

#### IV 牧草の化学成分の含有率, 消化率, 可消化含量, 摂取量および排泄量の相互関係

##### 1. 粗蛋白質

粗蛋白質の含有率, 消化率, 可消化含量, 摂取量および排泄量の相互関係を調べた。供試牧草の粗蛋白質の含有率, 消化率, 可消化含量の平均値, 標準偏差および範囲をイネ科牧草とマメ科牧草に分け, また, オーチャードグラスとアルファルファは独立して表13に示した。

イネ科牧草の含有率で最高値は最低値の4.6倍と幅広い範囲で供試できたが, マメ科牧草では2倍の範囲と狭く, 最低値でもイネ科牧草の平均値に近かった。変動係数は消化率が最も小さく, 次に含有率で, 可消化含量が最も大きかった。また, これらの項目で, イネ科牧草はマメ科牧草より変動が大きかった。

粗蛋白質の含有率と消化率および可消化含量との関係を表14ならびにイネ科牧草でのこれらの関係を図8に示した。

含有率と消化率の間には, いずれの草種も相関係数と一次回帰式ともに有意であったが散布図か

ら分かるように, これらの間には曲線的な関係がより適合した。イネ科牧草では含有率が5から10%まで, 消化率は急速に高くなり, その後, 徐々に緩やかになり, 80%前後の値へ限りなく近づく関係にあることが推察された。含有率(XCP)と消化率(YDIG)の関係で, 含有率を常用対数へ変換して求めた回帰式は, オーチャードグラスで $Y_{DIG} = -15 + 71 \log X_{CP}$  と GLOVERら<sup>38)</sup>の $Y_{DIG} = -15 + 70 \log X_{CP}$  に近似した回帰式が得られた。しかし, この回帰式でも低い含有率からの急速な立ち上がり, ある値へ限りなく近づく変化の評価には適切でなかった。この点, 含有率を逆数へ変換して求めた回帰式が良く適合した。イネ科牧草で, 含有率をそのまま, 常用対数に変換および逆数に変換した場合で, 消化率との決定係数は, それぞれ, 0.76, 0.86, 0.90と順に高くなった。また, 回帰式の分散分析の残差の分散は, それぞれ, 31, 18, 13と順に小さくなり, 分数回帰式からの推定値が実測値により良く適合した。

含有率(XCP)と可消化含量(YDCP)の相関係

表 13. 供試牧草の粗蛋白質の含有率, 消化率, 可消化含量の平均値, 標準偏差(SD)および範囲。

	n	含有率(乾物中%)			消化率(%)			可消化含量(DCP:乾物中%)		
		平均	SD	範囲	平均	SD	範囲	平均	SD	範囲
オーチャードグラス	102	13.2	4.1	4.9-21.2	63	11	15-80	8.8	3.8	0.8-16.2
イネ科牧草(全体)	136	13.2	4.3	4.9-22.6	64	11	15-80	8.8	3.9	0.8-17.7
アルファルファ	57	20.6	2.8	15.3-27.5	76	10	69-83	16.0	2.7	10.8-22.7
マメ科牧草(全体)	76	20.4	3.1	13.7-27.5	75	9	60-83	15.5	3.1	8.4-22.7
全 体	212	15.8	5.2	4.9-27.5	68	11	15-83	11.2	4.9	0.8-22.7

表 14. 粗蛋白質の含有率(X:乾物中%)と消化率(%), 可消化含量および不消化含量(乾物中%)との相関係数ならびに回帰式。

	消化率(Y)			可消化含量(Y)			不消化含量(Y)					
	$r$	$a$	$b$	$r$	$a$	$b$	$r$	$a$	$b$			
オーチャードグラス	-0.95**	91	-326	0.93**	-15.1	71	0.99**	-3.3	0.92	0.66**	3.3	0.08
イネ科牧草(全体)	-0.95**	91	-321	0.93**	-11.2	68	0.99**	-3.2	0.91	0.71**	3.2	0.09
アルファルファ	-0.77**	95	-361	0.78**	21.9	42	0.99**	-3.8	0.96	0.26**	3.8	0.04
マメ科牧草(全体)	-0.67**	97	-439	0.67**	8.2	52	0.98**	-4.4	0.98	0.09**	4.4	0.02
全 体	-0.94**	92	-328	0.92**	-6.0	63	0.99**	-3.4	0.93	0.55**	3.4	0.02

