

IV章 繊維質飼料における繊維成分の消化と肥育効果

II章では、飼料の消化性の評価に関与する変動要因について解析し、消化試験実施上の条件設定とその留意点について究明したが、一方、消化試験の結果得られた栄養価が、家畜の生産効果に精度よく反映されることが重要である。すなわち、III章では、各種繊維質飼料の栄養価について検討を加えた結果、豚における繊維成分の消化性は、飼料によって大きな差違を認め、特にビートパルプおよびポテトパルプの粗繊維は、その消化性の優れることを認めた。しかし、単胃家畜である豚が、このように繊維成分を高度に消化することに関して、特に注目した報告はみられない。

そこで本章では、高繊維質飼料の繊維成分の消化性を明らかにするとともに、繊維成分の消化性の優れるビートパルプを用いて、肥育効果を検討し、繊維成分の栄養的意義について究明した。

IV-1 繊維質飼料の消化率

目 的

III章において、各種繊維質飼料の栄養価について検討した結果、ビートパルプおよび馬鈴薯澱粉粕の豚における消化率は、粗蛋白質および粗脂肪で低いものの、NFEおよび粗繊維の消化率は良好であった。特に、粗繊維の消化率は、ビートパルプおよびポテトパルプとも70%以上の高い値を示した。また、他の報告によると、粗繊維の消化率はビートパルプで84%¹⁰⁸⁾、乾燥澱粉粕で78%^{141,184)}以上の高い値が報告されている。しかも森本¹⁰⁸⁾によると、ビートパルプの粗繊維の消化率は、豚の方が反芻家畜よりも高い値を、須藤¹⁴¹⁾も澱粉粕において同様に、反芻家畜よりも豚の方で高い値を示している。したがって、これらの飼料の粗繊維は、豚では非常によく消化されるものと考えられる。しかし、単胃動物である豚での粗繊維の消化率は、反芻家畜に比べて一般に低いと考えられて

おり、このように粗繊維を高度に消化することに関して、特に注目した報告はみられない。

一方、Van Soest^{161,162)}の提唱した、細胞壁構成物質をセルロース、ヘミセルロースおよびリグニンに分画する方法は、わが国においても種々検討され^{1,2,63,64,65,86,123)}、細胞壁構成成分を合理的に評価する手段として有効であることが報告されている。

そこで本試験では、繊維質飼料の消化性を明らかにするため、ビートパルプ、ポテトパルプおよびアルファルファの各飼料の細胞壁構成成分の分画を行い、それらの成分について消化率の検討を行った。

材料および方法

供試飼料の内容は以下のとおりである。

1) ビートパルプ：糖密から砂糖を再抽出した残渣物であるステッフエン液を、ビートパルプへ乾物で約30%添加しペレット（直径10mm）化したもの。

2) ポテトパルプ：ステッフエン液を馬鈴薯澱粉粕へ乾物で約30%添加しペレット（直径5mm）化したもの。

3) アルファルファ：米国产のアルファルファミール（デハイ）。

それぞれの供試飼料を、表52の試験区分にしたがって試験飼料を調製した。なお、基礎飼料として用いた配合飼料は、豚産肉能力検定飼料である。

表52 試験区分および飼料の構成割合

配合区	配合飼料 (%)		
	アルファルファ区	ビートパルプ区	ポテトパルプ区
配合飼料 (%)	100	80	70
アルファルファ (%)	—	20	—
ビートパルプ (%)	—	—	30
ポテトパルプ (%)	—	—	—

供試豚は、ランドレース去勢雄12頭で、配合区とアルファルファ区に6頭ずつ割り当て、配合区で供試した6頭をさらに3頭ずつ分け、ビートパルプ区およびポテトパルプ区の消化試験に用いた。供試豚の体重および飼料の給与量は表53のとおり

表53 供試豚の体重および飼料の給与量

配 合 区			アルファルファ区			ビートパルプ区			ポテトパルプ区		
個体No	体 重	給与量	個体No	体 重	給与量	個体No	体 重	給与量	個体No	体 重	給与量
	kg	kg/day		kg	kg/day		kg	kg/day		kg	kg/day
1	62	2.8	1	56	2.6	1	70	3.0	1	75	3.1
2	63	2.8	2	59	2.7	2	75	3.1	2	75	3.1
3	66	2.9	3	61	2.7	3	82	3.3	3	80	3.2
4	68	3.0	4	63	2.8						
5	70	3.0	5	77	3.2						
6	71	3.1	6	82	3.3						

消化試験は、予備期間5日、採糞期間5日の全糞採取法により実施した。

飼料および糞の化学分析のうち、細胞壁構成物質(以下OCWと略す)の定量は、堀井ら⁶³⁾の方法を一部改変して行った。すなわち、風乾試料1gを500mlのトルビーカに採り、中性デタージェント溶液100mlとデカリン数滴を加えて1時間煮沸する。煮沸後ナイロン濾紙で濾過し、予め秤量しておいた濾紙(東洋濾紙 No. 5A)に残渣を移し、水、アセトンで洗浄後、135℃で2時間乾燥してから秤量する。次に、電気炉で600℃2時間灰化後秤量し、灰分量を差し引いてOCW含量を求めた。なお、配合飼料のOCW含量は阿部ら²⁾の方法によった。

酸性デタージェントリグニン(以下ADLと略す)の定量は、堀井ら⁶⁵⁾の方法を一部改変して行った。すなわち、試料2gを酸性デタージェント溶液で処理後、濾紙を用いて濾過し、水、アセトンで洗浄後乾燥する。その後、濾紙から残渣をはく離させ、トルビーカに移し(この場合、多少の濾紙片が混入しても濾紙は72%硫酸に溶解する)72%硫酸20mlを加え、時々攪拌しながら4時間室温に放置する。その後、液量を400mlとし約5分間ゆるやかに煮沸する。冷却後、一夜放置して上澄み液を捨て、残渣に水を加え稀釈後、予め秤量しておいた濾紙(東洋濾紙 No. 5A)を用いて濾過し、酸

性反応がなくなるまで十分洗浄し(水洗が不十分な場合、乾燥の際に濾紙が炭化するのを注意を要する。)、135℃で2時間乾燥し秤量する。次に、電気炉で600℃2時間灰化して秤量し、前後の差からADL含量を求めた。

なお、ヘミセルロースおよびセルロース含量は、以下のようにして求めた。

ヘミセルロース含量(%) = OCW 含量(%) - ADF 含量(%)

セルロース含量(%) = ADF 含量(%) - ADL 含量(%)

その他の、飼料および糞の分析方法は、II章と同様である。

結果および考察

供試飼料の化学成分は、表54のとおりである。ビートパルプ、ポテトパルプおよびアルファルファの化学成分を比較すると、粗蛋白質、粗脂肪はアルファルファで高く、NFEはビートパルプおよびポテトパルプで高かった。また、粗繊維は三者の中でポテトパルプが特に低かった。他方、粗灰分含量はポテトパルプで高く、そのため当然ながらエネルギー含量が他の飼料よりも低かった。

表54 供試飼料の化学成分

			配合飼料	ビートパルプ	ポテトパルプ	アルファルファ
水	分 (%)		11.5	16.4	16.1	12.4
粗	蛋白質 (%)		18.1	13.8	10.8	17.9
粗	脂肪 (%)		4.1	1.3	1.1	3.9
N	F E (%)		67.4	59.0	63.0	47.2
粗	繊維 (%)		4.0	17.3	11.8	22.5
粗	灰 (%)		6.4	8.7	13.4	8.5
エ	ネルギー (kcal/g)		4.50	4.34	3.86	4.55
O	C W (%)		16.6	44.7	28.6	40.0
A	D F (%)		7.0	23.4	20.4	30.5
セ	ルロース (%)		5.9	21.6	18.7	21.7
へ	ミセルロース (%)		9.6	21.3	8.1	9.5
A	D L (%)		1.1	1.8	1.8	8.8
A	D L / セルロース		0.19	0.08	0.10	0.41

水分以外は乾物中の値

表55 供試飼料の消化率および栄養価

			配合飼料	ビートパルプ	ポテトパルプ	アルファルファ
消 化 率						
乾	物 (%)		80.4± 0.2 ²⁾	71.6± 4.7	78.9± 2.4	52.2± 3.4
粗	蛋白質 (%)		80.1± 1.1	38.1±11.3	59.9± 5.6	57.1± 5.9
粗	脂肪 (%)		73.7± 2.5	0	79.5±32.1	64.6± 7.5
N	F E (%)		88.3± 0.1	85.1± 1.5	85.6± 1.5	64.9± 3.4
粗	繊維 (%)		25.0± 1.9	73.7± 5.5	84.3± 0.5	19.9± 3.8
エ	ネルギー (%)		80.8± 0.4	67.5± 5.8	77.6± 3.1	51.4± 5.8
O	C W (%)		49.8± 3.7	80.6± 3.2	85.8± 3.4	23.5± 2.1
A	D F (%)		41.5± 4.0	70.4± 5.3	80.2± 0.5	20.1± 2.2
セ	ルロース (%)		49.0± 3.7	70.0± 4.8	94.4± 0.2	30.2± 2.1
へ	ミセルロース (%)		55.9± 3.6	92.0± 2.1	95.7± 7.5	31.9± 7.5
A	D L (%)		1.7±13.8	0	0	10.1± 3.7
栄 養 価 ¹⁾						
D	C P (%)		14.5	5.3	6.5	10.2
D	E (kcal/g)		3.64	2.93	3.00	2.34
T	D N (%)		81.8	68.3	72.3	50.9

1) 乾物中の値

2) 平均値±標準偏差

OCW 含量とその組成についてみると、配合飼料は OCW および ADF 含量が低かった。しかし、両者の差が大きかったため、へミセルロース含量はアルファルファやポテトパルプとほぼ同じ値であった。ビートパルプ、ポテトパルプおよびアルファルファについて比較すると、OCW 含量はビートパルプとアルファルファで高く、ポテトパルプで

低かった。ADF 含量は、アルファルファで高く、ビートパルプおよびポテトパルプで低かった。セルロース含量は、三者ともほぼ同じ値であった。さらに、へミセルロース含量はビートパルプが、ADF 含量はアルファルファが、それぞれ高い値を示した。なお、ADF とセルロースの比についてみると、ビートパルプおよびポテトパルプは配合飼

料およびアルファルファに比較し、かなり低い値であった。

供試飼料の消化率および栄養価を示すと表55のとおりである。なお、ビートパルプの粗脂肪およびビートパルプとポテトパルプのADLの消化率は負の値となったため、0として表示した。

粗繊維の消化率は、ビートパルプで73.7%、ポテトパルプで84.3%と配合飼料およびアルファルファの粗繊維の消化率に比較し極めて高い値であった。OCWとその構成成分の消化率においても粗繊維と同様にビートパルプおよびポテトパルプで高く、特にポテトパルプのセルロースおよびヘミセルロースの消化率は90%以上の値を示した。

ステップエン液添加ビートパルプの消化率は、Ⅲ-1によると、粗蛋白質51.8%、粗脂肪54.1%、NFE84.1%、粗繊維79.3%、エネルギー73.8%であった。したがって、本試験の値と比較すると、粗蛋白質および粗脂肪で大きく異なったが、他の成分の消化率は類似の傾向がみられた。ステップエン液を添加したポテトパルプの消化率は、Ⅲ-1の値と比較すると、本試験の方が粗蛋白質および粗脂肪で良好な値を示し、NFEおよび粗繊維で劣った。しかし、ビートパルプおよびポテトパルプの粗繊維の消化率は若干の差異はみられるものの、いずれも70%以上の良好な値であった。また、アルファルファの消化率について高橋ら¹⁵⁰⁾は、粗蛋白質50.2%、粗脂肪16.6%、NFE56.8%、粗繊維19.4%、エネルギー41.1%であったとしている。さらに吉本¹⁸¹⁾は、豚の品種ごとにおけるアルファルファの消化率を検討した結果、ランドレース種で粗蛋白質69.5%、粗脂肪44.9%、NFE65.0%、粗繊維9.5%であったと報告している。これらの報告値と比較すると、本試験で用いたアルファルファの消化率は、粗脂肪で高かった他はほぼ妥当な値と考えられる。

一方、アルファルファのOCWの分画値について、Keysら⁸⁹⁾はOCW含量38.91%、ADF含量30.03%、セルロース含量22.87%、ヘミセルロース含量6.70%、ADL含量7.16%と報告し、さらに石栗⁷¹⁾は、北海道で2年間にわたって調査した結果、OCW含量38.3~44.5%、ADF含量30.0~35.7

