

反芻家畜の体脂肪性状に及ぼす各種飼料

山形大学農学部 高橋 敏 能

1 はじめに

反芻家畜を経済動物として利用する手段に肥育と泌乳がある。畜産用語辞典によると、“肥育とは、家畜に多量の飼料を与えて家畜を肥らせ、脂肪組織の増大のみでなく、肉質を佳良にし、筋肉間に脂肪を混在させて風味を増す”ことを意味するとある。すなわち、肥育するということは量と質の両面から消費者のニーズにあった筋肉間の脂肪を生産する必要がある。また、肉牛生産者に直接反映する枝肉価格を評価する時、決定的に左右するのがロースの芯につく、いわゆる“霜降り”と言われる肉眼で見える脂肪の点在度合である。単胃家畜の代表である豚でも、枝肉格付で上物に入るためには、一定の範囲の枝肉重と背脂肪厚になることが必要となっている。一方、乳牛では牛乳の乳脂率が3.3%以下の牛乳は低脂肪乳として扱われ、引き取られず、生産者は大打撃を受けることになる。このように、畜産農家が畜産物を生産するとき、体脂肪生産のもつ意義は重要であると言えよう。

2 単胃家畜と反芻家畜の体脂肪合成

さて、表題の反芻家畜の体脂肪生産であるが、豚などの単胃家畜とは根本的に異なることから述べてみよう。まず、体脂肪生産の源となる前駆物質（専門的には基質という）から触れてみる。単胃家畜の体脂肪合成の主たる前駆物質は飼料由来の糖であり、体内にグルコースとして存在し、肝臓を中心にして脂肪合成されている。一方、反芻家畜の体脂肪合成は複雑な経路を経て合成されている。

反芻家畜では、飼料中の炭水化物は第一胃内の微生物により揮発性脂肪酸(以後 VFA と略す)に発酵されるので、炭水化物としては利用されない。この VFA は第一胃内の微生物が炭水化物を栄養源として利用した後の代謝産物であり、宿主である家畜が生きて行くために必要な維持エネルギーの3分の2にも及ぶと言うことは広く知られている。特に、単胃家畜では消化され難い炭水化物中のセルロースやヘミセルロースなどの繊維性成分をエネルギー源として利用することが出来たことが、今日の牛やメン羊などの反芻家畜が主要な畜種として選抜されてきた大きな理由と言っても過言ではないだろう。この VFA には、通常の飼料給与体系では酢酸が最も多く、次いでプロピオン酸、酪酸の順に多くなっており、繊維性成分に富む粗飼料を多給すると酢酸、糖・澱粉などの易発酵性成分に富む濃厚飼料を多給するとプロピオン酸がそれぞれ優先して発酵することも周知の事実である。実は、この酢酸が体脂肪合成の前駆物質の主役を担っているのである。その合成部位も、体脂肪組織や乳腺であることも反芻家畜の大きな特徴である。

以上のように、飼料中の炭水化物から単胃家畜のようにグルコース、反芻家畜のように酢酸を経由して合成される体脂肪のほかに、飼料中の脂肪成分もその前駆物質になっていることも忘れてはならない。

3 体脂肪性状とは

家畜の体脂肪の重要な性質を表わす指標に色、屈折率、融点などがあげられるが、ここでは軟らかさと密接な関係がある融点についてのみ述べる

ことにする。融点の高低に最も影響しているのが脂肪を構成している脂肪酸組成であるが、脂肪酸を大別すると飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸があり、不飽和脂肪酸は一部の炭素間の結びつきが二重結合をなしており、二重結合の数に比例して一般に軟らかく、融点が低い性状をしている。

通常の飼料中には、二重結合を2個含むC18:

2(炭素数:二重結合数)

のリノール酸, 3個含む

C18:3のリノレン酸な

どの軟らかい不飽和脂肪酸

に富んでいる。肥育され

た豚の場合、飼料中の

脂肪酸の性質がそのまま

豚の体脂肪に反映するた

めに、いわゆる“軟脂豚”