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

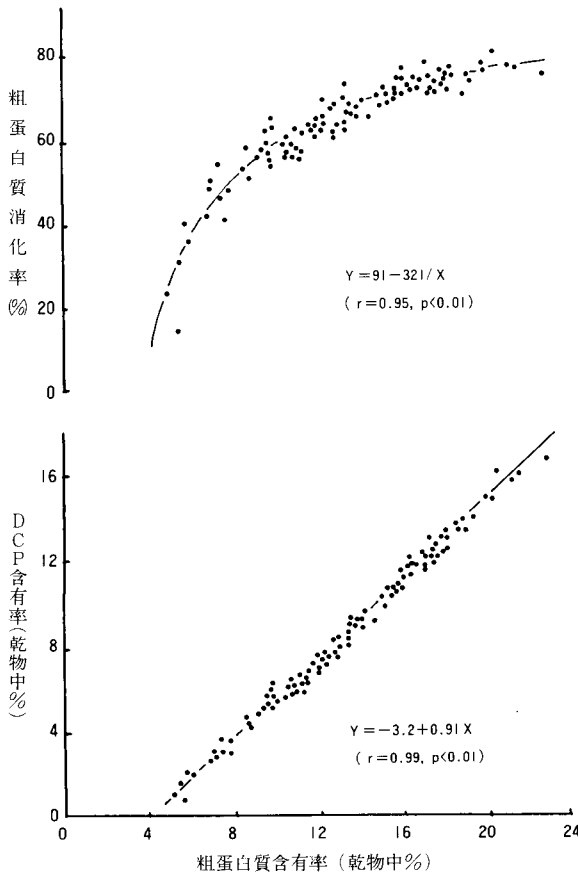


図 8. イネ科牧草の粗蛋白質における含有率(X)と消化率およびDCP含有率(Y)との関係。

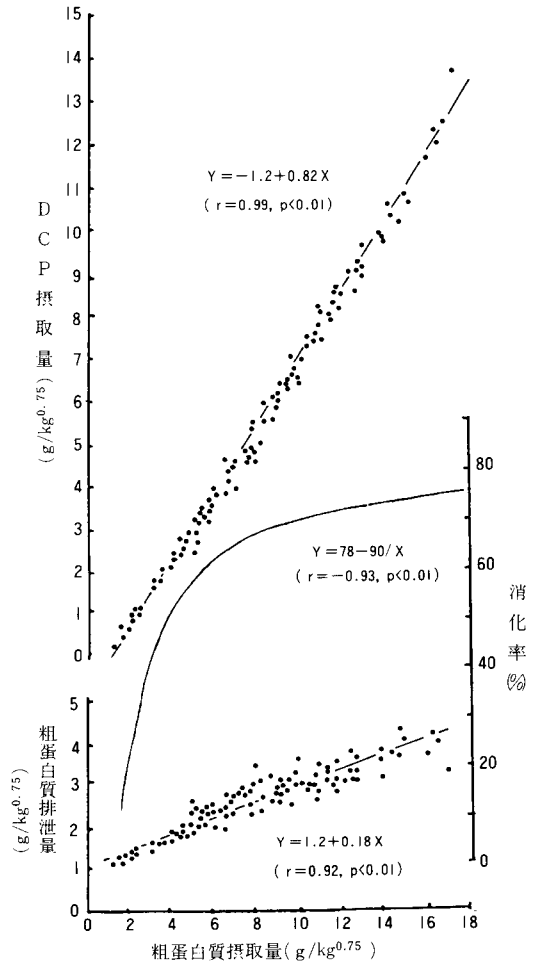


図 9. イネ科牧草の粗蛋白質における摂取量(X)とDCP摂取量、排泄量および消化率(Y)との関係。

表 15. 粗蛋白質(CP)の摂取量とDCP摂取量、排泄量との相関係数と一次回帰式(Y=a+bX)ならびに粗蛋白質の摂取量と消化率の分数回帰式(Y=b'+a'/X).

	X:CP摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )			X:CP摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )			X:CP摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )		
	r	a	b	r	a	b	r	b'	a'
オーチャードグラス	0.99**	-1.2	0.82	0.92**	1.2	0.18	-0.94**	78	-87
イネ科牧草(全体)	0.99**	-1.2	0.82	0.92**	1.2	0.18	-0.93**	78	-90
アルファルファ	0.99**	-1.7	0.88	0.77**	1.7	0.12	-0.78**	88	-167
マメ科牧草(全体)	0.99**	-2.5	0.92	0.52**	2.5	0.08	-0.78**	92	-253
全 体	0.99**	-1.5	0.86	0.88**	1.5	0.14	-0.92**	80	-99

\*\* : p < 0.01

表 16. 草種、生育季節別の粗蛋白質の含有率(X), 標準偏差(SD), 範囲および可消化含量(Y:DCP)との関係.

草種	生育季節	n	粗蛋白質含有率(X:乾物中%)			可消化含量(Y:DCP乾物中%)		
			平均	SD	範囲	r	Y=a+bX a b	
オーチャードグラス	春	31	10.1	3.7	4.9-17.3	0.99**	-3.3	0.92
	夏の前半	26	13.4	3.4	8.4-20.9	0.99**	-3.3	0.91
	夏の後半	25	15.7	3.5	10.3-22.6	0.99**	-3.8	0.94
	秋	20	14.8	3.0	9.1-20.1	0.99**	-4.1	0.98
	全体	102	13.2	4.1	4.9-22.6	0.99**	-3.3	0.92
チモシー	春	12	10.1	3.2	6.2-16.3	0.99**	-3.6	0.96
	再生草	5	10.5	1.2	9.3-12.4	0.93*	-3.0	0.93
	全体	17	10.2	2.7	6.2-16.3	0.99**	-3.6	0.95
ペレニアルライグラス	春	5	11.0	3.3	7.6-15.5	0.99**	-2.8	0.91
	夏	8	18.0	3.6	11.6-22.3	0.99**	-2.9	0.87
	秋	4	19.7	2.4	17.1-22.8	0.99**	-4.1	0.97
	全体	17	16.3	4.8	7.6-22.8	0.99**	-2.6	0.87
アルファルファ	春(1番草)	18	20.1	3.1	15.7-25.4	0.99**	-4.7	1.02
	夏(2番草)	18	19.5	2.1	15.7-22.8	0.98**	-2.5	0.89
	秋(3番草)	15	21.6	2.0	18.3-25.8	0.99**	-4.7	0.99
	秋(4番草)	4	24.7	2.3	22.7-27.5	0.98*	-4.6	0.99
	全体	57	20.6	2.8	15.7-27.5	0.99**	-3.8	0.96
アカクローバ	春(1番草)	6	15.9	1.5	13.7-17.7	0.97**	-6.8	1.12
	再生草	6	19.1	2.0	17.0-22.6	0.95**	-4.9	0.91
	全体	12	17.5	2.4	13.7-22.6	0.91**	-1.4	0.75
シロクローバ	春(1番草)	4	25.1	0.9	23.9-26.2	0.84		
	全体	7	24.2	1.8	21.0-26.2	0.90**	-11.1	1.23

\*:p&lt;0.05, \*\*:p&lt;0.01

数は0.98以上と高く、イネ科牧草で  $Y_{DCP} = -3.2 + 0.91X_{CP}$ , マメ科牧草で  $Y_{DCP} = -4.4 + 0.98X_{CP}$  の関係が得られた。回帰係数はマメ科牧草でイネ科牧草より大きかった。

含有率と不消化含量の一次回帰式を含有率と可消化含量の式と対比すると、定数項は符号を逆にした値で、回帰係数は1からの差の関係にある。含有率と不消化含量の相関係数はマメ科牧草を除くと有意であったが、0.5前後と強い相関ではなかった。

粗蛋白質の摂取量とDCP摂取量ならびに糞中への排泄量との関係ならびに摂取量と消化率の関係を表15に示した。また、イネ科牧草でのこれらの関係を図9に示した。

粗蛋白質摂取量とDCP摂取量間の相関係数は、いずれの牧草でも0.99と非常に高かった。摂取量と排泄量の間にも有意な相関係数が得られた。

これら両一次回帰式の回帰係数を加えると1になり、定数項の絶対値は同じで正と負の関係にあった。

粗蛋白質の摂取量(XCPI)を逆数にして、消化率(YCPD)との関係を求めると  $Y_{CPD} = b' - a' / X_{CPI}$  の分数回帰式が得られた。摂取量(XCPI)と摂取可消化量(YDCPI)の一次回帰式  $Y_{DCPI} = a + bX_{CPI}$  と比較して、 $a' = a \times 100$ ,  $b' = b \times 100$  であった。図9に示したように摂取量と消化率の間には摂取量が增大すると消化率は曲線的に高くなり、分数回帰式の定数項に限りなく近づく関係にあった。

草種、生育季節別に粗蛋白質の含有率の平均値、含有率と可消化含量の一次回帰式を表16に示した。

イネ科牧草で、各草種とも春の1番草では低含有率の牧草から供試できたが、再生草では含有率の平均値が高くなった。含有率と可消化含量(DCP)

の間には、各草種、各生育季節ともに大部分が0.98以上と高い相関係数が得られた。回帰係数は、おおむね、0.9から1.0の範囲内であったが、ペレニアルライグラスが0.87と他の草種より低い値を示した。また、アルファルファ2番草の粗蛋白質の含有率と可消化含量の一次回帰式の回帰係数は1、3、4番草より小さい値を示し、シロクローバおよびアカクローバでも同様に再生草での回帰係数は1番草より小さかった。生育季節別にみると、各草種とも、夏期間の再生草で回帰係数は小さい傾向のあることが分かった。