%、セルロース含量22.0~26.1%、ヘミセルロース含量8.1~9.3%、ADL含量7.6~9.6%であったと報告している。本試験で用いたアルファルファは米国産のものであったが、Keysら⁸⁹⁾および石栗⁷¹⁾の報告値に比較して、ヘミセルロースの値が若干高かった他は、ほぼ同様の値であった。また、ビートパルプおよびポテトパルプについて、OCWの組成を検討した報告はみあたらないが、本試験で得られた結果をアルファルファと比較すると、ビートパルプはヘミセルロース含量が極めて高く、ADL含量が低く、さらにポテトパルプはADL含量がビートパルプ同様に低かった。したがって、ビートパルプおよびポテトパルプは、ADL含量が非常に低いことが、共通した特徴として認められた。

次に、消化率についてみると、Sullivan¹⁴⁷⁾はめん羊と雄子牛を用いて、アルファルファ、オーチャードグラス、チモシー、リードカナリグラスおよびケンタッキーブルーグラスのOCWの消化率について測定した結果、全草種ともヘミセルロースよりセルロースで消化率が高かったと報告している。さらにKeysら⁸⁹⁾は、アルファルファ、ブロングラスおよびオーチャードグラスについて、反芻家畜(めん羊)と非反芻家畜(豚およびラット)における消化率を比較した。その結果、反芻家畜では、アルファルファはヘミセルロースよりセルロースの方が消化率が高かったが、他の草種では逆にヘミセルロースの方がセルロースよりも消化率が高く、非反芻家畜では、いずれの乾草ともヘミセルロースの方がセルロースよりも消化率が高かったとし、この傾向は消化能力の劣るラットにおいて特に顕著であったと報告している。このことは、反芻家畜ではセルロースとヘミセルロースの消化能力に一定の傾向はみられないが、OCWに対して消化能力の劣る単胃動物では、セルロースに比較し、ヘミセルロースの方が消化し易いことを示唆しているものと推察される。本試験では、ポテトパルプおよびアルファルファにおけるセルロースとヘミセルロースの消化率の差は小さかったが、総体的にヘミセルロースで高かった。なお、Keysら⁸⁹⁾によると、豚におけるアルファルファの

セルロースおよびヘミセルロースの消化率は、それぞれ39.7%および42.7%であったと報告している。したがって、本試験の場合、アルファルファのセルロースおよびヘミセルロースの消化率は、Keysら⁸⁹⁾の報告値に比較しそれぞれ約10%単位低かった。

ビートパルプおよびポテトパルプのOCWの消化率は、ADLを除き各成分とも高く、特にポテトパルプではセルロースが94.4%、ヘミセルロースが95.7%と極めて高かった。このことは、アルファルファのADLが8.8%であったのに対し、ビートパルプおよびポテトパルプのADL含量が両者とも1.8%であり、しかもADLとセルロース比でも明らかなように、ビートパルプおよびポテトパルプは、セルロース含量が高い割にADL含量が極めて低いためと推察された。

IV-2 消化管の内容物の性状と繊維成分の部位別消失率

IV-2-1 一般成分の消失率

目 的

前試験では、アルファルファ、ビートパルプおよびポテトパルプにおける、化学成分および細胞壁構成成分の分画と、その消化率について報告した。その結果、ビートパルプおよびポテトパルプは、アルファルファに比較してヘミセルロースおよびセルロースの消化率が高かった。これらの飼料において、繊維性物質の消化率が大きく異なった理由として、細胞壁物質を構成している各成分組成の相異が考えられ、特にビートパルプおよびポテトパルプは、セルロース含量が高い割にリグニン含量の低いことが認められた。

一方、消化器官内における繊維性物質は、微生物以外では分解されないことから、単胃動物である豚での消化は盲腸以降で行われるものと考えられている⁴⁵⁾。前述のとおり、ビートパルプおよびポテトパルプの粗繊維の消化率が非常に高いことか

ら、これらの粗繊維の消化が盲腸以降で積極的に行われるかどうかについては、極めて興味のもたれるところである。

豚の消化器官各部位における飼料の消化吸収率を測定する方法として、Moore¹⁰³⁾、石川^{72,75)}、および吉本¹⁸¹⁾のように屠殺による方法、Cunninghamら²⁵⁾、Holmesら⁶⁰⁾、古谷ら⁴⁸⁾およびDecuypereら²⁶⁾のように消化器官にカニューレを装着した豚を用いる方法がある。前者は、消化器官全体を同時に詳細に調査できる反面、飼料摂取後の経時的変化を知ることができず、さらに試験の信頼性を得るには、多くの動物が必要になってくる。後者は、小頭数で生きたまま、しかも経時的に消化吸収の実験が出来る反面、カニューレの装着数に限りがあり、消化器官全体から詳細な情報を得るのは困難である。

本試験では、アルファルファ、ビートパルプおよびポテトパルプを多給した場合に、消化器官各部位でどのような消化吸収の過程を経るか、およびその傾向を知ることを目的に、屠殺法により調査を試み、消化器官各部位における内容物の一般成分の推移から、各部位までの消失率について検討を加えた。

材料および方法

供試した飼料の内容はIV-1と同様であり、試験飼料の構成および化学組成は表56のとおりである。

供試豚は、ランドレース去勢雄8頭で、1処理2頭ずつ割り当てた。供試豚の体重および飼料の給与量は表57のとおりである。ビートパルプおよびポテトパルプは、同体積の水を加え、いわゆる膨潤化させた後に配合飼料へ配合し、午前9:00と午後3:00の1日2回に等量給与した。

飼料AおよびBは酸化クロムを0.2%混合し、飼料CおよびDは配合飼料へ酸化クロムを0.2%混合した。各試験飼料を14日間以上給与後屠殺し、消化器官内容物の採取を行った。屠殺日は、午前8:00に試験飼料を1日分の半量給与し、給与後2時間半~3時間の間で電撃器を用いて屠殺後、放血し、消化器官を摘出し、直ちに内容物を採取

表56 試験飼料の構成と化学成分

	飼 料			
	A	B	C	D
配 合 飼 料(%)	100	80	70	70
アルファルファ(%)	—	20	—	—
ビートパルプ(%)	—	—	30	—
ポテトパルプ(%)	—	—	—	30
化 学 成 分				
水 分(%)	11.5	11.7	13.0	12.9
粗 蛋 白 質(%)	16.1	16.0	14.7	14.0
粗 脂 肪(%)	3.6	3.6	2.8	2.8
N F E(%)	59.6	55.8	56.5	57.4
粗 繊 維(%)	3.6	6.8	6.9	5.5
粗 灰 分(%)	5.7	6.1	6.2	7.4
エ ネ ル ギ ー(kcal/g)	3.98	3.98	3.88	3.76

表57 供試豚の屠殺時体重および飼料の給与量

飼料区	個 体 No.	屠殺時体重		飼料の給与量 kg/day
		kg		
A	1	97.6	3.4	
	2	97.4	3.4	
B	3	94.4	3.4	
	4	92.0	3.4	
C	5	89.7	3.3	
	6	83.5	3.1	
D	7	85.6	3.2	
	8	81.8	3.1	

した。

消化器官内容物の採取は、胃、小腸上部、小腸末端部、結腸入口および直腸の6部位で、その採取方法は以下のとおりである。

胃：胃内容物を十分に攪拌後、その一部を採取した。

小腸上部：小腸の先端（十二指腸を含む）より5.0m以内の内容物を全量採取した。

小腸末端部：小腸の末端より前部2.0m以内の内容物を全量採取した。

盲腸：盲腸内容物を全量採取した。

結腸入口：結腸の先端部より0.5m以内の内容物を全量採取した。

直腸：直腸内容物を全量採取した。

採取した消化器官内容物は、70℃の通風乾燥器で乾燥後、乳鉢で磨砕し分析に供した。なお、試料の分析方法はII章と同様である。

消化器官各部位における消失率の算出は、各栄養成分の通過速度が酸化クロムと同じであると仮定し、次式により求めた。

$$\text{各成分の消失率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{飼料中の酸化クロム含量\%}}{\text{内容物中の酸化クロム含量\%}} \times \frac{\text{内容物中の各成分含量\%}}{\text{飼料中の各成分含量\%}}\right) \times 100$$

結果および考察

消化器官各部位における、内容物の化学成分と酸化クロム含量の推移を、2頭の平均値で示すと表58のとおりである。

粗蛋白質：各飼料とも総体的に胃で若干低下の傾向がみられ、小腸上部で著しく高くなり、特に飼料Bにおいて顕著であった。小腸末端部以降では、大きな変化がみられなかった。ただし、粗蛋白質含量の高かった飼料AおよびBは、飼料CおよびDに比べ小腸末端部まで粗蛋白質含量が高く、それ以降では逆に飼料CおよびDの方が高い値を示した。

粗脂肪：粗蛋白質とは逆に、胃で若干高く、小腸上部で粗蛋白質と同様に著しく高まり、小腸末端部で低下し、盲腸および結腸入口で総体的にや

表58 消化器官各部位における内容物中の化学成分と酸化クロム含量(乾物中)

飼料区	飼料	胃	小腸上部	小腸末端部	盲腸	結腸入口	直腸
粗蛋白質 (%)							
A	18.2	17.4	48.9	23.0	18.8	19.4	18.6
B	18.1	17.6	70.4	21.8	18.5	19.9	19.0
C	16.9	16.5	46.1	18.9	20.2	21.1	25.8
D	16.1	16.0	47.5	20.0	23.5	25.3	23.4
粗脂肪 (%)							
A	4.1	5.2	13.0	6.0	7.6	8.3	4.8
B	4.1	5.1	13.1	6.2	6.2	6.3	4.7
C	3.2	4.3	12.1	4.2	6.1	6.1	7.0
D	3.2	3.6	11.2	4.8	5.8	6.4	6.7
N F E (%)							
A	67.3	66.4	26.6	43.7	41.5	41.6	42.8
B	63.2	63.6	6.6	38.8	38.9	37.2	38.3
C	64.9	61.7	28.1	48.3	41.4	40.3	34.8
D	65.9	64.2	26.6	45.9	38.7	36.1	35.7
粗繊維 (%)							
A	4.1	5.5	2.6	10.6	14.0	11.9	12.3
B	7.7	7.8	0.8	15.8	19.3	19.1	20.8
C	7.9	11.4	4.5	13.4	17.4	16.9	16.3
D	6.3	7.3	5.3	12.2	13.0	12.3	12.5
粗灰分 (%)							
A	6.4	5.7	9.0	16.8	18.2	18.8	21.7
B	6.9	6.0	9.2	17.6	17.2	17.7	17.3
C	7.1	6.3	9.3	15.4	15.1	15.7	16.2
D	8.5	9.0	9.5	17.3	19.1	20.1	21.8
エネルギー (kcal/g)							
A	4.50	4.70	5.53	4.61	4.55	4.57	4.52
B	4.51	4.61	6.05	4.65	4.65	4.65	4.69
C	4.46	4.61	5.37	4.32	4.58	4.63	4.81
D	4.32	4.47	5.42	4.40	4.49	4.53	4.52
酸化クロム (mg/g)							
A	2.26	2.24	1.77	6.66	7.82	8.60	10.61
B	2.27	2.04	0.80	5.98	6.52	7.13	7.87
C	1.69	1.56	0.92	3.30	5.05	5.35	7.06
D	1.68	1.84	1.48	4.73	6.48	7.16	8.04

飼料以外は2頭の平均値で示した。

や高まる傾向がみられた。直腸では、飼料AおよびBの粗脂肪が低下したのに対し、飼料CおよびDは高まった。

NFE：飼料B以外は胃で若干低下し、小腸上部で著しい低下がみられ、特に飼料Bにおける低下

が顕著であった。その後、小腸末端部で高まり、さらに飼料CおよびDが盲腸以降で低下したが、飼料AおよびBは小腸末端部以降で大きな変化がみられなかった。

粗繊維：各飼料とも胃で高まる傾向がみられ、

特に飼料 C の増加が大きかった。その後、小腸上部で低下がみられ、特に飼料 B の低下が著しかった。次いで小腸末端部でかなりの上昇がみられ、さらに盲腸では多少上昇したが、結腸入口では若干の低下がみられた。小腸末端部以降では、飼料 B の粗繊維含量が高く、飼料 C がこれに次ぎ、飼料 A および D で低かった。

