

氏 名(本籍) 篠 田 満^{みつる}

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 4 2 8 号

学位授与年月日 平 成 3 年 3 月 14 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 2 項該当

学位論文題目 反芻家畜の第一胃内消化・血液代謝像に
及ぼすサイレージ特性の影響

論文審査委員(主 査) 教 授 堀 口 雅 昭
教 授 伊 藤 巖
教 授 佐々木 康 之

論文内容要旨

I章 はじめに

近年、高泌乳牛飼養の普及に伴い、栄養価の高い粗飼料の給与が必要不可欠となっている。粗飼料のうちサイレージの調製は乾草の調製に比べて、天候の制約を受けにくく適期収穫が可能なることから、高栄養価の粗飼料給与のためにサイレージ調製の必要性が高まり、サイレージの栄養価、飼料特性の的確な把握が求められている。

反芻動物にとって、正常な第一胃内発酵の保持のためには繊維成分が不可欠である。また、繊維成分はADF（酸性デタージェント繊維）と総繊維量を代表するNDF（中性デタージェント繊維）とに分類されるが、NDFは飼料摂取量を規制する要因として注目され、NDF含量をもとにした飼料設計も提案されている。したがって、成分からみたサイレージの飼料特性としては繊維成分の含量と性質が重要と考えられる。

一方、サイレージでは、その発酵過程で各種の化学変化を受けるため、摂取量および栄養価について、同一素材の生草や乾草と異なることが知られ、サイレージ発酵の良否（養分損失の程度）を示す発酵品質が評価基準として用いられている。しかし、反芻家畜の重要なエネルギー供給源である第一胃内発酵産物および体内代謝との関連において、サイレージの飼料特性を調べた例は少ない。

本研究は、イネ科草およびマメ科草のサイレージをめん羊および乳牛に給与し、サイレージの繊維成分および発酵品質が、飼料の消化率、第一胃内発酵および血液代謝像に及ぼす効果を検討し、反芻家畜の栄養生理におけるサイレージの役割を解明したものである。

II章 サイレージの繊維成分の消化特性

本試験では、サイレージの繊維成分の特性として消化率に注目した。すなわち、各種牧草サイレージを単一給与し、また、各種牧草サイレージと大豆粕、圧片トウモロコシの混合飼料を乳牛に給与して、全糞採取法により消化試験を実施して、給与水準および濃厚飼料添加割合がサイレージ繊維成分の消化率に及ぼす影響を検討した。また、トウモロコシサイレージについても、乳牛を供試して同様な試験を実施した。

乳牛による牧草サイレージ混合飼料の消化試験の結果、体重比1%（乾物）の給与水準では、混合飼料の配合割合とTDN（可消化養分総量）含量の間に直線関係が成立すること、75%の濃厚飼料添加割合においても繊維成分の消化率が低下しないことを認めた。給与量を体重比3%に増した場合、1%給与水準に比較して繊維成分消化率は低下したが、サイレージの繊維成分の消化性により傾向は異なり（図1）、サイレージの繊維の消化率と濃厚飼料添加割合の間に以下の関係を見いだした。

①高消化性繊維（サイレーズのNDF、ADFの各消化率が60%以上）

濃厚飼料添加割合を高めると、給与水準を体重比1%から3%へと上昇させたとき、繊維成分の消化率およびTDN含量の低下が大きい。

②中消化性繊維（NDF、ADFの各消化率が55%前後）

濃厚飼料添加割合が高まって、給与水準が1%から3%へ上昇したとき、繊維成分の消化率の低下は同程度である。

③低消化性繊維（NDF、ADFの各消化率が50%未満）

濃厚飼料添加割合を高めることにより、給与水準の高低にかかわらず、混合飼料全体の繊維成分の消化率およびTDN含量が上昇する。

このように、サイレーズの繊維成分の消化性は、それを粗飼料源とする飼料の給与水準を増した場合の栄養価に影響することが明らかになった。

また、サイレーズ単一給与および混合飼料給与のいずれの場合も、ADFの方がNDFよりもTDN含量との相関が高いことを認めた。

一方、トウモロコシサイレーズは、体重比1%の給与でも濃厚飼料添加割合が高い場合、繊維成分の消化率が低下すること、また、体重比3%の給与では給与量増加にともなう繊維成分の消化率低下が大きいことから（図2）、トウモロコシサイレーズの繊維の消化は、牧草サイレーズに比較して、濃厚飼料給与量増加の影響を強く受けることがわかった。