含有率と消化率の間の分数回帰式の定数項からも同様に0.9前後の値を得た。

粗蛋白質の含有率 (XCP: %) から消化率 (YDIG: %) とDCP含有率 (YDCP: %) を推定する場合には各イネ科牧草、各生育季節ともに、イネ科牧草全体 (n=136) から得られた  $Y_{DIG} = 91 - 321 /$

$X_{CP}$ ,  $Y_{DCP} = -3.2 + 0.91X_{CP}$  の回帰式から推定しても実用的には問題がないと考えた。

草種、生育季節別の粗蛋白質の摂取量とDCP摂取量の関係を表17に示した。

イネ科牧草はマメ科牧草より摂取量は少なく、生育季節別にみると、各草種ともに大きな違いはなかったが、ペレニアルライグラスで1番草より再生草での摂取量が多かった。これは再生草の刈取間隔が20から30日と短い草が供試されたためであろう。

粗蛋白質の摂取量とDCP摂取量の相関係数はシロクローバの1番草を除いて、0.97以上と高い値が得られた。

BLAXTER and MITCHELL<sup>12)</sup> は  $F = bN + M$  で F: 摂取乾物100g当たりの糞中窒素量, N: 乾物100g当たりの窒素含量, M: 摂取乾物100g当たりの内因性および微生物態物質に由来する排泄量 (以下,

表 17. 草種、生育季節別の粗蛋白質の摂取量(X)の平均、標準偏差(SD)、範囲およびDCP摂取量(Y)との関係。

草種	生育季節	n	粗蛋白質 摂取量(X:g/kg <sup>0.75</sup> )			r	DCP摂取量(Y:g/kg <sup>0.75</sup> ) Y=a+bX	
			平均	SD	範囲		a	b
オーチャードグラス	春	31	6.0	3.6	1.3-14.5	0.99**	-0.9	0.78
	夏の前半	26	8.7	3.7	4.1-16.5	0.99**	-1.4	0.83
	夏の後半	25	9.6	3.6	3.7-16.0	0.99**	-1.3	0.83
	秋	20	9.5	3.1	4.3-17.0	0.99**	-1.6	0.87
	全体	102	8.3	3.8	1.3-17.0	0.99**	-1.2	0.82
チモシー	春	12	6.1	2.8	2.6-11.1	0.99**	-1.2	0.80
	再生草	5	6.6	2.8	3.8-10.1	0.99**	-0.5	0.70
	全体	17	6.2	2.7	2.6-11.1	0.99**	-1.0	0.77
ペレニアルライグラス	春	5	7.9	3.5	4.1-11.8	0.99**	-1.4	0.83
	夏	8	12.4	3.4	7.3-14.1	0.99**	-1.3	0.82
	秋	4	14.5	2.7	11.8-18.0	0.99**	-2.1	0.90
	全体	17	11.6	4.0		0.99**	-1.5	0.85
アルファルファ	春(1番草)	16	16.9	4.4	9.9-24.4	0.99**	-2.1	0.91
	夏(2番草)	18	15.2	4.0	10.0-25.7	0.99**	-1.3	0.85
	秋(3番草)	15	17.1	2.1	13.9-20.7	0.99**	-1.5	0.86
	秋(4番草)	4	19.1	3.2	15.1-22.1	0.98*	3.1	0.61
	全体	57	16.5	3.6	9.9-25.7	0.99**	-1.5	0.86
アカクローバ	春(1番草)	6	12.0	1.8	9.2-14.3	0.99**	-3.4	0.98
	再生草	6	12.4	2.2	10.8-15.7	0.98**	-2.1	0.83
	全体	12	12.2	1.9	9.2-15.7	0.97**	-2.4	0.87
シロクローバ	春(1番草)	4	16.5	1.4	15.2-18.3	0.89		
	全体	7	15.7	2.9	11.5-19.8	0.97**	-3.3	0.98

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

内微量と略記)で、 $100(1-b)$ は真の消化率に相当すると述べている。

内微量の測定方法として中村<sup>87)</sup>は、飼料乾物100g当たりの糞粗蛋白質をY(g)とし、飼料乾物中粗蛋白質含有率をX(%)とし、種々のX値に対するY値を実測してX, Y間の回帰式を求め、 $X=0$ の時のYが目的の値として得られると解説している。

これらの方法で求めた回帰式は表15に示した粗蛋白質の含有率と不消化含量の関係で、真の消化率はイネ科牧草  $100 \times (1-0.09) = 91\%$ 、アルファルファ  $100 \times (1-0.04) = 96\%$ 、内微量は摂取乾物100g当たりイネ科牧草3.2g、アルファルファ3.8gであった。

LUCASら<sup>68)</sup>は含有率と可消化含量の間に一次回帰式が成り立つ場合、回帰係数は真の消化率を、定数項は内微量の摂取量に対する割合を示すと報告している。

このLUCAS testの結果から、イネ科牧草、マメ科牧草および全体で、それぞれ、真の消化率は91, 98, 93%, 内微量の摂取量に対する割合は 3.2, 4.4, 3.4%に相当した。

牧草中の粗蛋白質の含有率と可消化含量の間に、直線的な関係があることを、BLAXTER and

MITCHELL<sup>12)</sup>, GLOVERら<sup>38)</sup>, HARKESS<sup>41)</sup>, HOLTER and REID<sup>47)</sup>が報告している。牧草の粗蛋白質の真の消化率は、VAN SOEST<sup>138)</sup>が93%, BLAXTERら<sup>12)</sup>は多くの文献から93.1%と報告している。内微量の摂取量に対する割合は、HARRISら<sup>42)</sup>が2~4%に相当することを報告している。

ROBERTSON and VAN SOEST<sup>110)</sup>はめん羊で体重維持のときの窒素の内微量は乾物摂取量kg当たり5.8g(粗蛋白質で乾物摂取量100g当たり3.6g)で、この値はAgricultural Research Councilの報告<sup>2)</sup>と一致したと述べている。本実験から得られたこれらの値はこの報告と一致した。

## 2. 細胞内容物 (C C)

CCの含有率、消化率、可消化含量、摂取量および排泄量の相互関係を調べた。供試牧草のCCの含有率、消化率、可消化含量の平均値、標準偏差および範囲をイネ科牧草とマメ科牧草に分け、また、オーチャードグラスおよびアルファルファは独立して表18に示した。