粗灰分：飼料 D の 1 頭を除いて胃でも若干低下し、小腸上部でかなり高まった。さらに、小腸末端部で著しく高くなったが、それ以降では大きな変化がみられなかった。盲腸以降では、飼料 A および D で高く、飼料 B および C で低い傾向がみられた。

エネルギー：胃で若干高まり、小腸上部までかなりの上昇がみられ、小腸末端部で低下し、それ以降では大きな変化がみられなかったが、飼料 A および D で低く、飼料 B および C で高い傾向がみられた。

酸化クロム：胃において、飼料 A は飼料中の値とほぼ同じ値であったが、飼料 B および C は多少減少し、飼料 D は逆に高まった。さらに、小腸上部でかなりの低下がみられたが、小腸末端部で著しく高くなり、さらに消化管が直腸に近づくにつれ次第に増加した。

次に、消化器官各部位までの消失率を 2 頭の平均値で示すと表 59 のとおりである。

乾物：胃では、飼料 D 以外の消失率は負の値を示し、小腸上部では全ての飼料で負の値となり、特に飼料 B における低下が著しかった。小腸末端部では、消失率が非常に高くなり、さらに盲腸以降では次第に向上した。飼料 C は、小腸末端部での消失率が低かったが、盲腸以降ではかなり高まった。直腸では、飼料 B が他の飼料より特に低い値を示した。

粗蛋白質：胃では、飼料 A および D の消失率が正の値を、飼料 B および C で負の値を示し、小腸上部では乾物と同様に全ての飼料で負となり、特に飼料 B は乾物同様、極めて大きな負の値を示した。その後、小腸末端部では、急速に消失率が高まり、盲腸でさらに向上し、それ以降においては漸増した。

粗脂肪：胃では、各飼料の消失率とも負の値を示し、飼料 D 以外はその値が大きくなった。さらに、小腸上部では、各飼料とも消失率がより大きな負の値を示し、特に飼料 B で著しかった。しかし、小腸末端部では急速に消失率が高まり、さらに盲腸以降では次第に高くなった。

NFE：胃では、飼料 A および D の消失率が正の値を示し、飼料 B および C が負の値を示したが、それ以降では全て正の値を示した。小腸末端部では、飼料 C の消失率が特に低かったが、消化管が後部になるにつれ高まり、直腸では他の値とほぼ同じ値となった。しかし、飼料 B は回腸以降の消失率が低く、直腸では他の飼料に比較し、低い値となった。

粗繊維：胃では、各飼料とも消失率は負の値を示したが、それ以降の部位では、全て正の値を示した。小腸末端部以降において、飼料 A の消失率は消化管が下部になるにつれ次第に高まったが、飼料 B は盲腸で低下し、その後向上がみられた。飼料 C は、小腸末端部での消失率が低かったが、消化管が下部になるにつれかなりの増加を認めた。飼料 D は、小腸末端部で消失率が最も高く、それ以降においても消失率の向上がみられ、直腸では最も高い消失率を示した。総体的に飼料 A および B の粗繊維の消失率が低く、飼料 C および D の消失率が高かった。

粗灰分：胃では、各飼料の消失率とも正の値を示したが、小腸上部では著しく低下し、負の値となった。その後、小腸末端部で消失率は急速に高まり、さらに盲腸以降での消失率は、各飼料とも漸増したが、飼料 A および B は飼料 C および D に比較し低かった。

エネルギー：胃では、飼料 D 以外の消失率は負となり、さらに小腸上部では各飼料とも急激に低下し負の値を示し、特に飼料 B における低下が著しかったが、小腸末端部ではかなり高い値となった。飼料 B は小腸末端部以降の消失率が低く、直腸では他の飼料に比較し最も低い値を示した。これに対し、飼料 C は小腸末端部での消失率が低かったが、それ以降で高く、直腸では飼料 B よりも高かった。

表59 消化器官各部位における消失率

飼料区	胃	小腸上部	小腸末端部	盲腸	結腸入口	直腸
乾 物 (%)						
A	-0.9	-27.7	66.1	71.1	73.7	78.7
B	-11.3	-183.8	62.0	65.2	68.2	71.2
C	-8.3	-83.7	48.8	66.5	68.4	76.1
D	8.7	-13.5	64.5	74.0	76.5	79.1
粗 蛋 白 質 (%)						
A	3.5	-243.1	57.2	70.1	72.0	78.2
B	-8.2	-1,003.8	54.2	64.4	65.0	69.8
C	-5.7	-401.1	42.7	60.0	60.5	63.5
D	9.3	-234.9	55.9	62.0	63.1	69.6
粗 脂 肪 (%)						
A	-28.0	-304.9	50.4	46.4	46.8	75.6
B	-38.4	-806.8	42.5	47.4	51.1	67.0
C	-45.5	-594.9	32.8	36.1	39.8	47.7
D	-2.7	-297.3	46.8	52.9	53.0	56.2
N F E (%)						
A	0.7	49.7	78.0	82.2	83.7	86.5
B	-11.8	70.8	76.8	78.6	81.3	82.5
C	-2.6	26.8	62.1	78.7	80.4	87.2
D	11.1	54.4	75.4	84.7	87.2	88.7
粗 繊 維 (%)						
A	-35.4	19.0	12.4	13.2	23.7	36.1
B	-12.7	70.5	22.0	12.8	21.1	22.2
C	-56.3	3.4	13.2	26.2	32.4	50.7
D	-5.8	4.5	31.3	46.3	54.1	58.5
粗 灰 分 (%)						
A	18.7	-79.6	11.0	17.8	22.7	27.8
B	3.2	-278.4	3.1	13.3	18.4	27.8
C	3.9	-140.6	11.1	28.8	30.1	45.5
D	3.3	-26.9	27.7	41.6	44.4	46.4
エ ネ ル ギ ー (%)						
A	-5.4	-56.9	65.3	70.8	73.3	78.6
B	-13.8	-280.7	60.8	64.1	67.2	70.1
C	-11.9	-121.2	50.4	65.6	67.2	74.2
D	5.5	-42.4	63.8	73.0	75.4	78.1

豚において、胃から小腸への飼料の通過速度に関して、Moore¹⁰³⁾は粗蛋白質で速く、粗繊維で遅いことを、石川⁷⁵⁾は粗蛋白質および粗灰分で速く、粗脂肪で遅く、特に粗繊維は著しく遅れることを、さらに酸化クロムの胃から小腸への移動速度は乾物とほぼ同様であることが、古谷ら⁴⁸⁾および石川⁷⁵⁾

によって報告されている。したがって、粗繊維含量の高い飼料では、胃内において乾物とほぼ同速で移動する酸化クロムに比較し、粗繊維の移動が遅れるため、胃内における酸化クロムの含量は、飼料中の酸化クロム含量に比較し低下するものと推察される。

本試験において、胃内における酸化クロムの含量を、飼料中の含量と比較すると、飼料 A ではほぼ同じ値を、飼料 B および C で低く、飼料 D で高かった。このことは、用いた粗飼料の種類によって、胃から小腸への酸化クロムの移動が、乾物の移動と異なることを示しており、特に粗繊維含量の高い飼料 B および C で、酸化クロム含量の低下が大きかったのは、粗繊維の胃内における滞留の影響を大きく受けたためと考えられる。他方、飼料 D は飼料 A に比較し、粗繊維含量が高いにもかかわらず、胃内における酸化クロム含量は、飼料中の酸化クロム含量よりもむしろ高かった。このことは、胃内における飼料の通過が、酸化クロムより速いことを意味しており、飼料 D に配合したビートパルプの胃内通過が、他の飼料に比較し速かったのではないかと推測される。

一般に、胃内においては、栄養成分の吸収がほとんど行われなことから、その消失率は栄養成分の小腸への流出に伴う成分変化と、飼料中の酸化クロム含量に対する胃内の酸化クロム含量の相対的な関係によって決まることになる。以上のことを前提にして、胃内における栄養成分の変化とその消失率について考察すると、粗蛋白質含量は各飼料とも飼料中の値より胃内の方が総体的に低いことから、石川⁷⁵⁾や Moore¹⁰³⁾の報告と同様、粗蛋白質の移動は比較的速いものと考えられる。しかし、前述のとおり、飼料と胃内における酸化クロムの割合が試験飼料によって異なるため、酸化クロム含量の低下の大きかった飼料 B および C で粗蛋白質の消失率は負の値を示した。

胃内における粗脂肪の消失率は、各飼料とも負の値を示したが、このことは酸化クロム含量の変化よりも、胃内における粗脂肪含量の増加による影響と考えられる。胃内における粗脂肪含量の増加について、石川⁷⁵⁾および吉本¹⁸¹⁾も認めており、石川⁷⁵⁾は粗脂肪の胃から小腸への移動が遅いことを指摘している。なお、本試験で得られた試料について、同時に乳酸および揮発性脂肪酸の測定を試みた結果 (IV-2-3), Friend^ら⁴¹⁾および渡辺^ら¹⁶⁴⁾と同様、胃内において乳酸含量の著しい増加と揮発性脂肪酸の存在を認めており、これらの有

機酸が粗脂肪含量を高めた要因の一つではないかと推測している。

胃内における NFE についてみると、飼料 B 以外は飼料中の含量よりも低く、石川⁷⁵⁾や吉本¹⁸¹⁾の報告と一致している。胃内における NFE の低下について、石川⁷⁵⁾や吉本¹⁸¹⁾は乾物中の他の成分に比較し小腸への移動が速いためと推論しているが、先にも述べたとおり、胃内では乳酸や揮発性脂肪酸の産生が認められることから、胃内における NFE の一部は、微生物によって利用され、その結果、NFE 含量の低下することも考えられる。NFE の胃内における消失率は、酸化クロム含量の低下の大きかった飼料 B および C で負の値を示した。

胃内における粗繊維の消失率は、各飼料とも負の値を示した。このことは、粗脂肪と同様に胃内における粗繊維含量の増加による影響と考えられる。特に、飼料 C においてその影響が大きく、飼料 C で配合したビートパルプの胃内における滞留時間が、他の飼料に比較し長かったことがうかがわれる。ビートパルプは加水により体積が急速に膨張することから、胃内においてビートパルプの粒度が大きくなり、その結果、小腸への移動を特に遅らせたのではないかと推測されるが、消化管内における粒度と通過速度に関しては、今後の検討が必要であろう。

胃内における粗灰分の消失率は、各飼料とも正の値を示した。特に、飼料 A で粗灰分の消失率が高いことから、配合飼料の粗灰分は胃から小腸への移動が特に速いものと考えられる。胃内の粗灰分含量は、飼料中の粗灰分含量の高かった飼料 D 以外は飼料中の値よりも低かった。胃内における粗灰分含量は、石川⁷⁵⁾によると飼料中の含量より低いことを、吉本¹⁸¹⁾は逆に高まることを報告している。このことは、粗灰分の胃から小腸への移動が飼料によって異なることと、Moore^ら¹⁰³⁾が指摘するように飼料へ添加されるミネラルの形態によって差が生ずるのかも知れない。

胃内におけるエネルギーは、各処理区とも飼料中の値よりも高かった。胃内におけるエネルギーの増加についての詳細な報告が見当たらず、さらに本試験の結果だけでは十分な議論を加えること

ができないが、前述のとおり、胃内において微生物による発酵の結果、各種の有機酸の産生が起るなら、サイレージ発酵においてみられるような乾物中のエネルギーの増加があるのかも知れない。すなわち、McDonaldら¹⁰⁰⁾は、牧草をサイレージ化することにより、乾物中のエネルギーは3.4%~14.7%増加することを報告している。したがって、胃内におけるエネルギーの増加については、発酵による胃内成分の変化について検討する必要がある。胃内におけるエネルギーの消失率は、酸化クロム含量の増加のみられた飼料D以外は負の値を示した。