Ⅲ章 サイレーズの繊維成分が第一胃液性状に及ぼす影響

反芻家畜の第一胃内で生産される揮発性脂肪酸（VFA）は、重要なエネルギー源および乳成分合成素材となっている。また、第一胃内発酵のホメオスタシスという面からも第一胃液の性状が注目されている。本章では、サイレーズの成分、とくに、繊維成分が第一胃内発酵に及ぼす影響について検討を行った。

牧草サイレーズ（31点）を単一給与しためん羊では、飼料のNDF、ADF含量と第一胃液VFAの酢酸モル比に正の相関が認められ、NDFの方が高い相関を示した。各飼料成分とプロピオン酸の相関は低かった（表1）。

1%給与水準で実施した乳牛の消化試験の結果（Ⅱ章）によれば、混合飼料のNDFおよびADFの含量と、第一胃液pHおよび酢酸モル比との間に有意な正の相関が認められ、pHとの相関はADFの方が、また、酢酸モル比との相関はNDFの方が高かった（表2）。3%給与水準の試験でも、ADFとpHの間に正の関係が認められた。このように、サイレーズ単一給与および濃厚飼料との混合給与のいずれにおいても、サイレーズ成分が第一胃内発酵に影響し、ADFとNDFを比較した場合、飼料の物理的性質の指標としてはA

D F画分が優れ、第一胃液性状からみた栄養供給的性質の指標としてはN D F画分が有効であることが明らかになった。

IV章 サイレージの発酵品質が第一胃液性状、血液代謝像に及ぼす影響

サイレージ発酵（とくに高水分牧草サイレージ）では、酢酸、酪酸、乳酸等の有機酸生成量が多い。したがって、サイレージ中の有機酸は、直接、または、乳酸のように他のV F Aへの転換を通じて間接的に第一胃液V F A組成、さらに、血液代謝像に影響することが予測される。そこで、これらの有機酸組成によって代表されるサイレージの発酵品質が、第一胃液のV F A組成に及ぼす影響を調べた。また、サイレージの発酵品質と家畜生産および消化生理の関係を明らかにする目的で、子めん羊を供試して成長試験を実施した。

その結果、酪酸が多い劣質サイレージ給与では、第一胃液のプロピオン酸のモル比が低く、酪酸のモル比が高まることが一般的に認められ（図3）、発酵品質が飼料組成にかかわらず第一胃液のプロピオン酸および酪酸に影響することが明らかになった。

劣質サイレージは、同一原料草から調製した良質サイレージに比べて、T D N含量が約10%低く、乾物摂取量も少なかった。そのため、劣質サイレージを給与した子めん羊では、成長試験期間中の増体は認められなかった。第一胃液V F Aの構成比は、良質サイレージ給与区ではプロピオン酸が高かったのに対して、劣質サイレージ給与区では酪酸が高く、プロピオン酸が低かった。劣質サイレージ給与の場合、血中ケトン体濃度は1.19mMで、他の飼料区（0.60~0.64mM）よりも高く、一方、血糖およびタンパク質濃度は低く（表3）、ケトosisに類似した傾向を示すことを認めた。第一胃内の内容物重について経時的に調べた結果、劣質サイレージ給与では良質サイレージに比べて、第一胃内残存乾物量が多かった。