イネ科牧草の含有率で、最高値は最低値の約2.6倍と幅広い範囲で供試できたが、マメ科牧草では

表 18. 供試牧草の細胞内容物の含有率、消化率、可消化含量の平均値、標準偏差(SD)および範囲。

	n	含有率(乾物中%)			消化率(%)			可消化含量(乾物中%)		
		平均	SD	範囲	平均	SD	範囲	平均	SD	範囲
オーチャードグラス	102	41.5	6.5	25.3-56.2	63	8	24-78	26.6	6.8	6.1-42.4
イネ科牧草(全体)	136	42.1	7.4	25.3-67.4	65	8	24-87	27.8	7.9	6.1-58.8
アルファルファ	57	60.9	6.3	49.9-72.7	75	3	66-81	45.6	6.3	33.5-56.8
マメ科牧草(全体)	76	60.6	6.8	46.1-74.6	75	4	64-83	45.6	6.9	29.5-60.7
全 体	212	48.7	11.4	25.3-74.6	68	8	24-87	34.2	11.4	6.1-60.7

表 19. 細胞内容物の含有率(X:乾物中%)と消化率、可消化含量、不消化含量との相関係数(r)および回帰式。

	消化率(Y:%)			可消化含量(Y:乾物中%)			不消化含量(Y:乾物中%)		
	r	Y=a+b/X		r	Y=a+bX		r	Y=a+bX	
		a	b		a	b		a	b
オーチャードグラス	-0.74**	98	-1420	0.96**	-14.7	0.99	0.02	14.7	0.01
イネ科牧草(全体)	-0.72**	98	-1358	0.96**	-15.0	1.02	-0.05	15.0	-0.02
アルファルファ	-0.68**	96	-1294	0.97**	-13.0	0.96	0.06	13.0	0.04
マメ科牧草(全体)	-0.69**	98	-1381	0.97**	-14.0	0.98	0.06	14.0	0.02
全 体	-0.82**	97	-1324	0.98**	-13.7	0.98	0.10	13.7	0.02

\*\* : p<0.01

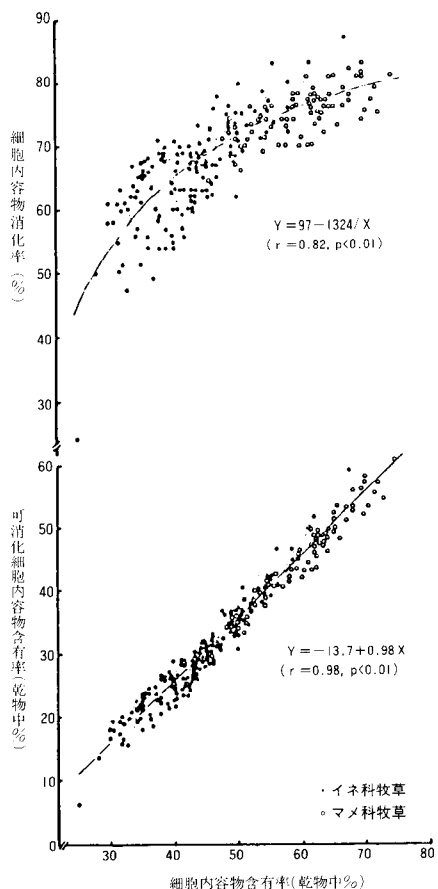


図 10. 細胞内容物における含有率(X)と消化率および可消化量(Y)との関係(n=212).

約1.6倍と狭く、最低値でもイネ科牧草の平均値に近かった。変動係数は消化率が最も小さく、次に、含有率で、可消化含量が最も大きかった。

CCの含有率と消化率、含有率と可消化含量お

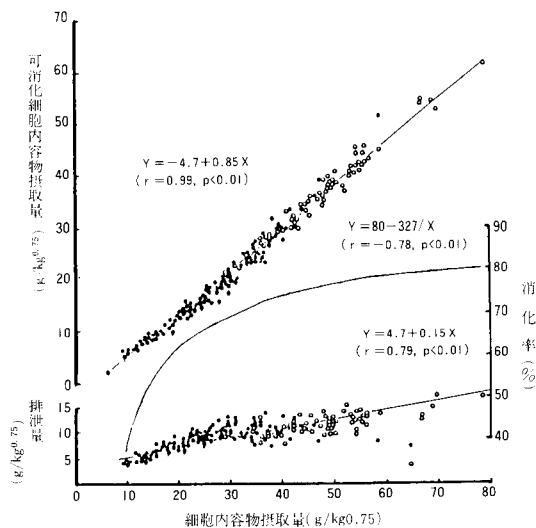


図 11. 細胞内容物における摂取量(X)と摂取可消化量、排泄量および消化率(Y)との関係(n=212).

よび不消化含量の関係を表 19 ならびに図 10 に示した。

含有率 (X<sub>CC</sub> : %) と消化率 (Y<sub>DIG</sub> : %) の一次回帰式は、全体の212点で含有率を逆数にして分数回帰式を求めると  $Y_{DIG} = 97 - 1324/X_{CC}$ , ( $r = 0.82, p < 0.01$ ) が得られた。

含有率と可消化含量の相関係数は全て0.96以上、一次回帰式の回帰係数は0.96から1.02、定数項は13から15の範囲にあった。含有率と不消化含量の一次回帰式では、可消化含量の回帰式と比較して、定数項は符号を逆にした値、回帰係数は1からの差の関係にあり、相関係数はいずれの場合も非常に小さい値を示した。

CCの摂取量と摂取可消化量ならびに糞中への

表 20. 細胞内容物(CC)の摂取量と可消化CC摂取量、排泄量との相関係数(r)と回帰式(Y=a+bX)ならびに細胞内容物の摂取量と消化率との分数回帰式(Y=b'+a'/X).

	X:CC摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )			X:CC摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )			X:CC摂取量(g/kg <sup>0.75</sup> )		
	r	a	b	r	a	b	r	b'	a'
オーチャードグラス	0.98**	-3.5	0.79	0.79**	3.5	0.21	-0.74**	75	-261
イネ科牧草 (全体)	0.98**	-4.3	0.83	0.68**	4.3	0.17	-0.71**	77	-272
アルファルファ	0.99**	-5.2	0.86	0.77**	5.2	0.14	-0.73**	86	-516
マメ科牧草 (全体)	0.99**	-4.7	0.86	0.71**	4.7	0.14	-0.62**	86	-490
全 体	0.99**	-4.7	0.85	0.79**	4.7	0.15	-0.78**	80	-327

\*\* : p < 0.01

表 21. 草種, 生育季節別の細胞内容物の含有率(X)の平均, 標準偏差(SD), 範囲および可消化含量(Y)との関係.