小腸上部における化学組成の変化についてみると、粗蛋白質および粗脂肪で急増し、粗灰分においても、粗灰分含量の高かった飼料Dで増加が少なかったが、他の飼料ではかなりの増加がみられた。エネルギーにおいてもかなりの増加がみられたが、これは粗脂肪の増加による影響と考えられる。他方、NFEおよび粗繊維は著しく低下し、さらに酸化クロム含量も小腸上部で低下がみられた。小腸上部におけるこれらの成分変化は、胃から小腸への移動が栄養成分によって異なることよりも、むしろ十二指腸部に分泌される内因性成分の影響と考えられる。すなわち、十二指腸部には、膵臓に由来する多くの消化酵素や胆のうに由来する食塩、重炭酸塩、ビリルビン、ヒルベルジン、レシチン、コレステロール、胆汁酸塩等の分泌が盛んに行われている⁴⁵⁾。したがって、胃から十二指腸部へ移動してきた栄養成分は、十二指腸部でこれらの分泌液により稀釈され、その結果、酸化クロム含量が低下し、見かけ上、乾物消化率はいずれも負の値を示したものと考えられる。なお、小腸上部における酸化クロム含量の低下は石川⁷⁵⁾およびMoore¹⁰³⁾も認めている。以上のことから、小腸上部における粗蛋白質、粗脂肪および粗灰分の増加は内分泌液に由来し、NFEおよび粗繊維の減少は、逆に内分泌液による稀釈の結果によって生ずる相対的な関係であり、しかもこれらの成分変化が小腸上部における消失率に大きく反映されたものと考えられる。なお、古谷ら⁴⁸⁾は十二指腸部で、乾物、粗蛋白質および灰分の消化率が負となることを報

告している。

一方、胃から小腸への飼料の乾物と酸化クロムの移動速度が同一であると仮定し、小腸上部における内因性の分泌量を酸化クロム含量の値から推測すると、乾物消失率からも明らかなように、飼料Bが最も多く、次いで飼料Cであり、飼料AおよびDで少なかった。これらの関係は、粗蛋白質、粗脂肪およびエネルギーにおいてもみられた。粗灰分においてもほぼ似たような傾向がみられたが、飼料AとDで大きな差があった。これは、飼料Dの粗灰分含量が特に高かったことによる影響とも考えられるが、その理由については不明である。これらの飼料の乾物消失率と、小腸上部に由来する内因性の分泌量との関係についてみると、消失率の低い飼料ほど内因性の分泌量が増加するという関係が示された。亀高⁸⁴⁾によるとJandwitzは鶏ヒナにおいて、セルロース含量を増加すると、十二指腸における内容物の窒素含量が増加したと説明しており、さらにBraudeら¹²⁾によると、豚において密度の低い飼料は、密度の高い飼料に比べ内因性の分泌量が多かったとしている。このことから、飼料の組成や物理性と内因性の分泌量との間には何んらかの関係があるのかも知れない。今後は、分泌液の組成、排泄量およびそれらの経時的变化等を、飼料組成やその物理性を考慮した上で検討してみる必要がある。

小腸末端部では、飼料Cの粗灰分を除いて消失率は全て正の値を示し、特に飼料C以外において、直腸の消失率を100とした場合、小腸末端部ではそのうち乾物で80%、粗蛋白質で70%、NFEで85%以上が消失した。古谷ら⁴⁸⁾も小腸末端部で、乾物、粗蛋白質およびNFEは、全体の可消化量の80%以上が吸収されたことを認めていることから、小腸末端部までにこれらの成分の大半が消化吸収されることがうかがわれる。さらに、古谷ら⁴⁸⁾および石川⁷⁵⁾によると、小腸における飼料の通過時間はほぼ3~4時間であり、直腸および大腸での通過時間は、飼料の給与量および質によって異なるが、石川⁷⁵⁾で16~21時間、古谷ら⁴⁸⁾で25~37時間であったとしている。したがって、小腸では飼料の通過が速く、しかも栄養成分の大半が消化吸収されるが、

他方、小腸で吸収されなかった消化管内容物は、盲腸以降において長時間を要しながら徐々に分解され消化吸収が行われるものと推察される。

小腸末端部以降における各飼料の消失の様相についてみると、飼料 A は小腸末端部における乾物、粗蛋白質、粗脂肪、NFE およびエネルギーの消失率が他の飼料に比べ高かった。飼料 B と飼料 D は、小腸末端部における消失率が粗繊維および粗灰分の消失率を除いてほぼ類似したが、盲腸以降において飼料 B は飼料 D に比較し、NFE、粗繊維、粗灰分およびエネルギーの消失率が低く、直腸では両者の間に乾物消化率において約 8% 単位の差がみられた。飼料 C は、小腸末端部における各成分の消失率が他の飼料に比べて低かったが、盲腸以降における消失率が粗脂肪を除いて高く、直腸における乾物消失率は飼料 B よりも高い値となった。特に、粗繊維の消失率についてみると、飼料 A、B および C は盲腸までの消失率が低かったが、飼料 A および C はその後の増加がみられ、飼料 C は盲腸以降において消失率が非常に高かった。飼料 D は、小腸末端部で既にかかなりの消失がみられ、それ以降においても消失率が非常に高かった。

以上、得られた結果から、消化管における各飼料の消失率の違いを、各飼料に配合した繊維質飼料の消化の差による影響と考え、それらのおおよその消化管における消化の過程について推測すると、アルファルファは小腸末端部までに主に消化され、盲腸以降では余り良く消化されず、粗繊維の消化は消化管全体を通じ不良であった。他方、ビートパルプは小腸末端部までの消化が不良であったが、盲腸以降での消化が良好であり、特に粗繊維は盲腸以降で非常に良く消化された。さらに、ポテトパルプは消化管全体を通じ良く消化されるものと考えられた。

前試験において、ビートパルプおよびポテトパルプの粗繊維の消化率の非常に高いことを報告したが、本試験の結果から、ビートパルプの粗繊維は特に盲腸以降において消化され、ポテトパルプは小腸で既にかかなりの消化が起る可能性が示唆された。

IV-2-2 繊維成分の消失率

目的

IV-1 において、ビートパルプ、ポテトパルプおよびアルファルファの繊維成分の、豚における消化率について検討した結果、ビートパルプおよびポテトパルプのヘミセルロースおよびセルロースの消化率は、アルファルファの消化率に比較し、極めて高いことを認めた。さらに、これらの飼料について、消化器官各部位における粗繊維成分の消失率を検討 (IV-2-1) したところ、アルファルファは消化管全体を通じあまり良く消化されなかったが、ビートパルプは盲腸以降での消化が良く、ポテトパルプは消化管全体を通じ良く消化されることが推察された。

一方、豚における繊維成分の消化の部位に関しては、主に盲腸および結腸内の細菌の作用によるものとされている^{45,111)}。しかし、盲腸を外科的に除去しても繊維の消化率に大きな影響を及ぼさなかったとする報告^{52,97)}もみられ、豚における繊維成分の消化の部位に関しては、なお不明な点が多い。

そこで本試験では、前試験 (IV-2-1) の試験料について、Van Soest^{161,162)}の手法に基づき、細胞壁構成成分の分画を試み、豚にアルファルファ、ビートパルプおよびポテトパルプを給与した際の、消化器官各部位における繊維成分の推移と、その消失率について検討を加えた。

材料および方法

供試材料は、IV-2-1 と同様であり、試験飼料における細胞壁構成物質 (以下 OCW と略す) の成分組成は表60に示した。

OCW の分画に基づく分析方法は、IV-1 のとおりであり、消化器官各部位における各成分の消失率は、IV-2-1 と同様にして求めたが、小腸上部における OCW 含量は、十二指腸部で分泌される内因性成分によって稀釈されるため、その含量が極めて低く、各成分含量を正しく測定評価することが困難であったので、小腸上部におけるデータは除外した。

表60 供試飼料の細胞壁構成物質の含量

			飼 料			
			A	B	C	D
水	分		11.5	11.7	13.0	12.9
O	C	W ¹⁾	14.5	18.6	21.4	17.3
ヘミセルロース			8.4	8.4	11.2	7.9
セルロース			5.1	7.9	9.0	8.3
A	D	L ²⁾	1.0	2.3	1.2	1.1

1) 細胞壁構成物質

2) 酸性デタージェントリグニン

結果および考察

消化器官各部位における内容物のOCW,ヘミセルロース,セルロースおよび酸性デタージェントリグニン(以下ADLと略す)の各含量を示すと表61のとおりである。

飼料AおよびCにおける,胃でのOCW含量の増加は,セルロースに比べヘミセルロースで大きかった。他方,飼料BおよびDにおける胃でのOCWの減少は,飼料Bではセルロース,飼料Dではヘ

ミセルロースの低下が大きかった。その後,OCW含量は,小腸末端部でかなりの増加がみられ,各飼料区ともヘミセルロース,セルロースおよびADLはいずれも急増し,それ以降若干の変動を示しながら直腸に至った。これらの変化の中で,飼料BおよびDは,飼料中のヘミセルロースおよびセルロース含量がほぼ同じであったが,小腸末端部以降においては,飼料Dのヘミセルロースおよびセルロース含量は飼料Bのそれに比べかなり低く推移し,特にヘミセルロースでその差が大きかった。また,飼料CはBと比較し,OCW含量,とりわけヘミセルロースおよびセルロース含量が高かったにもかかわらず,盲腸以降において,飼料Bのヘミセルロースおよびセルロース含量より低い値で推移した。

次に,消失率を示すと表62のとおりである。胃の消失率は,飼料AおよびCで各成分とも負の値を示した。飼料Bはヘミセルロースで負の値であったが,その他の成分では正の値となり,飼料D

表61 消化器官各部位における内容物中の細胞壁構成物質の含量(乾物中)

飼料区	飼料	胃	小腸末端部			盲腸	結腸入口	直腸
			O	C	W ¹⁾ (%)			
A	16.3	19.4		36.0		42.3	39.2	43.1
B	21.1	18.6		42.6		44.3	42.1	44.8
C	24.6	28.4		35.7		37.2	36.9	35.0
D	19.9	18.1		28.5		28.9	28.1	30.9
ヘミセルロース(%)								
A	9.5	11.4		20.0		21.5	19.3	22.3
B	9.5	9.4		18.5		18.3	17.0	17.3
C	12.9	14.3		18.5		15.0	14.7	13.6
D	9.1	5.8		10.0		10.3	9.3	11.4
セルロース(%)								
A	5.8	6.4		11.2		15.0	13.9	14.5
B	8.9	6.9		17.3		17.8	17.6	18.4
C	10.3	10.8		12.7		15.6	15.4	14.1
D	9.5	9.9		16.2		13.5	12.7	13.0
A D L ²⁾ (%)								
A	1.1	1.6		4.9		5.8	6.0	6.3
B	2.6	2.3		6.8		8.2	7.5	9.1
C	1.4	3.3		4.5		6.6	6.8	7.3
D	1.3	2.4		2.4		5.1	6.1	6.5

1), 2) 表60を参照

はADLで負の値となった。小腸末端部以降では、ADLを除きいずれも消失率は正の値で推移した。全消化管を通じ、飼料AおよびBのヘミセルロースとセルロースの消失率は、飼料CおよびDに比較し低い値で推移した。他方、飼料Cにおけるヘミセルロースの消失率は、小腸末端部で26.6%であったが、盲腸では61.0%と高まり、盲腸での消化が良好であったものと推察される。これに対し、飼料Dのヘミセルロースの消失率は、すでに小腸末端部で61.0%とかなり高かった。飼料Cにおけるセルロースの消失率は、飼料Dに比較すると総体的に低い値で推移したが、飼料AおよびBに比較すると、盲腸以降での消失率が高かった。また、セルロースの消失率の消化管における推移によれば、飼料Cのセルロースは盲腸および大腸を通じて消化され、飼料Dのセルロースは盲腸ですでにかなりの消化があるものと推察された。なお、盲腸以降においては、各飼料区ともセルロースの消失率よりヘミセルロースの消失率が高かった。

石川⁷⁵⁾およびMoore¹⁰³⁾によると、粗繊維の胃から小腸への移動速度は、乾物に比較し相対的に遅いことを報告しており、前試験(N-2-1)においても胃の粗繊維の消失率は各飼料とも負の値となり、石川⁷⁵⁾およびMoore¹⁰³⁾の報告と一致した。しかし、OCWの胃における消失率は、粗繊維の場合と異なり、飼料BおよびDで正の値を、飼料AおよびCで負の値を示した。OCWの胃における消失率は、OCWの胃から小腸への移動と、それに伴う指標物質である酸化クロムの移動速度との相対的な関係に起因する。すなわち、表61でも明らかのように、飼料BおよびDの胃内におけるOCW含量は飼料中の含量に比べて低く、飼料AおよびCは逆に高いことから、飼料AおよびCに比較し、飼料BおよびDのOCW含量は胃での通過の速かったことがうかがわれ、このことが、胃における消失率の差となって示されたものと推察される。したがって、胃におけるOCW含量の動態から、飼料Cに配合したビートパルプは、飼料Bに配合