これらの結果から、サイレージの発酵品質は第一胃液性状、血液代謝像および成長に影響し、劣質サイレージ給与では第一胃内消化機能が低下することが明らかになった。

V章 劣質サイレージ給与時の第一胃液性状、血液代謝像に及ぼす易消化性養分の添加効果

劣質サイレージ給与の特徴である第一胃液のプロピオン酸比の低下の原因として、サイレージ発酵過程における易消化性炭水化物の消費が推測される。一方、サイレージへの易消化性養分の添加が、第一胃液V F A組成の変化、もしくは、直接消化管からの吸収の変化によって、血液性状に影響する可能性がある。V章では劣質牧草サイレージ給与を前提

として、濃厚飼料またはグルコースと混合給与した場合の生理的影響について検討した。

すなわち、泌乳牛に劣質サイレーズを60%（濃厚飼料を40%）含む飼料を与えると、良質のアルファルファサイレーズを55%含む飼料を与えた対照区に比べて、第一胃液の酢酸、酪酸のモル比が高く、プロピオン酸モル比は低くなった。また、劣質サイレーズ含量が60%、30%いずれの飼料を給与した場合でも、血中のケトン体濃度が高まり、血糖値は低下した（図4）。以上より、濃厚飼料（40%）との混合給与でも、サイレーズ単一給与と同様な第一胃液性状および血液代謝像を示すことが明らかになった。

劣質サイレーズにグルコースを添加した場合（めん羊を供試）、サイレーズの種類により、プロピオン酸のモル比が高まるものと、酪酸のモル比が高まるものとに大別できた。また、グルコース添加区のプロピオン酸モル比は、無添加区のモル比と一定域（無添加区で18%）まで正の相関を示したが、それ以上では低下した（図5）。

穀類、デンプン、グルコースなどの易消化性炭水化物を劣質サイレーズと各種配合割合でめん羊に混合給与した試験で、サイレーズからの酪酸摂取量は、血中ケトン体濃度および血糖値に密接に関与することを認めた（図6）。また、過度の炭水化物給与は第一胃内酪酸モル比を上昇させ、ケトン体濃度を高めることを認めた。

これらの結果より、易消化性養分の同時摂取においても、発酵品質で示されるサイレーズの特性が、第一胃内の発酵および血液代謝像に影響することがわかった。

まとめ

以上、サイレーズの性質が反芻家畜の栄養生理に及ぼす影響を調べて、つぎの結論を得ることができた。

- (1) サイレーズの中性デタージェント繊維（NDF）および酸性デタージェント繊維（ADF）の含量とその消化率は、サイレーズ主体の混合飼料の栄養価を推定し、また、給与水準を増した場合の栄養価の変動を予測する指標として有効である。
- (2) サイレーズ主体の混合飼料のNDFおよびADFの含量は、それぞれの第一胃液の酢酸濃度比およびpHとの相関に示されるように、第一胃液性状と密接に関係している。とくに、ADFはサイレーズの物理的性質を示す画分とみなせる。
- (3) 劣質サイレーズ給与は、第一胃液のプロピオン酸比の上昇および酪酸比の低下、血中ケトン体濃度の上昇およびグルコース濃度の低下を引き起こし、また、成長および第一胃内消化に悪影響を及ぼす。
- (4) 以上の劣質サイレーズに特有な第一胃液性状および血液代謝像は、濃厚飼料または易消化性炭水化物の併給によっても改善されにくい。発酵品質は、サイレーズ単一給与および濃厚飼料との混合給与において、第一胃液性状および血液代謝像に影響し、サイレーズを評価するうえで重要な指標といえる。