が問題となっている。“軟

脂豚”は保存性が悪い、

スライスなどのカット時

の際ロスが出やすいなど

の理由から枝肉評価で格

落ちする原因になり、生

産者に大きな損害を与え

ることになる。一方、反

芻家畜では、第一胃で奇

妙な現象が起きている。

前に述べた繊維性成分か

らVFAが発酵する際に

水素が発生する。この水

素が不飽和脂肪酸に出会

うと二重結合がなくなっ

て飽和脂肪酸に変わって

しまう現象である。専門

的に言うと、“不飽和脂肪

酸への水素添加”という

現象が起きて、飼料の軟

らかい脂肪が硬い脂肪に

変わってしまうことにな

る。言い方を換えると、

牛では飼料の脂肪の性質

に関係なく、硬い体脂肪

を生産するということに

なる。欧米人は牛肉を主食とするため、日本人より動脈硬化になりやすいのは、硬い脂肪がついている牛肉を食べていることが一つの原因だと言う。このように牛肉と豚肉の脂肪は、自然の節理に相反する脂肪に市場性があるという皮肉な結果となっている。

表1 飼料の利用性と屠体構成の比較

項目	飼料	実 験 I			実 験 II	
		濃厚:粗=7:3	濃厚:粗=3:7	濃厚:粗=5:5 (VFA無添加)	濃厚:粗=5:5 +プロピオン酸	濃厚:粗=5:5 +酢酸
飼料の利用性						
開始時体重(kg)		39.9	38.7	38.7	47.0	44.5
終了時体重(kg)		63.0 ^A	52.4 ^B	58.1 ^{AB}	66.2	62.9
1日増体量(g)		175 ^A	102 ^B	144 ^C	144	138
飼料要求率		10.6 ^A	16.1 ^B	11.7 ^{AB}	12.5	13.2
T D N(%)		60.1	59.3	57.9	58.4	57.3
D C P(%)		7.2	5.8	6.5	6.8	6.9
屠 体 構 成						
枝 肉 重 量(kg)		29.1 ^A	20.8 ^B	25.0 ^C	32.0	30.3
(%)		(46.0 ^A)	(39.7 ^B)	(43.0 ^{Ca})	(48.3 ^b)	(48.2 ^b)
消 化 器 重 量(kg)		12.7	14.4	14.0	12.4	10.6
(%)		(20.1 ^A)	(27.7 ^B)	(24.1 ^{ABa})	(18.7 ^b)	(16.8 ^b)
内臓脂肪重量(kg)		3.7 ^A	1.8 ^B	2.7 ^{Ca}	3.8 ^b	4.3 ^b
(%)		(5.7 ^A)	(3.5 ^B)	(4.6 ^{Ca})	(5.7 ^b)	(6.8 ^b)

- 1) 実験I, IIの基礎飼料…濃厚飼料:肉牛用市販配合飼料, 粗飼料:イネ科主体牧草。
- 2) 実験II, 濃厚飼料:粗飼料=5:5にプロピオン酸または酢酸のナトリウム塩をTDN換算で6~8%添加給与。
- 3) 実験I, IIとも基礎飼料は一日当たり体重の3.3~3.8%で19週間給与。
- 4) ()内の数字は体重に対する百分率を示す。
- 5) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

表2 左半丸枝肉構成と筋肉内化学成分の比較

項目	飼料	実 験 I			実 験 II	
		濃厚:粗=7:3	濃厚:粗=3:7	濃厚:粗=5:5 (VFA無添加)	濃厚:粗=5:5 +プロピオン酸	濃厚:粗=5:5 +酢酸
枝 肉 構 成						
筋	肉(kg)	7.1	5.8	6.2	7.8	7.3
	(%)	(50.0)	(56.9)	(52.2)	(52.5)	(53.3)
脂	肪(kg)	4.1 ^A	1.7 ^B	2.9 ^C	3.8	3.8
	(%)	(29.1 ^A)	(15.7 ^B)	(24.5 ^A)	(25.1)	(27.9)
	骨(kg)	2.5	2.4	2.4	3.0	2.3
	(%)	(17.9 ^A)	(23.6 ^B)	(20.3 ^C)	(20.5)	(17.0)
化 学 成 分 (%)						
水	分	72.0 ^A	75.2 ^B	74.0 ^{Ca}	71.0 ^b	71.9 ^b
粗	蛋 白	20.0	20.0	20.4 ^a	18.6 ^b	19.2 ^{ab}
粗	脂 肪	5.9 ^A	2.9 ^B	3.5 ^{Ba}	8.5 ^b	6.8 ^b
粗	灰 分	1.1	1.2	1.2 ^a	0.9 ^b	1.0 ^b