表62 消化器官各部位における細胞壁構成物質の消失率

飼料区	胃	小腸末端部		盲腸	結腸入口	直腸
		O	C	W ¹⁾ (%)		
A	-20.1	25.1		25.0	36.8	43.7
B	1.9	23.3		26.9	36.6	38.9
C	-25.0	25.7		49.3	52.6	66.0
D	17.0	49.2		62.2	66.8	67.5
ヘミセルロース (%)						
A	-21.1	28.6		34.6	46.6	50.0
B	-10.1	26.0		33.0	43.1	47.6
C	-20.1	26.6		61.0	64.0	74.8
D	41.8	61.0		70.6	76.0	73.8
セルロース (%)						
A	-11.3	34.5		25.3	37.0	46.8
B	13.7	26.1		30.4	37.1	40.5
C	-13.6	36.9		49.3	52.8	67.3
D	4.9	39.5		63.1	68.6	71.4
A D L ²⁾ (%)						
A	-46.8	-51.0		-52.4	-43.5	-22.0
B	1.5	0.6		-9.8	8.3	-0.8
C	-155.3	-64.6		-57.9	-53.5	-24.6
D	-68.6	34.5		-1.6	-10.3	-4.5

1), 2) 表60を参照

したアルファルファおよび飼料 D に配合したポテトパルプに比較すると、胃での滞留時間が長かったものと考えられ、前試験 (IV-2-1) と同様の結論が示された。

小腸末端部以降における消失率は、ADL を除き全て正の値で推移した。飼料中における ADL 含量は、非常に低いため、若干の分析誤差によっても、ADL の消失率は大きな影響を受けるため、ADL の消化管内における消失率を正しく評価することは困難であるが、ADL の消失率の推移から推察し、既報¹¹²⁾の如く、ADL は消化管内で微生物の作用を受け難く、ほとんど消化されない成分と考えられる。

直腸におけるヘミセルロースおよびセルロースの消失率は、飼料 A および B に比較し、飼料 C および D で高く、IV-1 のとおり、ビートパルプおよびポテトパルプのヘミセルロースおよびセルロースの消失率は、検定飼料およびアルファルファのそれらに比較し高いことがうかがわれた。また、飼料 D のヘミセルロースの消失率は、小腸末端部で 61.0% と他の飼料に比べて非常に高かった。さらに、飼料 C のヘミセルロースの消失率は、小腸末端部では飼料 A および B と同様低かったが、盲腸で 61.0% と急増し、その後も増加を示した。このことは、飼料 C に配合したビートパルプのヘミセルロースは盲腸以降で良く消化されたのに対し、飼料 D に配合したポテトパルプのヘミセルロースは、小腸末端部までですでにかなりの消化が起ったものと推察される。セルロースの消失率は、小腸末端部において飼料 C および D で大差なかったが、飼料 C に比較し飼料 D は総体的に高い値で推移し、特に飼料 D は盲腸における消失率が高かった。したがって、ポテトパルプのセルロースの消化は、主に盲腸で起るのに対し、ビートパルプのセルロースは盲腸および大腸を通じて消化されるものと考えられた。

豚の消化管におけるヘミセルロースおよびセルロースの消化率について、Keys ら⁸⁸⁾は回腸カニューレ豚を用いて、アルファルファ、グレインソルガム、テキサスクライングラスおよびバミューダグラスの各乾草を 30% の cell wall を含むように各

飼料を調製して検討した結果、バミューダグラス飼料を除き、およそセルロースの 100%、およびヘミセルロースの 69~87% が盲腸以降で消化され、他方バミューダグラス飼料のセルロースおよびヘミセルロースの消化の大半は小腸で起ったとしている。ただし、バミューダグラス飼料の摂取量が極端に低く、このように高い消化率は疑問であったと指摘している。また、Furuya ら⁴⁸⁾は Keys ら⁸⁸⁾と同様、回腸カニューレ豚を用いて、2 種類の配合飼料について検討した結果、早期離乳用子豚飼料は回腸における粗繊維の消化率が 0% であったのに対し、子豚用飼料では粗繊維の全消化率の 50% が回腸までに消化されたとしている。さらに、吉本¹⁸¹⁾は屠殺法により、アルファルファ 70% 含有飼料における回腸までの粗繊維の消化率は、粗繊維の全消化率の 44% であったと報告している。以上のことから、豚における繊維成分の消化は、一般に盲腸以降で積極的に行なわれるものとされているが、飼料によっては小腸末端部までに繊維成分の一部は消化を受けるものと考えられる。

IV-2-1 において、ビートパルプの粗繊維は、特に盲腸以降で消化され、ポテトパルプは小腸末端部までかなりの消化の起ることを認めたが、本試験の結果から推察し、これらの消化の差異はヘミセルロースの消化が大きな影響を及ぼしているものと考えられる。すなわち、全消化率に対する小腸末端部のセルロースの消失率は、飼料 C で 54.8%、飼料 D で 55.3% とほぼ同じであったが、ヘミセルロースの回腸における消失率は全消失率に対し、飼料 C で 35.6%、飼料 D で 82.7% であった。したがって、飼料 C に配合したビートパルプのヘミセルロースは盲腸以降で良く消化されたのに対し、飼料 D に配合したポテトパルプのヘミセルロースは小腸末端部までかなりの消化が起ったものと推察される。また、表 62 の結果から、各飼料区ともセルロースよりヘミセルロースの消失率がいずれも高く推移しており、豚においてヘミセルロースの消化率はセルロースの消化率より高かったとする前試験 (IV-1)、Keys ら⁸⁹⁾および Yoshimoto ら¹⁸³⁾の報告と一致した。

以上の結果、アルファルファ、ビートパルプお

よびポテトパルプの消化管内における消化の様相について推測すると、アルファルファに比較し、ビートパルプおよびポテトパルプのヘミセルロースおよびセルロースの消化は良好であり、しかもポテトパルプのヘミセルロースは小腸末端部までかなりの消化が起るものと考えられた。また、ポテトパルプのセルロースの消化は盲腸で良好であったのに対し、ビートパルプのセルロースの消化は盲腸および大腸を通じて消化されるものと考えられた。

IV-2-3 内容物の性状

目 的

豚の消化管内における繊維性物質は、微生物以外では分解されず、しかも微生物による繊維性物質の分解産生物は、主に盲腸および結腸で産生され吸収される揮発性脂肪酸 (VFA) であるとされている^{5,8,35,67,68,85)}。また、消化管内容物および糞中の VFA 組成は、摂取飼料の質によって影響を受けるとする報告もみられる^{40,41)}。

以上のことから、本試験では繊維成分の消化性の異なるビートパルプ、ポテトパルプおよびアルファルファの給与が、豚の消化管内容物中の VFA をはじめ、PH、アンモニア態窒素 (NH₃-N) および乳酸含量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

試験の方法は、IV-2-1と同様である。

消化管内容物の PH は、試料を採取後直ちにガラス電極 PH メーターを用いて測定した。その後、各内容物10gを採り、これに飽和昇汞液1.0mlと H₂O を加え100ml にメスアップしたものをナイロン濾紙で濾過し、濾液について NH₃-N、乳酸および VFA の測定を行った。

NH₃-N 濃度、乳酸含量および VFA 濃度の測定は、II-2と同様である。

結果および考察

消化管内容物の水分含量は図40に示した。胃に

おける水分含量は、飼料 A が76%であったが、他区では79~80%と若干高かった。また、小腸上部では、飼料 B が82%と他区よりも約4~7%単位低かったが、小腸末端部における水分含量は、各処理間による差は小さく、盲腸以降では飼料 A と飼料 B が、さらに飼料 C と飼料 D がそれぞれ類似の推移を示し、いずれの部位とも飼料 A と飼料 B に比較し、飼料 C と飼料 D で高かった。消化管内の水分含量は、各処理区とも総体的に小腸および盲腸で高まり、結腸入口および直腸で低下がみられた。なお、消化管内の水分含量は、飲水量との関係が大きいものと推測されるが、本試験では飲水量について調査を行っていないため、飲水量との関連性については不明である。しかし、澱粉粕給与豚で糞が軟便になったとする報告^{116,167)}がみられることから、給与飼料の質と消化管内水分含量との間には密接な関係のあることが予想される。

消化管内容物の PH の推移は図41に示した。消化管内の PH は、飼料によって多少の違いがみられるものの、総体的に小腸上部から小腸末端部に

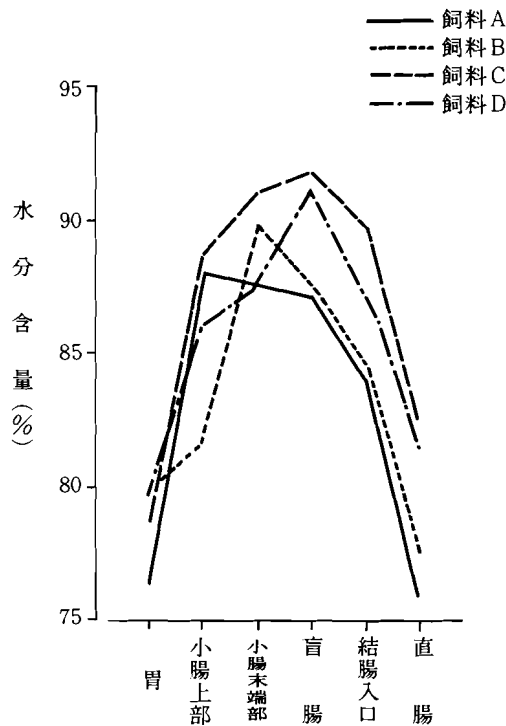


図40 消化管内容物の水分含量の推移

かけて高まり、盲腸および大腸入口で低下し、直腸では再び上昇を示した。消化管のPHについて石川⁷⁵⁾は、胃でPH3.2~5.3、小腸末端部でPH6.9~8.2、盲腸でPH5.9~7.2、直腸でPH6.4~8.0であったことを、さらに吉本¹⁸¹⁾は胃でPH 3前後であったものが、小腸末端部で高まり弱アルカリ性となり、その後盲腸でPHが6.2前後となり、さらに排泄時には弱アルカリになったと報告している。また、Kassら⁸⁵⁾は、アルファルファミールを0、20、40および60%含有する飼料において、小腸でPH6.1~6.4、盲腸および結腸でPH5.8~6.0であったとしている。本試験においては、各処理区とも小腸上部から小腸末端部にかけて高まり、その後盲腸および結腸入口で低下し、さらに直腸で増加を示し、石川⁷⁵⁾や吉本¹⁸¹⁾の報告とほぼ類似の変動パターンが認められた。しかし、彼らの報告値に比較し、本試験では総体的に低い値で推移し、小腸、盲腸および結腸のPH値は、むしろKassら⁸⁵⁾の値に類似した。なお、本試験において、胃内のPHは給与飼料によってかなりの相違が認められた。特に、ポテトパルプの胃内PHが5.5と高かったことから、ポテトパルプのPHを測定した結果、9.1と非常に高かった。このことは、ポテトパルプの製造工程における石灰の添加による影響が考えられる。したがって、給与飼料のPHは、胃内容物のPHに大きな影響を及ぼすことが推測される。しかし、小腸上部以降においては、各飼料間に著しい差違は認められず、ほぼ類似の変動パターンを示した。

消化管内容物のNH₃-N濃度の推移は図42に示した。胃におけるNH₃-N濃度はいずれの区とも10~17mg/100gと低かったが、飼料Aおよび飼料Bでは小腸上部でそれぞれ71mg/100gおよび158mg/100gと増加し、特に飼料Bにおいて著しい増加がみられた。その後、両区は減少し、盲腸および結腸で34~39mg/100gの範囲となったが、直腸では再び増加し、飼料Aで68mg/100g、飼料Bは97mg/100gを示した。これに対し、飼料Cおよび飼料Dでは、消化管全体を通じて結腸および直腸で多少の増加はみられるものの、飼料Aおよび飼料Bと比較し低い値で推移し、飼料Aと飼料Bお