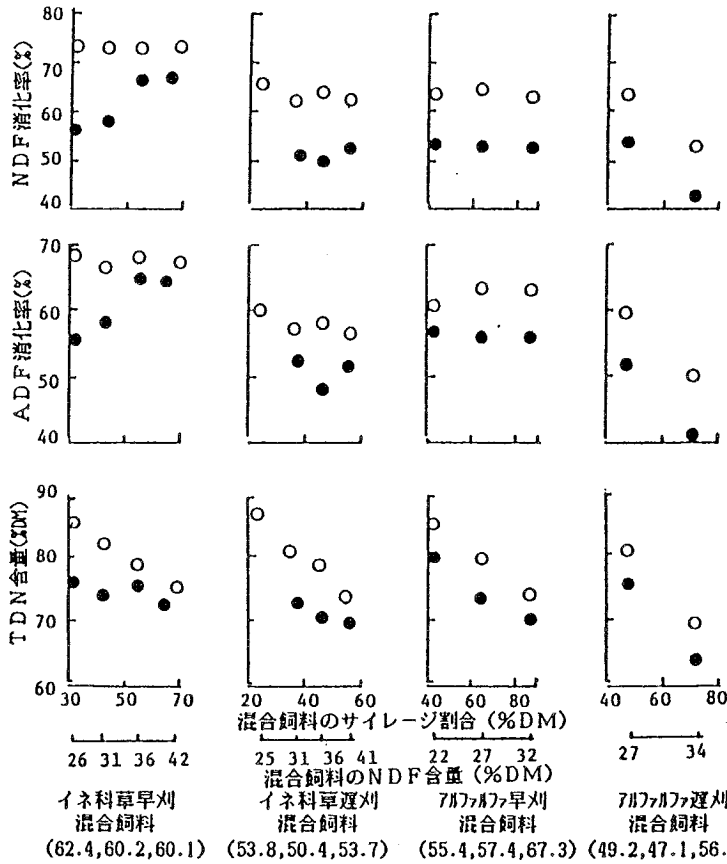


図1 サイレージの繊維成分の消化率が給与水準を変えた場合の混合飼料の消化率およびTDN含量に及ぼす影響 (II章)
 カッコ内は左からサイレージのNDF消化率(%), ADF消化率(%), TDN含量(%).
 ○: 体重比1%給与水準、●: 同3%給与水準

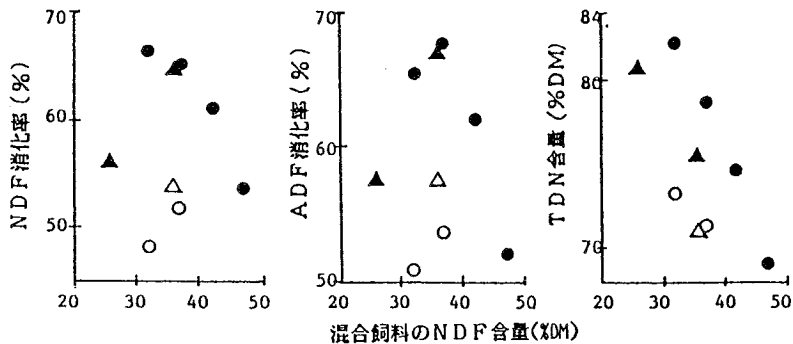


図2 トウモロコシサイレージを粗飼料源とする混合飼料の繊維成分(NDF)含量および給与水準が消化率およびTDN含量に及ぼす影響 (II章)
 (黄熟初期のNDF47%水準はサイレージを単一給与した場合の数値)
 ●: 黄熟初期トウモロコシサイレージ 1%給与水準、○: 黄熟初期トウモロコシサイレージ 3%給与水準
 ▲: 黄熟後期トウモロコシサイレージ 1%給与水準、△: 黄熟後期トウモロコシサイレージ 3%給与水準

表1 サイレージの飼料成分・可消化量とサイレージ給与後1時間および4時間における第一胃液性状の相関係数 (n=31) (III章)

給与後の 時間	第一胃液性状 ¹⁾	飼料成分 (%DM)				可消化量 (%DM)			
		CC	NDF	ADF	CP	CC	NDF	CP	TDN
1時間	酢酸 (mol%)	-.548**	.610**	.602**		-.583**	.406*	-.445*	
	プロピオン酸 (mol%)			-.459**		.447**	-.371*		
	酪酸 (mol%)								
	アミノア-N (mg/dl)	.624**	-.575**		.728**	.572**	-.569**	.749**	
4時間	酢酸 (mol%)	-.641**	.649**	.563**	-.478**	-.646**	.512**	-.500**	
	プロピオン酸 (mol%)								
	酪酸 (mol%)	.432*				.420*		.386*	
	アミノア-N (mg/dl)	.676**	-.634**		.771**	.649**	-.573**	.798**	