注. ()内の数字は枝肉中の百分率を示す。

4 反芻家畜の体脂肪性状と飼料との関係

反芻家畜の体脂肪性状では、飼料の脂肪の影響を受け難く、硬い体脂肪を形成しやすいことを述べたが、飼料の影響を全く受けないかと言うと、そうでもなく複雑な過程を経て微妙に受けていることを紹介しよう。

表1の実験Iにメン羊に濃厚飼料と粗飼料である牧乾草の給与割合を7:3, 5:5及び3:7にして給与して実施した肥育試験の結果を示した。前述したように、肥育することは体脂肪の量と質が問題となるので、この試験結果から、体脂肪の量

についてまずみてみよう。消化試験の結果から、飼料の可消化養分総量(TDN)含量を算出すると、57.9から60.1%と2.2%の差しかなかったにもかかわらず、飼料要求率(1kg増体に必要な飼料の量)は濃厚飼料多給で10.6, 粗飼料多給で16.1と濃厚飼料を多給するほど飼料の利用性が優れており、枝肉重量・内臓脂肪重量も重くなっている。表2に左半丸枝肉の構成と筋肉中の化学成分を示したが、いずれも濃厚飼料を多給するほど脂肪の割合が増加している。すなわち、飼料の利用性に関しては、濃厚飼料が効率的なエネルギーの蓄積利用という点では、粗飼料より優れていることは歴然としている。

表3 給与飼料の脂肪酸組成

飼料名	脂肪酸							
	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	その他
濃厚飼料(%)	0.1	19.3	1.4	0.9	27.4	47.2	2.2	1.5
粗飼料(%) (牧乾草)	1.9	41.1	0.8	6.6	11.2	21.1	7.7	9.6

表3に給与飼料の脂肪酸組成、表4に屠殺後の各体脂肪組織の脂肪酸組成と融点を示した。その結果、濃厚飼料には

表4 各脂肪組織の脂肪酸組成と融点の比較

項目	飼料	実験 I			実験 II	
		濃厚:粗=7:3	濃厚:粗=3:7	濃厚:粗=5:5 (VFA無添加)	濃厚:粗=5:5 +プロピオン酸	濃厚:粗=5:5 +酢酸
脂肪酸組成(%)						
パルミチン酸 (C16:0)	皮下脂肪	25.7	25.3	23.3	23.6	27.3
	筋肉内脂肪	21.6 ^{AB}	24.3 ^A	21.3 ^{Ba}	23.1 ^b	25.0 ^b
	腎周囲脂肪	23.1	23.0	22.8	22.1	24.0
	大網膜脂肪	23.4	22.7	22.4	22.3	26.2
ステアリン酸 (C18:0)	皮下脂肪	21.6 ^A	30.5 ^B	27.4 ^{ABa}	13.9 ^b	23.4 ^{ab}
	筋肉内脂肪	18.8 ^A	25.5 ^B	21.8 ^{Ca}	14.1 ^b	20.4 ^a
	腎周囲脂肪	36.1 ^A	43.6 ^B	41.0 ^{AB}	34.5	37.0
	大網膜脂肪	34.4	39.1	38.3	32.9	31.8
オレイン酸 (C18:1)	皮下脂肪	42.9 ^A	34.3 ^B	39.6 ^{Ba}	46.9 ^b	38.1 ^c
	筋肉内脂肪	51.0 ^A	41.7 ^B	48.3 ^{Ba}	50.3 ^a	45.8 ^b
	腎周囲脂肪	31.6 ^A	23.9 ^B	28.5 ^A	30.8	29.4
	大網膜脂肪	31.8	27.2	30.0	32.5	32.9
分枝・奇数 炭素脂肪酸	皮下脂肪	3.6 ^A	4.8 ^B	3.8 ^{Aa}	8.1 ^b	5.2 ^a
	筋肉内脂肪	3.0	2.8	2.7 ^a	5.1 ^b	2.7 ^a
	腎周囲脂肪	4.2 ^A	4.8 ^B	3.3 ^{Aa}	5.8 ^b	3.9 ^a
	大網膜脂肪	5.0	5.9	4.5	6.0	4.0
融点(°C)	皮下脂肪	44.0 ^A	49.0 ^B	45.7 ^{Aa}	40.0 ^b	45.0 ^{ab}
	筋肉内脂肪	39.8 ^A	44.5 ^B	42.0 ^{Ca}	40.3 ^b	42.3 ^a
	腎周囲脂肪	49.5 ^A	52.7 ^B	51.7 ^{ABa}	48.0 ^b	48.5 ^b
	大網膜脂肪	47.7	50.0	49.7	48.0	48.5

