sci* **43**: 271-278. 1963.
- 70) JOSEFSSON, E., in "Rapeseed" pp 371-375. ed by L.-A. APPELQVIST, and R. OHLSON, Elsevier Publ Co, Amsterdam, London, New York, 1972.
- 71) BOWLAND, J. P., Canada Dept of Agric, Publ **1257**: 69-80. Queen's Printer and Controller of Stationary, Ottawa, Canada, 1965.
- 72) SABEN, H. S., and J. P. BOWLAND, *Can J Anim Sci* **51**: 225-232. 1971.
- 73) 佐野 修・福田 勤・中谷哲郎・田上末四郎・久池井忠男, 日豚研誌 **8**: 109-115. 1971.
- 74) JOSEFSSON, E., and L.-A. APPELQVIST, *J Sci Food Agric* **19**: 564-570. 1968.
- 75) BELL, J. M., C. G. YOUNGS, and R. K. DOWNEY, *Can J Anim Sci* **51**: 259-269. 1971.
- 76) CLEMENTS, F. W., and J. W. WISHART, *Metabolism* **5**: 623-639. 1956. (Nutr Abstr Rev **27**: 2566. 1957. による)
- 77) RUSSEL, A. J. F., *Animal Prod* **9**: 131-133. 1967.
- 78) BELL, J. M., Canada Dept of Agric, Publ No **1257**: 52. Queen's Printer and Controller of Stationary, Ottawa, Canada. 1965.
- 79) 森脇甲介・山田献一・川口幸一, 滋賀県立短大学術雑誌, 第 1 号: 44-48. 昭和 35 年.
- 80) PELTOLA, P., and F.-E. KRUSIUS, *Acta Endocrinol* **33**: 603-612. 1960.
- 81) KRUSIUS, F.-E., and P. PELTOLA, *Acta Endocrinol* **53**: 342-352. 1966.
- 82) ARSTILA, A., F.-E. KRUSIUS, and P. PELTOLA, *Acta Endocrinol* **60**: 712-718. 1969.

- 83) VIRTANEN, A. I., M. KREULA, and M. KIESVAARE, *Acta Chem Scand* **13**: 1043-1044. 1959.
- 84) VIRTANEN, A. I., M. KREULA, and M. KIESVAARE, *Z. Ernaehrungswiss Supple* **3**: 23-37. 1963. (Nutr Abstr Rev, **34**: 613. 1964. による).
- 85) VIRTANEN, A. I., and R. GMELIN, *Acta Chem Scand* **14**: 941-943. 1960.
- 86) PURRONEN, E., and A. I. VIRTANEN, *Z Ernaehrungswiss* **3**: 140-147. 1963. (Chem Abstr, **59**: 4319d. 1963. による)
- 87) HOPPE, K., H. KOZLOWSKA, and A. RUTKOWSKI, *Milchwiss* **26**: 19-23. 1971.
- 88) 農林省食品油脂課, “わが国の油脂事情” 昭和51年.
- 89) 農林省農林水産技術会議事務局, “日本標準飼料成分表(1975年版)” 中央畜産会・東京. 昭和50年.
- 90) BELL, J. M., P. GIOVANNETTI, T. F. SHARBY, and J. D. JONES, *Can J Anim Sci* **56**: 763-768. 1976.