草種	生育季節	n	細胞内容物 含有率(X:乾物中%)			可消化含量(Y:乾物中%)		
			平均	SD	範囲	r	Y=a+bX	
							a	b
オーチャードグラス	春	31	37.6	7.0	25.3-49.8	0.98**	-16.3	1.09
	夏の前半	26	40.5	3.9	31.8-46.5	0.91**	-15.7	1.00
	夏の後半	25	41.5	3.6	32.7-46.6	0.93**	-16.3	1.00
	秋	20	48.8	5.3	38.1-56.2	0.98**	-17.3	1.05
	全体	102	41.5	6.5	25.3-56.2	0.96**	-14.7	0.99
チモシー	春	12	36.2	5.3	30.2-50.8	0.99**	-14.0	1.07
	再生草	5	39.3	3.5	35.7-44.2	0.91*	-2.1	0.73
	全体	7	37.1	4.9	30.2-50.8	0.98**	11.5	0.99
ペレニアルライグラス	春	5	53.2	12.4	37.8-67.4	0.99**	-17.3	1.13
	夏	8	47.5	2.8	43.3-51.0	0.70	-9.3	0.88
	秋	4	55.5	3.3	51.9-58.4	0.97*	-23.3	1.18
	全体	17	51.1	7.5	37.8-67.4	0.96**	-22.1	1.17
アルファルファ	春(1番草)	18	59.8	6.7	50.2-69.9	0.99**	-20.4	1.10
	夏(2番草)	18	57.7	5.6	49.9-67.3	0.97**	-11.1	0.93
	秋(3番草)	15	63.6	3.2	58.8-70.5	0.91**	-6.5	0.85
	秋(4番草)	4	71.1	2.0	68.1-72.7	0.75	3.5	0.72
	全体	57	60.9	6.3	49.9-72.7	0.97**	-13.0	0.96
アカクローバ	春(1番草)	6	58.2	5.6	49.2-65.6	0.99**	-16.2	1.06
	再生草	6	52.9	7.5	46.1-66.1	0.98**	-7.2	0.84
	全体	12	55.6	6.9	46.1-66.1	0.96**	-15.4	1.02
シロクローバ	春(1番草)	4	68.1	4.6	64.3-74.6	0.98*	-17.9	1.06
	全体	7	66.7	4.5	62.1-74.6	0.95**	-30.4	1.24

\*: p&lt;0.05, \*\*: p&lt;0.01

排泄量との関係ならびに摂取量と消化率の関係を表20に示した。また、これらの関係を図11に示した。

CCの摂取量と摂取可消化量の間的相关係数は、いずれの牧草でも0.98と非常に高かった。摂取量と排泄量の間にも有意な相関係数が得られた。これら両一次回帰式の回帰係数を加えると1になり、定数項の絶対値は同じで正と負の関係にあった。

CCの摂取量(X<sub>cc</sub>)を逆数にして、消化率(Y<sub>cc</sub>)との関係を求めると  $Y_{cc} = b' - a' / X_{cc}$  の分数回帰式が得られた。摂取量(X<sub>cc</sub>)と摂取可消化量(Y<sub>cc</sub>)の一次回帰式  $Y_{DCCI} = a + bX_{cc}$  と比較して、 $a' = a \times 100$ ,  $b' = b \times 100$  の関係にあった。

草種, 生育季節別にCCの含有率の平均値, 含

有率と可消化含量の一次回帰式を表21に示した。

各草種とも春の1番草では低い含有率の牧草から供試できたが、再生草では含有率の平均値が高くなった。含有率と可消化含量の間には、各草種、各生育季節ともに大部分が0.9以上と高い相関係数が得られた。回帰係数は1.0前後の値であったが、各草種ともに夏の再生草で、春の1番草より低い値を示した。

草種, 生育季節別のCCの摂取量と摂取可消化量の間を関係を表22に示した。

CC摂取量は、イネ科牧草の中ではペレニアルライグラスが多く、マメ科牧草はイネ科牧草より多かった。いずれの草種, 生育季節ともに摂取量と摂取可消化量の間には0.95以上と高い相関係数が得られた。回帰係数は夏の再生草で小さくなっ

表 22. 草種，生育季節別の細胞内容物の摂取量(X)の平均，標準偏差(SD)，範囲および摂取可消化量(Y)との関係。

草種	生育季節	n	細胞内容物 摂取量(X:g/kg <sup>0.75</sup> )			摂取可消化量(Y:g/kg <sup>0.75</sup> ) Y=a+bX		
			平均	SD	範囲	r	a	b
オーチャードグラス	春	31	21.4	9.6	6.0-42.7	0.99**	-3.0	0.81
	夏の前半	26	25.9	6.9	17.1-40.2	0.98**	-4.2	0.78
	夏の後半	25	24.9	6.2	11.7-34.6	0.97**	-2.5	0.71
	秋	20	31.0	6.9	16.2-46.6	0.99**	-4.8	0.86
	全体	102	25.3	8.3	6.0-46.6	0.98**	-3.5	0.79
チモシー	春	12	21.5	7.2	12.8-34.6	0.98**	-2.5	0.80
	再生草	5	24.5	9.8	14.5-36.0	0.99*	-0.6	0.70
	全体	17	22.4	7.9	12.8-36.0	0.99**	-1.7	0.76
ペレニアルライグラス	春	5	37.9	15.6	20.1-58.7	0.99**	-6.3	0.98
	夏	8	32.6	7.4	24.5-43.9	0.97**	-4.5	0.83
	秋	4	40.6	0.8	39.7-41.5	0.76		
	全体	17	36.0	9.9	20.1-58.7	0.98**	-8.0	0.97
アルファルファ	春(1番草)	16	50.4	11.7	29.5-69.1	0.99**	-7.7	0.91
	夏(2番草)	18	44.9	11.8	29.4-78.4	0.99**	-3.8	0.83
	秋(3番草)	15	50.3	4.7	42.6-58.9	0.98**	-4.8	0.84
	秋(4番草)	4	55.3	10.8	45.4-70.0	0.99**	3.4	0.71
	全体	57	48.7	10.0	29.4-78.4	0.99**	-5.2	0.86
アカクローバ	春(1番草)	6	43.9	6.6	33.0-49.4	0.99**	-6.7	0.93
	再生草	6	34.2	4.7	29.6-42.7	0.95**	-1.0	0.73
	全体	12	39.1	7.5	29.6-49.4	0.98**	-8.3	0.96
シロクローバ	春(1番草)	4	45.0	7.0	39.0-54.6	0.99**	-3.1	0.87
	全体	7	43.5	8.4	34.1-54.6	0.99**	-6.8	0.95

\*\* : p&lt;0.01

た。

VAN SOEST<sup>138)</sup> はイネ科牧草 (11点)，マメ科牧草 (8点) および濃厚飼料 (3点) の合計22点におけるCCの含有率 (Xcc : %) と可消化含量 (YDCC : %) の一次回帰式を求め， $Y_{DCC} = -12.9 + 0.98X_{cc}$  からCCの真の消化率は98%で，摂取乾物量の12.9%がこの成分の内微量に当たるとした。本実験でも全体の212点で  $Y_{DCC} = -13.7 + 0.98X_{cc}$ ，(r=0.98, p<0.01) が得られた。CCの真の消化率は98%，内微量は13.7%に相当した。