*P<0.05 **P<0.01

¹⁾めん羊を供試

表2 1%給与(維持)水準における混合飼料成分と第一胃液性状の相関係数 (n=26) (III章)

成分(%DM)	pH ¹⁾	アミノア-N ¹⁾ (mg/dl)	VFA組成 ¹⁾ (mol%)					VFA濃度 ¹⁾ (mmol/dl)
			C2	C3	iC4	nC4	iC5	
CC	-0.695**	0.554**	-0.690**	0.499**				0.574**
NDF	0.536**	-0.564**	0.711**	-0.559**				0.611**
ADF	0.631**		0.553**	-0.441*				
ヘミセルロース		-0.500**			0.459*		-0.761**	-0.637**
CP	0.492*				0.540**	-0.555**		0.510**
デンプン	-0.698**		-0.435*		-0.498**	0.491*		
NSC	-0.753**	0.567**	-0.691**	0.429*				0.562**
消化率 (%) ¹⁾								
CC	-0.718**	0.585**	-0.500**	0.465*				0.639**
NDF								
ADF								
CP		0.688**	-0.436*				0.564**	0.518**
デンプン								0.759**
DCP(%DM)					0.512**		0.606**	0.650**
TDN(%DM)	-0.592**							
可消化NDF(%DM)			0.532**	-0.491*			-0.604**	0.472*
可消化CC(%DM)	0.727**	0.581**	-0.661**	0.497**				0.612**
粗飼料割合(%)	0.792**				0.569**	-0.664**		0.428*

¹⁾フィステル装着雌成牛で測定。 *P<0.05, **P<0.01,

C2:酢酸、C3:プロピオン酸、C4:酪酸、C5:吉草酸、VFA:揮発性脂肪酸

NSC:非構造性炭水化物 (non structural carbohydrate)、DCP;可消化粗蛋白質

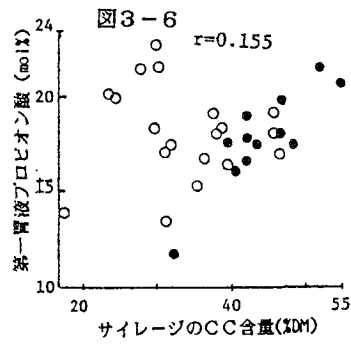
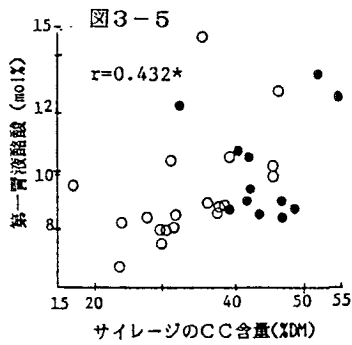
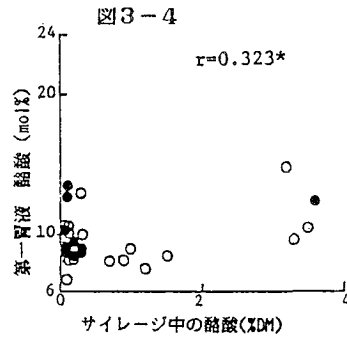
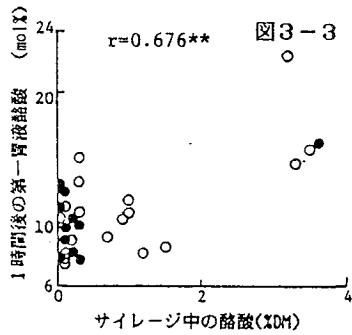
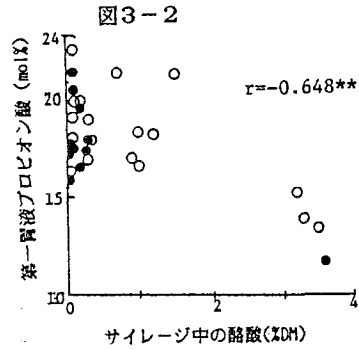
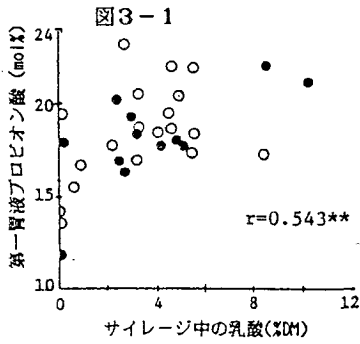