よび飼料Cと飼料Dとでは、明らかに消化管内NH₃-N濃度の推移の異なることが認められた。

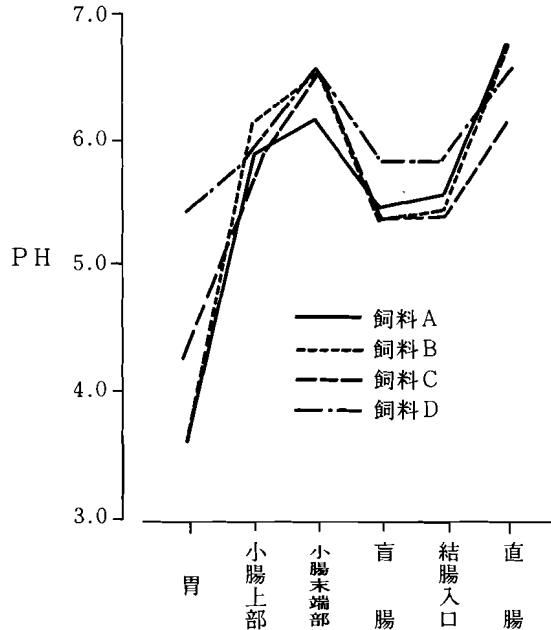


図41 消化管内容物のPHの推移

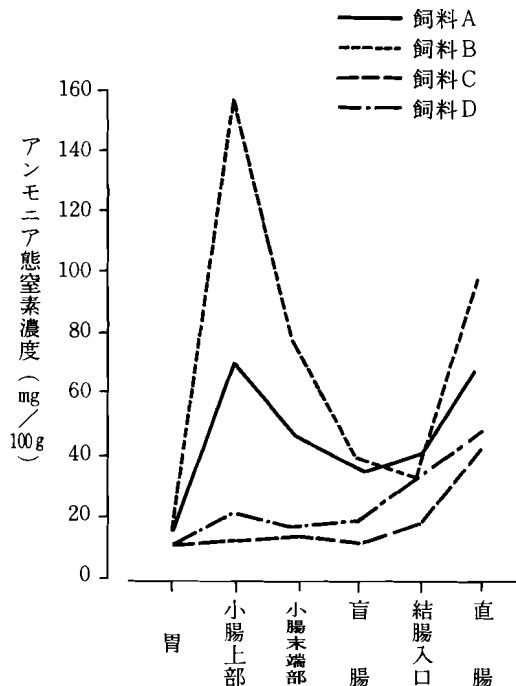


図42 消化管内容物のアンモニア態窒素濃度の推移

消化管内容物の乳酸含量の推移は図43に示した。胃における乳酸含量は、飼料 A が288mg/100g、飼料 B が135mg/100g、飼料 C が244mg/100g、飼料 D が340mg/100g であった。その後、飼料 A および飼料 B は、小腸上部でそれぞれ439mg/100g および488mg/100g と増加したが、飼料 C および飼料 D は胃以降に減少した。盲腸以降における乳酸含量は、各処理区とも極めて低かった。

消化管内の VFA 濃度の推移を図44に示した。胃における VFA 濃度は、飼料 A が最も高く、飼料 C、飼料 D、飼料 B の順に低かった。その後、小腸上部で各処理区とも0.6mM/100g 以下の低い値となったが、小腸末端部では飼料 A が7.3mM/100g、飼料 B が8.8mM/100g、飼料 C が3.6mM/100g、飼料 D が2.6mM/100g とそれぞれ高まり、さらに盲腸および結腸入口で最も高い値となり、直腸で減少した。特に、飼料 B は小腸末端部以降における VFA 濃度が高く、盲腸および結腸入口では飼料 A が15~17mM/100g、飼料 C が12~13mM/100g、飼料 D が14~16mM/100g であったのに対し、飼料

B は19~22mM/100g であった。牛において、和泉⁷⁸⁾が乾草、グラスサイレージあるいはとうもろこしサイレージと濃厚飼料の給与比率を変えて、第一胃内 VFA 濃度との関係について検討した結果によると、給与飼料によって異なるが、VFA 濃度の範囲は6~12mM/100ml 程度であり、第一胃内 VFA 濃度が最も高まる飼料給与 2 時間後でも9~12 mM/100ml であったとしている。したがって、豚の盲腸および結腸においては、渡辺ら¹⁶⁴⁾および Friend ら⁴¹⁾の報告と同様に、反芻家畜の第一胃内と同等以上の VFA 濃度の存在が認められた。

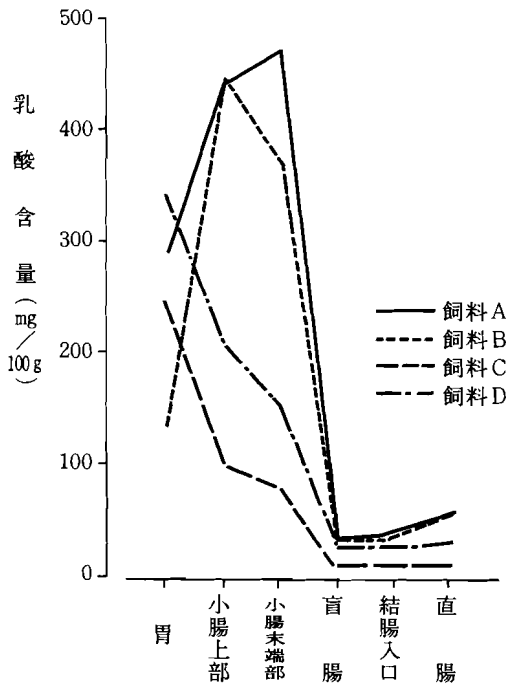


図43 消化管内容物の乳酸含量の推移

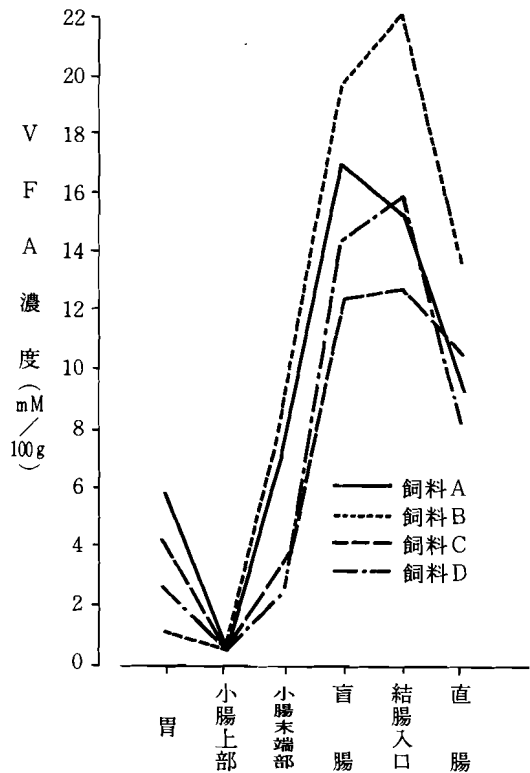


図44 消化管内容物の VFA 濃度の推移

消化管内容物の VFA 組成は表63に示した。なお、小腸上部における VFA 濃度は極めて低かったため、その組成を測定することが困難となり、データより除外した。酢酸の割合は、消化管全体を通じ飼料 A で低く、その他の区で高かった。これとは逆に、プロピオン酸の割合は飼料 A で高く、その他の区で低かった。また、飼料 B は胃において酪酸、

i-およびn-バレリアン酸の割合が高かったが、小腸末端部以降におけるこれら有機酸の割合は、飼料Aで酪酸の割合が若干高く推移した他は、特に処理区間に明らかな差を認めなかった。反芻家畜において、濃厚飼料と乾草の給与比率を変え、第一胃内VFA組成について検討した報告^{21,22,29,58,78,79)}によると、乾草の給与比率が高まるとVFA中の酢酸の割合は増加の傾向を示している。また、本試験では、各消化管内における有機酸の産生量は検討していないが、ImotoおよびNamioka⁶⁷⁾によると、不溶性炭水化物の摂取量

が増加すると豚の大腸における酢酸の産生および吸収量が増加するとしている。他方、Friendら^{40,41)}は、飼料にセルロースを補給すると、豚の消化管内および糞中の酢酸の割合は増加の傾向にあったとしているが、本試験においても、飼料Aの配合飼料単一給与区に比較し、繊維質飼料多給区において、総体的に消化管内の酢酸の割合は増加を示した。したがって、繊維質飼料の多給により消化管内VFA組成は影響を受け、特に酢酸の割合は増加するものと考えられる。

表63 消化器官各部位における内容物中のVFA組成の推移 (VFAのmol%)

飼料区	VFA		胃	小腸末端部	盲腸	結腸入口	直腸
A	酢	酸	44.4	46.3	46.4	46.1	44.5
	プロピオン	酸	46.3	37.9	32.7	31.6	30.4
	酪	酸	6.5	12.2	17.7	17.7	16.1
	i-バレリアン	酸	0.9	1.1	0.3	1.2	5.0
	n-バレリアン	酸	1.9	2.6	2.8	3.4	4.0
B	酢	酸	40.7	69.9	61.4	58.4	46.5
	プロピオン	酸	23.8	10.1	21.2	22.9	28.1
	酪	酸	14.7	11.4	14.0	16.0	14.0
	i-バレリアン	酸	16.0	8.1	1.4	0.8	7.0
	n-バレリアン	酸	4.8	0.6	2.0	2.0	4.3
C	酢	酸	66.1	74.0	63.2	63.3	58.2
	プロピオン	酸	18.9	10.9	20.3	20.1	22.5
	酪	酸	10.5	9.3	15.0	15.0	13.3
	i-バレリアン	酸	1.5	4.3	—	0.2	4.4
	n-バレリアン	酸	3.1	1.5	1.5	1.5	1.7
D	酢	酸	70.1	77.4	58.4	58.5	51.3
	プロピオン	酸	23.2	9.3	24.3	25.0	28.1
	酪	酸	3.8	8.1	13.6	13.3	12.8
	i-バレリアン	酸	1.9	2.9	1.4	1.1	4.7
	n-バレリアン	酸	1.0	2.4	2.4	2.1	3.2

以上のように、アルファルファ、ビートパルプおよびポテトパルプの多給は、豚の消化管内性状に影響を及ぼすことが認められた。すなわち、ビートパルプおよびポテトパルプの多給は、配合飼料の単一給与またはアルファルファを多給した場合に比べ、消化管全体を通じてNH₃-N濃度が低く、さらに小腸内の乳酸含量が低下し、また盲腸以降の消化管内における水分含量が高かった。こ

れらの差異は、各飼料の細胞壁構成物質の成分組成および粗蛋白質含量とその消化性の違いによる影響が考えられる。また、これら繊維成分の差異は、消化管内通過速度に大きな影響を及ぼすことも予測され、この点からも消化管内性状に与える影響の違いが推察される。他方、本試験においては、繊維成分の消化率の高かったビートパルプおよびポテトパルプと消化管内容物のVFA濃度との

関係は明確でなかった。このことは、消化管内で産生したVFAは一方では吸収される^{5,8,67,68,85)}ため、単純に消化管内VFA濃度から検討することは不可能とも考えられる。今後はさらに、繊維質飼料とVFAの産生量との関係についての解明が必要となる。

IV-3 繊維質飼料の肥育効果

目 的

飼料の可消化成分含量は、消化試験の結果より算定されるが、この際、炭水化物は、一般成分でNFEと粗繊維に分類され、両者とも各成分の消化率を乗じた値を可消化養分とし、それぞれ等価に見積もられている。しかし、豚に摂取された飼料中の粗繊維は、消化管内微生物によって分解され、主に盲腸および結腸より揮発性脂肪酸として吸収され、エネルギーとして利用されるため^{43,68,85)}、小腸末端部までに主に消化吸収されるNFEとは、当然その消化過程および吸収のメカニズムが異なってくるものと推測される。

一方、これまでの豚におけるビートパルプの粗繊維の消化率に関する検討結果より、ビートパルプの粗繊維の消化率はポテトパルプと同様に、一般の飼料の粗繊維の消化率に比較し非常に高いことを認めた。また、ビートパルプを配合飼料に10%、20%および30%配合し、ビートパルプの配合割合と消化率との関係について詳細に検討を加えた結果(II-2)、ビートパルプには粗蛋白質および粗脂肪に由来する可消化養分はほとんどなく、可消化養分の大半はNFEと粗繊維に由来し、しかもビートパルプの粗繊維に由来する可消化養分は乾物中約15%であった。

そこで本試験では、ビートパルプの粗繊維を含む可消化炭水化物の栄養的意義についての知見を得るため、コーンスターチに由来する可消化炭水化物と比較検討する目的で肥育試験を実施した。なお、豚に繊維質飼料を多給すると、消化器官の発育に影響を及ぼすことが報告されていることから^{11,17)}、消化器官の2, 3の形質について検討する