ARROYO-AGUILUら<sup>6)</sup> は低繊維質飼料における中性デタージェント可溶部分の含有率 (X) とその可消化含量 (Y) の間には  $Y = -14.9 + 1.09X$ ，(r=0.94) の回帰式を示し，この成分の栄養的均一性を報告している。COLBURNら<sup>23)</sup> はオーチャードグラスの1番草および再生草の乾草16点とアル

ファルファの乾草1点を育成牛に給与した試験から同様にCCの含有率と可消化含量の間に  $Y = -9.8 + 0.90X$ ，(r=0.93) の関係があり，真の消化率は90%と報告している。

VAN SOESTら<sup>135)</sup> はめん羊や牛の糞中不消化飼料残渣物は唯一，植物細胞壁物質からなると報告している。そして糞を中性デタージェント処理したときの可溶部分は，飼料に由来するものではなく，内因性および微生物態排泄物に由来する成分であるとした。この報告のなかで，データは確定的に十分なものではないが，見掛けの乾物消化率 (X : %) と摂取乾物量当たりの内微量の割合 (Y : %) の間には，牛で  $Y = 23.7 - 0.15X$ ，めん羊で  $Y = 8.1 + 0.065X$  を得，内微量にめん羊と牛で違いがあると述べている。しかし，めん羊を用いた本実験の全体212点から  $Y = 24.6 - 0.16X$ ，(r =



-0.58,  $p < 0.01$ ) が得られ, VAN SOESTらの牛での関係と近似した。

### 3. 細胞壁物質 (CW)

CWの含有率, 消化率, 可消化含量, 摂取量および排泄量の相互関係を調べた。

供試牧草のCWの含有率, 消化率, 可消化含量の平均値, 標準偏差および範囲をイネ科牧草とマメ科牧草に分け, また, オーチャードグラスおよびアルファルファは独立して表23に示した。

CWの含有率は平均, イネ科牧草約60%, マメ科牧草約40%とこの間に20%の違いがあった。消化率はイネ科牧草, マメ科牧草ともに, 最高値と最低値は近似したが, 平均値で比較するとマメ科牧草の消化率はイネ科牧草より15%ほど低かった。このため, 可消化含量はイネ科牧草35%, マメ科牧草17%とイネ科牧草の半分であった。

CWの含有率と消化率, 含有率と可消化含量および不消化含量の関係を表24ならびに図12に示した。

含有率と消化率の関係でイネ科牧草は, 相関係

数と一次回帰式ともに1%水準で有意であったが, マメ科牧草では有意でなかった。イネ科牧草では, 図12に示したようにCW含有率(X:%)が60%前後から消化率(Y:%)は急速に低下するため一次回帰式より分数回帰式が当てはまり  $Y = 98 - 1538 / (100 - X)$  を得た。

含有率と可消化含量の関係では, 逆に, マメ科牧草では有意, イネ科牧草では有意ではなかった。イネ科牧草では図12に示したようにCW含有率が60%前後までは可消化CW含有率は上昇するが, これをすぎると低下する傾向が見られた。

含有率と不消化含量の関係では, イネ科牧草, マメ科牧草ともに0.8以上の有意な正の相関係数と一次回帰式が得られた。この回帰式で不消化含量が正になるCW含有率はイネ科牧草で31.3%, マメ科牧草で6.2%からであった。また, CW含有率の1単位上昇に伴う不消化含量の上昇度合いはイネ科牧草が大きかった。

イネ科牧草におけるCWの摂取量と摂取可消化量ならびに糞中への排泄量との関係ならびに摂取量と消化率の関係を表25に示した。また, これらの関係を図13に示した。

表 23. 供試牧草の細胞壁物質の含有率, 消化率, 可消化含量の平均, 標準偏差(SD)および範囲。

	n	含有率 (乾物中%)			消化率 (%)			可消化含量 (乾物中%)		
		平均	SD	範囲	平均	SD	範囲	平均	SD	範囲
オーチャードグラス	102	58.5	6.5	43.8-74.7	60	10	23-79	34.5	4.5	17.3-46.4
イネ科牧草 (全体)	136	57.9	7.4	32.6-74.7	61	9	23-79	34.6	4.7	17.3-46.4
アルファルファ	57	39.1	6.3	27.3-50.1	43	8	22-72	16.6	3.7	8.4-24.0
マメ科牧草 (全体)	76	39.4	6.8	25.4-53.9	45	9	22-72	17.5	4.1	7.9-30.4
全 体	212	51.3	11.4	25.4-74.7	55	12	22-79	28.4	9.4	7.9-46.4

表 24. 細胞壁物質の含有率(X:乾物中%)と消化率, 可消化含量および不消化含量との相関係数 (r) および回帰式。

	消化率(Y:%) $Y = a + bX$			可消化含量(Y:乾物中%) $Y = a + bX$			不消化含量(Y:乾物中%) $Y = a + bX$		
	r	a	b	r	a	b	r	a	b
オーチャードグラス	-0.70**	120.1	-1.03	-0.07*	37.4	-0.05	0.84**	-37.4	1.05
イネ科牧草 (全体)	-0.65**	107.6	-0.81	0.19*	27.6	0.12	0.81**	-27.6	0.88
アルファルファ	-0.15	50.3	-0.19	0.59**	3.2	0.34	0.81**	-3.2	0.66
マメ科牧草 (全体)	-0.21	56.3	-0.30	0.57**	4.1	0.34	0.80**	-4.1	0.66
全 体	0.25**	41.3	0.27	0.77**	-4.2	0.64	0.57**	4.2	0.36

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

表 25. 細胞壁物質(CW)の摂取量と可消化CW摂取量, 排泄量との相関係数(r)と回帰式 (Y=a+bX)ならびに細胞壁物質の摂取量と消化率の分数回帰式(Y=b'/a'/X).

	X: CW摂取量 (g/kg <sup>0.75</sup> )			X: CW摂取量 (g/kg <sup>0.75</sup> )			X: CW摂取量 (g/kg <sup>0.75</sup> )		
	r	a	b	r	a	b	r	b'	a'
オーチャードグラス	0.93**	-9.2	0.88	0.33**	9.2	0.12	-0.70**	91	-1014
イネ科牧草 (全体)	0.92**	-8.0	0.85	0.40**	8.0	0.15	-0.63**	88	-926
アルファルファ	0.70**	-0.1	0.43	0.79**	0.1	0.57	0.01		
マメ科牧草 (全体)	0.67**	1.6	0.39	0.82**	-1.6	0.61	0.23		
全 体	0.85**	-8.9	0.83	0.32**	8.9	0.17	-0.41**	77	-712

\*\* : p < 0.01

CWの摂取量と摂取可消化量との相関係数は、イネ科牧草で0.92以上と非常に高かった。しかし、マメ科牧草でも有意な正の相関係数が得られたが決定係数はイネ科牧草の半分であった。また、摂取量と排泄量の間にも有意な相関係数が得られた。