図3 サイレージの発酵品質、飼料成分と第一胃液性状との相関(IV章)
 ○：イネ科草サイレージ、●：マメ科草サイレージ、
 図3-3のみは給与1時間後の第一胃液性状、その他は給与4時間後の第一胃液性状

表3 発酵品質の異なるサイレージおよび乾草を給与した子めん羊の増体、第一胃液性状と血液代謝像

	自然乾草	低水分 サイレージ	高水分良質 サイレージ	高水分劣質 サイレージ
乾物含量 (%)	83.6	71.5	19.0	15.7
サイレージ発酵品質				
pH	-	5.46	3.79	5.11
乳酸含量 (原物%)	-	0	2.90	0.11
酪酸含量 (原物%)	-	0.01	0.04	0.83
TDN含量 (%DM)	66.7	67.4	71.0	61.4
増体率 ¹⁾ (%)	112.7	111.2	110.0	97.8
第一胃液性状 ²⁾				
pH	6.62±0.17	6.63±0.24	6.52±0.10	6.80±0.18
アミノ態窒素(mg/dl)	9.9±1.6	7.9±3.2	13.6±1.5	16.1±3.4
VFA濃度(mmol/dl)	9.6±0.8	10.2±1.2	9.1±0.4	8.1±1.1
酢酸 (mol%)	67.1±0.7	70.7±1.0	64.1±1.2	66.0±1.9
プロピオン酸(mol%)	20.9±1.8	18.6±0.7	22.5±0.6	14.3±0.6
酪酸 (mol%)	10.5±1.1	9.6±0.7	10.7±1.3	13.9±1.5
バクテリア酸+カプロン酸(mol%)	1.2±0.1	1.1±0.3	2.8±0.3	5.8±0.4
血液代謝像 ²⁾				
血糖 (mg/dl)	59±5	62±4	60±5	51±5
タンパク質 (g/dl)	6.1±0.2	6.2±0.2	5.8±0.2	5.0±0.2
総コレステロール (mg/dl)	51±7	45±3	66±11	94±33
遊離脂肪酸 (μEq/l)	250±58	252±19	223±13	229±12
ケトン体 (mM)	0.64±0.08	0.60±0.15	0.60±0.10	1.19±0.20
(アト酢酸) (mM)	0.07±0.01	0.06±0.02	0.06±0.01	0.13±0.01
(3ヒドロキシ酪酸)(mM)	0.57±0.07	0.54±0.13	0.54±0.10	1.05±0.22
尿素窒素 (mg/dl)	16.8±1.9	18.3±1.6	21.7±1.4	20.8±2.0
GOT (K.U)	109±7	102±12	99±5	101±8