と同時に、ビートパルプ多給時における屠体脂肪の理化学性状についても検討を加えたので併せて報告する。

材料および方法

肥育試験には、基礎配合飼料として豚産肉能力検定飼料を用い、これにコーンスターチ+大豆粕と、ビートパルプ+大豆粕のDCP:TDN比が配合飼料のDCP:TDN比と同一になるようにそれぞれ調製し、配合飼料の一部を代替えた。なお、本試験で供試したビートパルプは、II-2で用いたビートパルプと同一のものである。

ビートパルプの代替え率は、全体の約20%を目安とし、各供試飼料の栄養価は、それぞれの乾物含量を測定後、ビートパルプの栄養価は、II-2の測定結果を用い(ただし、可消化粗蛋白質および可消化粗脂肪含量はそれぞれ0とした)、コーンスターチおよび大豆粕は、飼料成分表¹¹⁹⁾の値を適用した。その結果、表64に示すような試験飼料の構成割合となった。なお、DCPおよびTDNは、各供試飼料の乾物含量を考慮して求めた推定値である。

飼料の給与量は、直接検定の給与基準による定量給与に準拠し、1日に2回に分けて、午前9:00と午後3:00に与えた。すなわち、両区の飼料の給与量は、配合飼料の栄養価を基準とし、両試験区の栄養摂取量が等しくなるように、対照区は0.97倍、ビートパルプ区は1.04倍して給与した。

供試豚は、大ヨークシャー5腹から生産された去勢雄16頭で、いずれも単飼とし、50kgまでは検定飼料で直接検定の給与基準により予備飼育後、腹間および体重を考慮しながら両試験区に組み入れ肥育試験を実施した。なお、本試験では、豚に対する飼料の繊維の効果について検討を加える目的から、豚房内への敷料は一切使用しなかった。

各個体とも、体重が100kgに到達後、1週間以内に24時間絶食し、屠殺解体した。屠殺は電撃器を用い、脱毛は湯はぎ法により、肢端除去、内臓除去、背割、頭部除去後洗浄し、-2~-5℃の冷蔵庫で一昼夜放冷後、枝肉検査に供した。また、内臓の諸形質の測定は屠殺時に行い、各消化器官の

無内容重量は、内容物を除去後水洗し、各器官に附着している水分を布で拭き取り秤量した。

屠体の脂肪の理化学性状の測定部位は、ロース背部皮下外層脂肪と内層脂肪および腎臓周囲脂肪の3部位である。脂肪の融点は、加温溶解後、毛細管に封入し、上昇融点法¹⁵⁹⁾により測定し、脂肪の色調は色差計（東京電色、TC-U201）により、脂肪の酸組成はガスクロマトグラフィー法によった。なお、ガスクロマトグラフィーの運転条件は以下のとおりである。

装置：島津GC-6A型

検出器：FID

カラム：3mm×2m ガラスカラム

充填剤：Diasolid ZF

キャリアーガス：N₂、流速40cm/min

カラム温度：190℃

データ処理：島津クロマトパック-EIA

対照区およびビートパルプ区の飼料の栄養価は、ランドレース去勢雄（体重56～61kg）6頭を2群に分け、1処理区3頭ずつ用い、予備期間5日、

採糞期間5日の全糞採取法により消化試験を実施して求めた。飼料および糞の分析方法は、II章と同様である。なお、統計分析による有意性の検討は、t-検定¹⁷⁹⁾によった。

結果および考察

供試飼料の化学成分を表65に示した。ビートパルプ区は対照区に比較し、NFE含量で低く粗繊維含量で高く、特に粗繊維は約2倍の含量であった。

消化試験の結果から得られた消化率および栄養価は表66に示した。栄養価の実測値（表66）を推定値（表64）と比較すると、DCP含量は両者ともほぼ同じ値であったが、TDN含量は対照区で2.8%単位、ビートパルプ区で2.2%単位実測値の方が高かった。しかし、DCPとTDNの割合を示す栄養率は、対照区が4.7、ビートパルプ区が4.6とほぼ同じ値であった。

表64 試験飼料の構成および推定栄養価

	対 照 区	ビートパルプ区
	%	%
検 定 飼 料	75.2	70.2
ビートパルプ	—	21.0
コーンスターチ	15.6	—
大豆粕	8.6	8.0
ビタミン・ミネラル等の微量成分 ¹⁾	0.6	0.8
D C P	13.19	12.36
T D N	72.00	67.21

1) 検定飼料用添加剤

表66 試験飼料の消化率および栄養価

	対 照 区	ビートパルプ区
消 化 率		
乾 物 (%)	84.0	78.2
粗 蛋 白 質 (%)	81.9	72.8
粗 脂 肪 (%)	70.2	55.3
N F E (%)	91.0	87.1
粗 繊 維 (%)	38.6	55.2
エ ネ ル ギ ー (%)	84.1	76.7
栄 養 価		
D C P (%)	13.1	12.5
D E (kcal/g)	3.41	3.14
T D N (%)	74.8	69.4

表65 供試飼料の化学成分

	配合飼料	大豆粕	ビートパルプ	コーンスターチ	対 照 区	ビートパルプ区	
水	分 (%)	9.7	11.7	14.9	13.3	10.5	11.0
粗 蛋 白 質 (%)		16.0	46.3	9.8	0.8	16.1	17.0
粗 脂 肪 (%)		3.9	0.7	2.0	0	3.0	3.2
N F E (%)		60.4	29.2	53.2	85.7	61.3	56.0
粗 繊 維 (%)		4.0	5.8	17.1	0	3.5	6.8
粗 灰 分 (%)		6.0	6.3	3.1	0.2	5.7	6.0
エ ネ ル ギ ー (kcal/g)		4.16	4.33	3.75	3.63	4.07	4.06

試験期間における両試験区の体重の推移は図45に示した。両試験区ともほぼ同じ発育を示し、試験区間による差は認められなかった。

発育成績および栄養消費量は表67に示した。両試験区とも試験所要日数は約62日、1日平均増体量は約810gとほぼ同じ値であり、両試験区間に差がみられなかった。また、消化試験の結果より、実測値を引用して試算した栄養消費量は、DE消費量において対照区の方が若干高かったが、DCPおよびTDN消費量は両試験区ともほぼ同じ値であった。

屠殺成績は表68に示した。屠殺絶食前体重は、両試験区ともほぼ100kgであったが、絶食後体重では両試験区間に有意差はみられないものの、対照区に比較しビートパルプ区で約1kg少なかった。

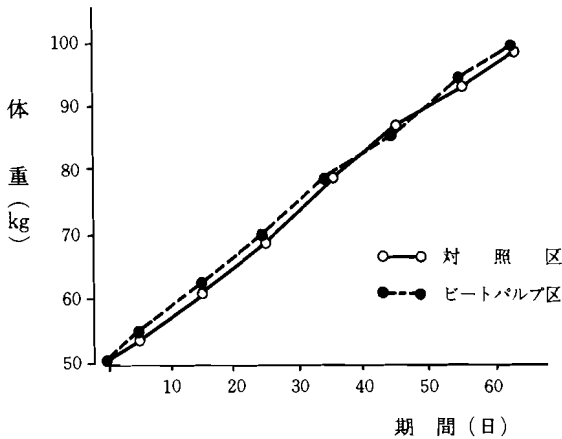


図45 試験期間における体重の推移

さらに、温屠体重および冷屠体重ではビートパルプ区の方が有意に少なく、その結果、枝肉歩留は対照区に比べビートパルプ区で有意に低かった。このため、絶食前体重は、両試験区ともほぼ同じであったが、枝肉生産量は冷屠体重で比較すると、対照区はビートパルプ区に比較し3.1kg少なかった。枝肉測定値は表69に示した。いずれの測定項目とも、両試験区間に有意差はみられなかった ($P > 0.05$)。枝肉の脂肪層の厚さは表70に示した。腹部脂肪において、対照区が有意 ($P < 0.05$) に厚かったが、その他の部位では両試験区間に有意な差はみられなかった。しかし、背脂肪層の背部を除いて、総体的に対照区の方がビートパルプ区より厚い傾向がみられた。

枝肉脂肪の融点および色調は表71に示した。脂肪の融点は両試験区間に有意差を認めなかった ($P > 0.05$) が、背脂肪の融点是对照区で、腎臓周囲脂肪の融点はビートパルプ区でそれぞれ高い傾向がみられた。脂肪の色調は、背外・内層脂肪とも両試験区間に有意な差はみられなかったが、L値は対照区でやや高い傾向を示した。

背外・内層および腎臓周囲の脂肪酸組成は表72、73および74に示した。背部外層脂肪の脂肪酸組成は、両試験区間で各項目とも有意差を認めなかった ($P > 0.05$) が、背部内層脂肪ではC16:0 ($P < 0.01$) およびC18:2 ($P < 0.05$) において、腎臓周囲脂肪ではC17:0 ($P < 0.01$)、C18:1 ($P < 0.01$) およびC18:2 ($P < 0.05$) においてそれぞ

表67 発育成績および飼料の栄養消費量

	対照区	ビートパルプ区
試験開始日令(日)	114.1 ± 9.0 ¹⁾	113.9 ± 8.7
試験終了日令(日)	176.4 ± 14.8	176.0 ± 8.2
試験所要日数(日)	62.3 ± 7.2	62.1 ± 2.8
試験開始時体重(kg)	50.2 ± 0.2	50.3 ± 0.3
試験終了時体重(kg)	100.3 ± 0.5	100.4 ± 0.5
1日平均増体量(g)	814 ± 96	808 ± 38
飼料消費量(kg)	170.6 ± 17.7	182.3 ± 8.1
DCP消費量(kg)	22.3 ± 2.3	22.8 ± 1.0
DE消費量(Mcal)	581.7 ± 60.3	572.4 ± 25.5
TDN消費量(kg)	127.6 ± 13.2	126.5 ± 5.6

1) 平均値 ± 標準偏差

表68 屠殺成績

	対 照 区	ビートパルプ区
絶食前体重(kg)	100.1±1.8 ¹⁾	100.0±1.0
絶食後体重(kg)	94.8±2.0	93.7±1.7
温屠体重(kg)	70.3±1.8	67.4±1.4**
冷屠体重(kg)	69.0±1.8	65.9±1.4**
頭 部 重 量(kg)	6.3±0.4	6.0±0.3
肢 端 重 量(kg)	1.9±0.2	1.8±0.1
枝 肉 歩 留(%)	72.7±1.3	70.3±0.6**

1) 平均値±標準偏差

**P<0.01

表70 枝肉の脂肪層の厚さ

	対 照 区	ビートパルプ区
背 脂 肪 層		
肩 (cm)	3.76±0.33 ¹⁾	3.50±0.20
背 (cm)	1.53±0.39	1.72±0.23
腰 (cm)	2.56±0.55	2.25±0.30
平均 (cm)	2.61±0.37	2.34±0.15
ランジル部平均 (cm)	2.41±0.60	2.26±0.26
腹 部 平 均 (cm)	2.79±0.29	2.43±0.18*

1) 平均値±標準偏差

*P<0.05

表69 枝肉測定値

	対 照 区	ビートパルプ区
枝 肉 測 定 値		
屠 体 長 (cm)	95.8±2.3 ²⁾	96.5±2.0
背 腰 長 I (cm)	79.1±1.9	79.6±1.5
背 腰 長 II (cm)	68.6±2.4	70.1±2.3
屠 体 幅 (cm)	33.7±1.0	33.3±0.6
屠 体 の 厚 み (cm)	13.5±0.3	13.3±0.3
ロ ー ス の 長 さ (cm)	51.6±2.2	53.0±2.3
ロ ー ス 断 面 積 (cm ²)	19.9±3.2	18.8±1.4
大 割 肉 片 の 重 量 割 合		
カ タ (%)	32.3±0.8	32.7±0.7
ロ ー ス ・ バ ラ (%)	33.9±0.5	33.8±1.4
ハ ム (%)	33.8±0.9	33.5±1.3
胸 最 長 筋 の 肉 色 (PCS) ¹⁾	3.4±0.5	3.5±0.7