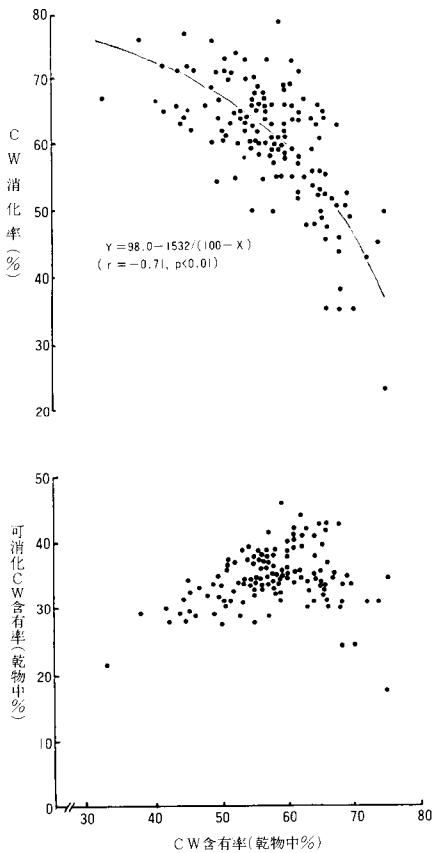


図 12. イネ科牧草の細胞壁物質(CW)における含有率(X)と消化率および可消化CW含有率との関係。

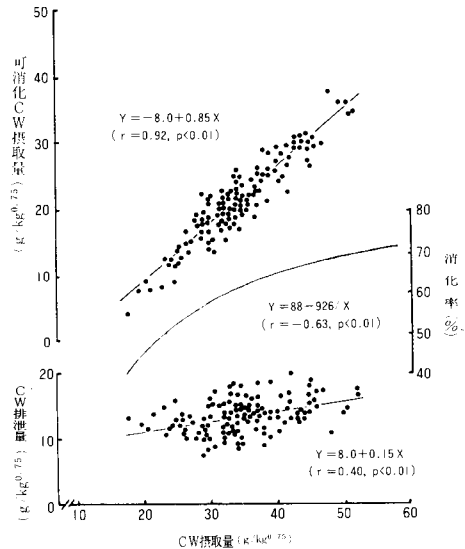


図13. イネ科牧草の細胞壁物質(CW)における摂取量(X)と摂取可消化量, 排泄量および消化率(Y)の関係。

これら両一次回帰式の回帰係数を加えると1になり、定数項の絶対値は同じで正と負の関係にあった。

イネ科牧草のCWの摂取量 (Xcwi) を逆数にして、CW消化率 (Ycwd) との関係を求めると  $Y_{cwd} = b' - a' / X_{cwi}$  の分数回帰式が得られた。摂取量 (Xcwi) と摂取可消化量 (Ydcwi) の一次回帰式  $Y_{dcwi} = a + bX_{cwi}$  と比較して、 $a' = a \times 100$ ,  $b' = b \times 100$  の関係にあった。

草種, 各生育季節別にCWの含有率の平均値, 含有率と消化率の相関係数と一次回帰式を表 26 に示した。

CWの含有率と消化率の関係は、春の1番草で

表 26. 草種, 生育季節別の細胞壁物質(CW)の含有率(X)の平均, 標準偏差(SD), 範囲および消化率(Y)との関係.

草種	生育季節	n	細胞壁物質 含有率 (X: 乾物中%)			C W消化率(Y:%)		
			Y=a+bX			r	a	b
			平均	SD	範囲			
オーチャードグラス	春	31	62.4	7.0	50.2-74.7	-0.83**	153	-1.6
	夏の前半	26	59.5	3.9	53.5-68.2	-0.73**	129	-1.2
	夏の後半	25	58.5	3.6	53.4-67.3	-0.45*	110	-0.8
	秋	20	51.2	5.3	43.8-61.9	-0.47*	93	-0.6
	全体	102	58.5	6.5	43.8-74.7	-0.70**	120	-1.0
チモシー	春	12	63.8	5.3	49.2-69.8	-0.67*	139	-1.2
	再生草	5	60.7	3.5	55.8-64.3	-0.73		
	全体	17	62.9	4.9	49.2-69.8	-0.57*	128	-1.1
ペレニアルライグラス	春	5	46.8	12.4	32.6-62.2	-0.64		
	夏	8	52.5	2.8	49.0-56.7	0.03		
	秋	4	44.5	3.3	41.6-48.1	-0.12		
	全体	17	48.9	7.5	32.6-62.2	-0.51*	86	-0.4
アルファルファ	春(1番草)	18	40.2	6.7	30.1-49.8	-0.57*	82	-0.9
	夏(2番草)	18	42.3	5.6	32.7-50.1	0.36		
	秋(3番草)	15	36.4	3.2	29.5-41.2	0.43		
	秋(4番草)	4	28.9	2.0	27.3-31.9	0.19		
	全体	57	39.1	6.3	27.3-50.1	-0.15		
アカクローバ	春(1番草)	6	41.8	5.6	34.4-50.8	-0.75		
	再生草	6	47.1	7.5	33.9-53.9	0.10		
	全体	12	44.4	6.9	33.9-53.9	-0.28		
シロクローバ	春(1番草)	4	31.9	4.6	25.4-35.7	-0.65		
	全体	7	33.3	4.5	25.4-37.9	-0.35		

\*: p&lt;0.05, \*\*: p&lt;0.01

高い負の相関が見られるが,再生草では相関係数が低くなる草種が多かった。オーチャードグラスでは季節が進むに連れて, 回帰係数の値が小さくなり, CW含有率の上昇に伴う消化率の低下の度合の小さいことが分かった。イネ科牧草では含有率と消化率の間にはおおむね負の関係があったが, マメ科牧草ではこの関係が明確でなかった。

草種, 生育季節別にCWの含有率と可消化含量および不消化含量の相関係数と一次回帰式を表27に示した。

オーチャードグラスの春の1番草ではCWの含有率が高くなると可消化含量は低下したが, 夏の再生草では一定した関係がなく, 秋には含有率が高くなると可消化含量も高くなった。アルファルファでは春の1番草では可消化含量の変化は少なく, 2, 3番草ではCWの含有率の上昇とともに

可消化含量は高くなった。

各草種の全体で見ると, オーチャードグラス, チモシーでは可消化含量は37%前後であり大きくは変化しないが, ペレニアルライグラスやアルファルファでは含有率が高くなると可消化含量も高くなる関係にあると思われた。このように草種, 生育季節が異なるとCWの含有率と可消化含量の関係は違っていた。

CWの含有率と不消化含量の関係では, 例数の少ないシロクローバを除く各草種の全体とともに有意な正の相関係数が得られた。

オーチャードグラスでは季節が進むに連れて定数項, 回帰係数ともに絶対値が小さくなり, 不消化含量が正の値になるCW含有率が42, 38, 34, 23%以上と季節が進むに連れて小さくなり, 潜在的な消化されずらさが季節とともに高まることが考