¹⁾ 試験終了時体重/開始時体重 (5週間)。²⁾ 給与開始4時間後の値。

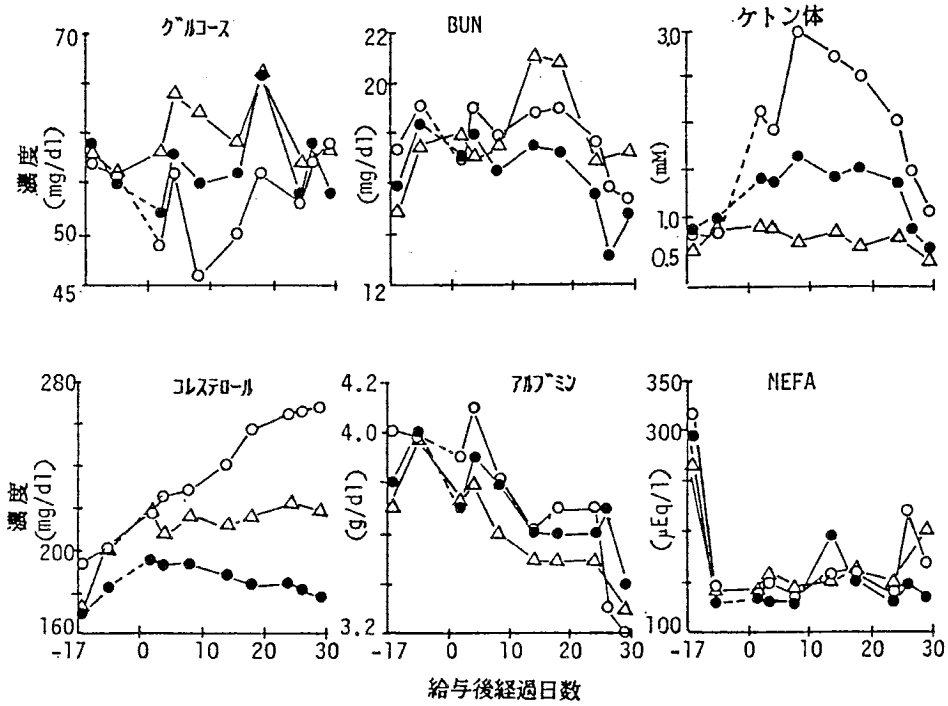


図4 劣質サイレージの混合飼料給与による血液代謝像の経時的変化
 0日:混合飼料給与開始
 ○:劣質サイレージ60%配合区、●:劣質サイレージ30%配合区、△:良質サイレージ55%配合区
 BUN:尿素窒素、NEFA:遊離脂肪酸

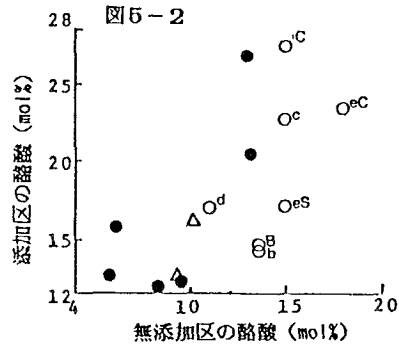
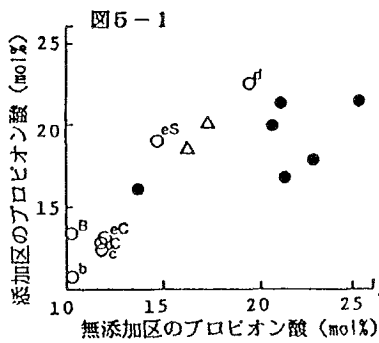


図5 サイレージへのグルコース(11%~22%)添加が第一胃液プロピオン酸および酪酸モル比に及ぼす影響(V章)
 ○:劣質サイレージ(酪酸含量2%以上)、●:良質サイレージ(酪酸2%未満)、△:乾草
 b:Bサイレージ11%、B:Cサイレージ22%、c:Cサイレージ11%、C:Cサイレージ22%
 d:Dサイレージ、eC:Eサイレージ乳牛給与、eS:Eサイレージめん羊給与