1) 豚標準肉色模型

2) 平均値±標準偏差

表71 枝肉脂肪の融点および色調

	対 照 区	ビートパルプ区
脂 肪 の 融 点 (°C)		
背脂肪 { 外 層	31.0±2.4 ¹⁾	29.9±2.0
背脂肪 { 内 層	34.5±2.1	33.9±3.2
腎臓周囲脂肪	42.9±1.6	44.4±1.4
脂肪の色調(背脂肪)		
外層 { L ²⁾	72.2±0.7	69.4±2.5
外層 { a ³⁾	4.7±0.4	4.4±0.7
外層 { b ⁴⁾	3.4±0.4	3.5±0.6
外層 { $\sqrt{a^2+b^2}$ ⁵⁾	5.8±0.4	5.6±0.9
内層 { L	71.5±2.2	69.4±3.4
内層 { a	4.5±0.8	4.5±0.6
内層 { b	3.4±0.4	3.6±0.4
内層 { $\sqrt{a^2+b^2}$	5.7±0.8	5.7±0.7

1) 平均値±標準偏差, 2) 明度, 3) 赤味,

4) 黄味, 5) 採度

れ両試験区間に有意差が認められた。

次に、内臓器官の諸形質の測定結果を表75に示した。有内容および無内容総重量とも対照区に比べビートパルプ区の方が有意に重かった。特に、有内容重量は、盲腸 ($P < 0.05$)、結腸 ($P < 0.01$) および直腸 ($P < 0.01$) でビートパルプ区の方が有意に重く、無内容では胃 ($P < 0.01$)、盲腸 ($P < 0.05$) および結腸 ($P < 0.01$) でビートパルプ区の方が有意に重かった。したがって、ビートパルプの給与は、特に胃、盲腸および結腸の重量を増加させた。また、肉眼的にみても、胃はその容積が明らかに大きく、しかも胃壁部も厚く充実していた。他方、胃潰瘍の発生状況についても調査したが、両試験区とも胃潰瘍の発生は特に認められず、試験飼料の差異による影響は明らかでなかった。消化器官の長さについてみると、ビートパルプ区は対照区に比べ小腸で有意 ($P < 0.01$) に短く、結腸で有意 ($P < 0.01$) に長かった。

消化管内容物の重量は表76に示した。消化管内容物は、盲腸、結腸および直腸で明らかにビートパルプ区の方が対照区よりも重く、全内容物重量では両試験区間に1.41kgの差が認められた。

本試験の結果、対照区およびビートパルプ区に

表72 背外層脂肪の脂肪酸組成

脂 肪 酸	対 照 区	ビートパルプ区
	%	
C10:0	0.1±0 ¹⁾	0.1±0
C12:0	0.1±0	0.1±0
C14:0	1.4±0.1	1.3±0.1
C16:0	23.4±0.9	22.0±1.5
C16:1	3.7±0.6	3.4±0.4
C17:0	0.5±0.2	1.0±0.3
C17:1	0.4±0.1	0.5±0.3
C18:0	11.0±1.0	11.8±1.3
C18:1	45.5±1.9	45.0±1.5
C18:2	12.3±1.1	13.3±1.7
C18:3	0.5±0.2	0.6±0.4
C20:1	1.1±0.3	0.8±0.7
飽 和 酸	36.5±1.6	36.3±2.2

1) 平均値±標準偏差

表73 背内層脂肪の脂肪酸組成

脂 肪 酸	対 照 区	ビートパルプ区
	%	
C10:0	0.1±0 ¹⁾	0.1±0
C12:0	0.1±0	0.1±0
C14:0	1.3±0.1	1.3±0.2
C16:0	25.4±0.9	23.2±1.2**
C16:1	2.8±0.8	2.7±0.4
C17:0	0.7±0.4	1.0±0.5
C17:1	0.4±0.3	0.5±0.3
C18:0	14.1±1.5	14.5±1.0
C18:1	43.0±1.4	42.4±2.1
C18:2	10.7±0.9	12.6±1.6*
C18:3	0.3±0.1	0.4±0.2
C20:1	1.1±0.3	1.2±0.4
飽 和 酸	41.8±1.4	40.2±1.5

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

1) 平均値±標準偏差

表74 腎臓周囲脂肪の脂肪酸組成

脂 肪 酸	対 照 区	ビートパルプ区
	%	
C10:0	0.1±0 ¹⁾	0.1±0
C12:0	0.1±0	0.1±0
C14:0	1.6±0.1	1.5±0.2
C16:0	28.3±1.5	28.5±1.3
C16:1	3.0±1.4	2.1±1.4
C17:0	tr	0.5±0.4**
C17:1	0.6±0.4	0.3±0.2
C18:0	16.4±2.1	17.1±2.2
C18:1	40.6±1.5	38.5±1.2**
C18:2	8.4±1.0	10.3±1.4*
C18:3	0.3±0.2	0.4±0.2
C20:1	0.7±0.4	0.8±0.3
飽 和 酸	46.5±3.0	47.8±2.7

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

1) 平均値±標準偏差

表75 内臓器官の諸形質

		対 照 区	ビートパルプ区
有 内 容 総 重 量 (kg)		11.07±0.76 ¹⁾	13.19±0.79**
無 内 容 総 重 量 (kg)		8.82±0.40	9.53±0.39**
肝 臓 重 量 (kg)		1.34±0.09	1.40±0.11
胃 の 重 量	有 内 (kg)	0.88±0.23	0.97±0.07
	無 内 (kg)	0.53±0.07	0.68±0.06**
小 腸 の 重 量	有 内 (kg)	2.00±0.28	2.13±0.16
	無 内 (kg)	1.50±0.16	1.57±0.14
盲 腸 の 重 量	有 内 (kg)	0.34±0.07	0.57±0.23*
	無 内 (kg)	0.14±0.02	0.17±0.02*
結 腸 の 重 量	有 内 (kg)	1.85±0.27	3.24±0.59**
	無 内 (kg)	0.84±0.06	1.19±0.09**
直 腸 の 重 量	有 内 (kg)	0.52±0.06	0.77±0.18**
	無 内 (kg)	0.34±0.08	0.41±0.07
長 さ	小 腸 (m)	17.31±0.84	15.67±0.68**
	盲 腸 (m)	0.25±0.02	0.28±0.04
	結 腸 (m)	3.39±0.26	4.16±0.50**
	直 腸 (m)	1.50±0.13	1.54±0.18

* P<0.05, ** P<0.01

1) 平均値±標準偏差

表76 消化管内容物の重量

	対 照 区	ビートパルプ区
	kg	kg
胃 内 容 量	0.36±0.24 ¹⁾	0.29±0.07
小 腸 内 容 量	0.50±0.24	0.56±0.19
盲 腸 内 容 量	0.21±0.07	0.40±0.22*
結 腸 内 容 量	1.00±0.26	2.05±0.54**
直 腸 内 容 量	0.21±0.07	0.40±0.22**
全 内 容 量	2.25±0.44	3.66±0.61**

* P<0.05, ** P<0.01

1) 平均値±標準偏差

おける栄養消費量はほぼ同じであり、発育においても両試験区間に明らかな差は認められなかった。しかし、絶食後体重において、対照区に比べビートパルプ区で1.1kg低く、さらに冷屠体重は対照区に比較し、ビートパルプ区で3.1kg有意(P<0.01)に低かった。これらの差をビートパルプの給与に基づく影響と考えるならば、絶食後の体重の減少量の差は、消化管内容物の違いによる差と考えられる。すなわち、ビートパルプは加水による膨潤性が高く、さらに対照区よりも乾物消化率が低く、

給与量が多いことから、当然消化管内容物の総重量はビートパルプ区の方が高く、絶食による減少割合は対照区よりビートパルプ区の方がその影響を大きく受けたものと推察される。しかもこの現象は、同時に消化管の全内容物量にも反映され、その結果、屠殺時における全消化管内容物重量が、対照区に比較しビートパルプ区で有意(P<0.01)に重くなったものと考えられる。したがって、ビートパルプのような飼料を給与した際の肥育性を検討するには、見かけ上の発育だけでなく、その生体構成について十分な吟味が必要と思われた。

次に、各消化器官の重量についてみると、対照区に比較しビートパルプ区でいずれも重く、特に胃(P<0.01)、盲腸(P<0.05)および結腸(P<0.01)においてはビートパルプ区で有意に重かったが、このことは、ビートパルプのような飼料を給与することにより、消化器官の発達に大きな影響を及ぼすことを示唆している。豚における消化器官の発達は、日齢と関係する⁹⁰⁾が、飼料の質によっても大きな影響を受けることが報告されている。すなわち、Bohmanら¹¹⁾は、アルファルファミー

ルの多給により、胃と結腸の容積および重量の増加することを認めており、さらに Свечин¹⁷⁾は濃厚飼料型と半濃厚飼料型で飼育した豚の、消化管の血管系の発育について比較した結果、濃厚飼料型は半濃厚飼料型に比べ胃の血管系の発育を悪化させ、腸の血管系の発育を良好とし、特に胃の粘膜下叢の血管においてその影響が大きかったとしている。また、本試験において、対照区に比較しビートパルプ区の小腸は有意($P<0.01$)に短かった。このことは、小腸の発達も飼料の質によって影響を受けるのではないかと考えられるが、小腸の重量においては両試験区間に差がなく、むしろビートパルプ区の方が若干重いことから、長さのみで小腸の発達度を判断することは問題があるのかも知れない。本試験では、消化器官の組織的な形質について検討を加えなかったが、Свечин¹⁷⁾が指摘するように、血管系を含む消化器官組織の形態的な発育についての検討が必要であろう。

屠体形質についてみると、ビートパルプ区に比較し対照区で枝肉の脂肪層が総体的に厚い傾向を認めたが、その他の形質については特に明らかな差を認めなかった。また、背外・内層および腎臓周囲脂肪の脂肪酸組成では、背内層脂肪の C16:0 ($P<0.01$) および C18:2 ($P<0.05$) で、さらに腎臓周囲脂肪では C17:0 ($P<0.01$)、C18:1 ($P<0.01$) および C18:2 ($P<0.05$) で有意な差がみられたものの、各部位とも飽和酸割合において差は認められず、枝肉の脂肪の融点および色調においても両試験区間に明らかな差が認められないことから、ビートパルプを配合飼料に20%程度配合しても、枝肉脂肪の理化学性状に特に悪影響を及ぼさないものと考えられる。

一方、絶食後体重から全消化管内容物の重量を除いた値を、屠殺時における正味の生体重量と仮定するなら、対照区は92.55kg、ビートパルプ区は90.04kgである。すなわち、肥育試験期間50kgから100kgの間に、両試験区間の正味の生体重量に2.51kgの有意($P<0.01$)な差が認められ、この間の体重の増加量を50kgとすると、約5%に及ぶ

差であった。なお、本試験では屠体のエネルギー総量について検討を行っていないが、枝肉の脂肪の付着状態は、ビートパルプ区より対照区の方が総体的に厚い傾向がみられることから、屠体のエネルギー含有量はビートパルプ区より対照区の方が高かったものと推察され、同一体重で比較しても屠体のエネルギー蓄積量はビートパルプ区より対照区の方が優れていたものと推測される。本試験では、ビートパルプ区における TDN 消費量126.5 kgのうち、ビートパルプに由来する TDN 消費量は、II-2の値を適用すると、22.61kgと試算され、全体の TDN 消費量の17.9%であり、他方、対照区における TDN 消費量127.6kgのうち、コーンスターチに由来する TDN 消費量はコーンスターチの NFE の消化率を100%とすると22.81kgで、全体の TDN 消費量の割合はビートパルプと同様17.9%であった。すなわち、両試験区の TDN 消費量がほぼ同じであり、しかもビートパルプおよびコーンスターチの TDN 消費量の割合も同じであった。なお、DE 消費量はビートパルプ区より対照区の方が若干高かったが、対照区の DE 消費量を100とすると、ビートパルプ区の DE 消費量は98.4であり、DE 消費量から考慮しても、両試験区の正味の生体重量の差との関連性を十分に説明することは不可能であった。

以上の結果から、両試験区における栄養消費量と正味の生体重量との関係について比較検討すると、対照区の飼料に比較しビートパルプ区の飼料は、可消化養分量が同一であっても、生産反応に及ぼす栄養的效果は異なり、ビートパルプの有する可消化養分はコーンスターチの有する可消化養分に比べ、栄養的に劣るのではないかと推察され、ビートパルプとコーンスターチの可消化炭水化物の栄養的效果の差異が考えられる。したがって、生体のエネルギー蓄積量に及ぼす可消化炭水化物の栄養的意義は、可消化炭水化物の質的な影響との関連の上で、さらに今後の検討が重要と推察された。