C18:2のリノール酸が多く含まれており、皮下・筋肉内・大網膜及び腎周囲脂肪のいずれの体脂肪でも濃厚飼料を多給するほどC18:1のオレイン酸が多く、融点が低い軟らかい性状をしている。反芻家畜の体脂肪性状は餌の影響を受け難く硬くなることを述べたが、この現象は給与した濃厚飼料は粒子が細かいので、第一胃を通過する速度が速いため水素添加を免れた不飽和脂肪酸が下部消化管に流出することにより、軟らかい飼料の脂肪性状が体脂肪に反映したのが一つの原因と考えられるだろう。

5 反芻家畜の体脂肪形成におけるVFA、特にプロピオン酸の意義

VFAからの体脂肪形成を4と同様に、メン羊にVFAを給与する肥育試験から述べてみよう。濃厚飼料と粗飼料の給与比を5.5に酢酸とプロピオン酸のナトリウム塩をTDN換算で6~8%給与時下の肥育成績を表1, 2, 4の実験IIに示した。VFAを添加給与すると、飼料要求率・TDN含量などの飼料の利用性には無添加給与と比較して大差がなかったが、枝肉重・内臓脂肪量、枝肉中の脂肪量が重くなり、筋肉中の粗脂肪含量も高くなった。この結果から、給与した両VFAが体脂肪の蓄積に関与していることがうかがわれる。

前述のように、反芻家畜の体脂肪合成の前駆物質は酢酸なので、酢酸給与で体脂肪が増加したのは予期した結果としてうなずけるが、ここで注目したいのは、プロピオン酸給与で体脂肪重量が増えたことである。

プロピオン酸は体内では糖新生されてグルコースに変換されるために、体脂肪合成の前駆物質としては極めて少ない。ところが、この実験のように、プロピオン酸給与で体脂肪量が増加したメカニズムを次のように考えたい。すなわち、第一胃から吸収されたプロピオン酸が肝臓で糖新生され、それに伴ってインシュリンになるホルモンが分泌され、酢酸からの体脂肪合成が効率的に促進したのであろう。

次に表4の実験IIのVFA給与による体脂肪の脂肪酸組成をみてみよう。各脂肪組織とも、酢酸給与でC16:0のバルミチン酸が増え、プロピオン酸

給与でC18:0のステアリン酸が減少、C18:1のオレイン酸が増加して融点が低い軟らかい体脂肪を形式した。この結果から推察できることは、酢酸からの脂肪酸合成はバルミチン酸が主要な脂肪酸であり、プロピオン酸給与でオレイン酸が増えたのは、インシュリンが不飽和化活性酵素を刺激してステアリン酸からオレイン酸へ変換する不飽和化を促したのであろう。

天然には、偶数の炭素数で直鎖状に結びついた構造の脂肪酸が大部分だが、反芻家畜の体脂肪には、奇数の炭素数で枝分かれした構造の脂肪酸(分枝・奇数炭素脂肪酸)が含まれていることも大きな特徴である。この脂肪酸の生成は、第一胃内微生物脂質に由来するものと、プロピオン酸が過剰に吸収されたときにメチルマロニルCoAを経由して合成され体脂肪に蓄積する経路の2つがある。

本実験でも、プロピオン酸給与で分枝・奇数炭素脂肪酸が増えた。

6 おわりに

私のメン羊の実験の結果から、反芻家畜の体脂肪生成過程について、強引な推論を含んできたかも知れないが、反芻家畜を肥育するときに、プロピオン酸が飼料エネルギーの効率的な蓄積と体脂肪の不飽和化する作用をもつことが示唆された。

何時の時代でも、実験室の結果が現場での応用、この場合は、牛を使った実験ができれば、たとえ仮説通りの結果が得られなくとも、研究者にとってこの上ない喜びである。

昭和62年度から「水田農業確立対策」がスタートし、他作物生産のために水田利用が期待されており、飼料作物生産がその主要な作物として注目されるが、我々は多くの方々の協力を得て、一つの仮説を考えて実験を実施中である。水田に粗飼料(具体的にはトウモロコシ)を栽培し、その飼料としての有効性を図るために、プロピオン酸を飼料に添加して食わせるという実験である。そのねらいは、牛は繊維性成分に富む粗飼料を牛肉生産に利用できるという従来までの興味と併せて、プロピオン酸を食わずことにより、その産肉面での有効利用を実証したいというのが骨子である。