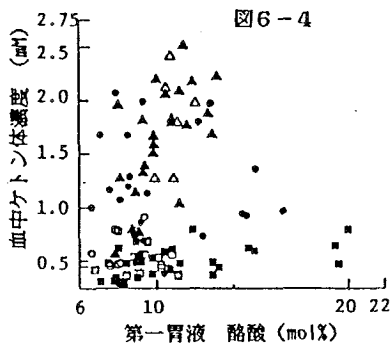
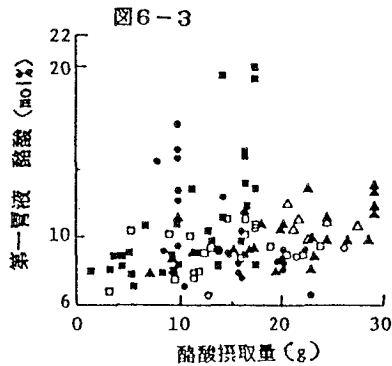
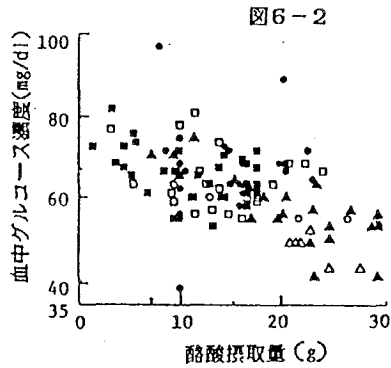
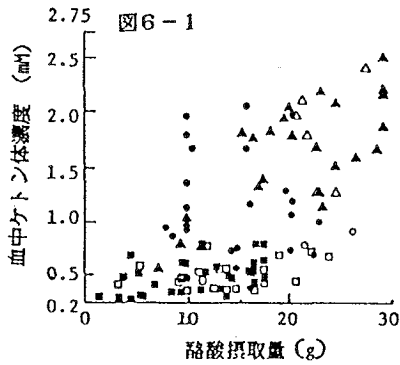


図6 劣質サイレージと濃厚飼料の混合給与が第一胃液性状および血液性状に及ぼす影響
 ○:(劣質チート「グラスサイレージ」、●:(劣質チート「グラスサイレージ」)+(トウモロコシまたは大表)
 △:(劣質モシサイレージ)、▲:(劣質モシサイレージ)+(トウモロコシ、大表またはマロ)
 □:(劣質チート「グラスサイレージ」またはアロファルサイレージ)、
 ■:(劣質チート「グラスサイレージ」またはアロファルサイレージ)+(ケルコスまたはテンパン)

審査結果の要旨

反芻家畜の生産性を維持するためには、第一胃内発酵を正常に保ち、消化機能を十分に発揮させる必要がある。そのためには、反芻を促す粗飼料の給与が欠かせない。粗飼料の貯蔵形態は乾草とサイレージに大別されるが、材料草の刈取り時に雨天が多いわが国においては、乾草調整に難点があり、サイレージの発酵・調整技術の研究が盛んである。しかし草類の栄養評価法として近年開発されたデタージェント繊維との関連で、その栄養特性を調べた研究は少ない。

一方、高泌乳牛においてのように、高い栄養要求を満たすためには、高品質の粗飼料と濃厚飼料を併給する必要がある。しかし、このような飼養形態における粗飼料としてのサイレージの意義の検討もまた不十分である。

本研究は、主としてイネ科草およびマメ科草のサイレージを綿羊および泌乳牛に給与し、サイレージ成分と第一胃内発酵産物および血液代謝像との関連で、その生産飼料としての栄養価を総合的に解明したものである。

すなわち、まず、乳牛にサイレージを高低の二水準で単一給与または濃厚飼料と混合給与し、サイレージの中性および酸性デタージェント繊維の消化率の高低により、濃厚飼料との混合飼料の繊維成分の消化率および可消化養分総量を予測・分類しうることを示した。その飼養学的意義は大きい。

ついで、多数の牧草サイレージについて、中性および酸性デタージェント繊維の含量と第一胃内発酵性状との相関を明らかにし、また、有機酸組成によって代表されるサイレージ発酵品質が、第一胃内性状および血液性状に及ぼす影響を明らかにした。そして、劣質サイレージが第一胃消化機能を低下させ、胃内の低プロピオン酸・高酪酸濃度を介して、低血糖および低タンパク質濃度をもたらし、子綿羊の成長を抑制することを確かめた。そしてさらに、劣質サイレージ給与によるこれらの栄養生理学的欠点は、易発酵性炭水化物の同時給与でも改善し難いばかりか、助長される場合もあることを示し、乳牛飼養技術体系における良質サイレージ調製の重要性を示した。

以上の如く、本論文は、反芻家畜栄養に関して貴重な知見を重ね、家畜栄養学の発展に貢献するところ大である。よって審査員一同は、著者に農学博士の学位を授与するに値すると判断した。