えられた。

草種、生育季節別にCWの摂取量と摂取可消化量の相関係数と一次回帰式を表28に示した。

草種で比較するとチモシーのCW摂取量が他の草種より多いが、シロクロバを除くと大きな違いはなかった。CWの摂取量と摂取可消化量の間には、例数のすくないアルファルファの4番草、アカクロバの1番草、シロクロバおよびペレニアルライグラスの1番草で有意ではなかったが、多くの場合、有意な相関係数と一次回帰式が得られた。

前記の粗蛋白質やCCでは、含有率が高くなる  
と消化率も高くなる関係にあり、含有率と可消化  
含量の間には非常に高い直線関係があり、不消化

含量は、ほぼ、一定していた。しかし、CWでは  
これとは異なる関係にあり、含有率が高くなると  
消化率は低下し、可消化含量は、ほぼ、一定し、  
不消化含量が上昇した。また、糞中のCWは牧草  
に由来する物質で、見掛けの消化率と真の消化率  
には違いがないと考えられる。

CWの含有率(X)と可消化含量(Y)の間に  
全体の212点で  $Y = -2.0 + 0.62X$ , ( $r = 0.74$ ,  $p < 0.01$ )  
が得られ、VAN SOEST<sup>138)</sup>の同様な関係を  
調べた  $Y = -1.3 + 0.62X$ , ( $r = 0.73$ )と近似した。  
彼はこの関係からCWの真の消化率は62%と報告  
している。しかし、COLBURN and EVANS<sup>22)</sup>は育  
成牛へ乾草を給与した成績から、同様に、 $Y = 11.1$   
 $+ 0.52X$ , ( $r = 0.69$ )を得、繊維質成分における

表 27. 草種、生育季節別の細胞壁物質(CW)の含有率と可消化含量および不消化含量(各、  
乾物中%)の関係。

草種	生育季節	n	CWの含有率(X)と可消化含量(Y)			CWの含有率(X)と不消化含量(Y)		
			Y=a+bX			Y=a+bX		
			r	a	b	r	a	b
オーチャードグラス	春	31	-0.48**	-59.7	-0.41	0.88**	-59.7	1.41
	夏の前半	26	-0.21			0.87**	-43.0	1.14
	夏の後半	25	0.12			0.68**	-29.9	0.88
	秋	20	0.51*	15.7	0.32	0.77**	-15.7	0.68
	全体	102	-0.07			0.84**	-37.4	1.05
チモシー	春	12	-0.06			0.76**	-42.7	1.06
	再生草	5	-0.44			0.81		
	全体	17	0.01			0.70**	-37.3	0.99
ペレニアルライグラス	春	5	0.88			0.92*	-9.5	0.55
	夏	8	0.51			0.28		
	秋	4	0.82			0.64		
	全体	17	0.78**	9.8	0.45	0.84**	-9.8	0.55
アルファルファ	春(1番草)	18	0.15			0.87**	-14.3	0.92
	夏(2番草)	18	0.89**	-4.1	0.52	0.88**	4.1	0.48
	秋(3番草)	15	0.66**	-12.9	0.77	0.25		
	秋(4番草)	4				0.81		
	全体	57	0.59**	3.2	0.34	0.81**	-3.2	0.66
アカクロバ	春(1番草)	6	0.76			0.97**	-11.1	0.77
	再生草	6	0.70			0.61		
	全体	12	0.61*	4.2	0.37	0.79**	4.2	0.63
シロクロバ	春(1番草)	4	0.04			0.84		
	全体	7	0.29			0.64		

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

表 28. 草種, 生育季節別の細胞壁物質の摂取量(X)の平均, 標準偏差(SD), 範囲およびと摂取可消化量(Y)との関係.

草種	生育季節	n	細胞壁物質 摂取量(X:g/kg <sup>0.75</sup> )			摂取可消化量(Y:g/kg <sup>0.75</sup> ) Y=a+bX		
			平均	SD	範囲	r	a	b
オーチャードグラス								
	春	31	32.9	7.3	17.6-43.9	0.95**	-13.3	0.96
	夏の前半	26	37.4	6.3	27.4-52.1	0.95**	-9.6	0.85
	夏の後半	25	34.6	7.0	23.5-50.6	0.97**	-8.2	0.88
	秋	20	31.9	3.6	26.3-38.0	0.88**	-9.0	0.92
	全体	102	34.3	6.6	17.6-52.1	0.93**	-9.2	0.88
チモシー								
	春	12	37.1	8.9	25.8-49.7	0.93**	-7.0	0.82
	再生草	5	36.6	10.4	24.5-45.4	0.99*	-9.0	0.84
	全体	17	37.0	9.0	24.5-49.7	0.95**	-7.7	0.83
ペレニア アルライグラス								
	春	5	30.9	2.4	28.4-33.7	-0.30		
	夏	8	35.6	5.2	28.6-43.2	0.91**	-7.9	0.86
	秋	4	32.7	4.4	28.6-38.0	0.93*	1.2	0.65
	全体	17	33.5	4.6	28.4-43.2	0.82**	-0.1	0.66
アルファ アルファ								
	春(1番草)	16	34.1	4.0	28.3-43.6	0.57*	-2.0	0.48
	夏(2番草)	18	32.2	4.4	21.6-38.8	0.94**	-5.5	0.60
	秋(3番草)	15	28.9	3.6	23.8-32.9	0.71**	-6.0	0.62
	秋(4番草)	4	22.3	2.8	19.8-26.3	0.28		
	全体	57	30.9	5.1	19.8-43.6	0.70**	-0.1	0.43
アカクロ ーバ								
	春(1番草)	6	31.2	3.3	25.4-34.2	0.56		
	再生草	6	30.7	7.1	21.9-42.3	0.91**	-7.9	0.71
	全体	12	31.0	5.3	21.9-42.3	0.84**	-4.6	0.62
シロクロ ーバ								
	春(1番草)	4	20.9	2.7	18.6-24.3	-0.41		
	全体	7	21.3	2.1	18.6-24.3	0.26		

\*:p&lt;0.05, \*\*:p&lt;0.01

LUCAS testについて, 真の消化率の推定にこの方法は適さないと述べている。

イネ科とマメ科牧草でこの関係は異なり, 含有率と可消化含量の間にはマメ科牧草で有意な正の相関係数が得られたが, 回帰係数は0.34とマメ科牧草のCW消化率の平均値45%と異なった。イネ科牧草(n=136)で0.19と5%水準で有意な相関が得られたが, 一次回帰式の回帰係数の値やオーチャードグラスの場合は $r=-0.07$ であったこと等から推して, LUCAS testがあてはまらなかった。

イネ科とマメ科牧草ではCWの含有率と消化率の変動する範囲が異なり, また, CWを構成するセルロース, ヘミセルロース, リグニンの比率もイネ科とマメ科牧草では異なる。これらを考慮すると, こみにした検討は適当でなく, それぞれ, 別にして扱う必要があると考えた。

可消化CW含有率は, イネ科牧草で平均35%,

変動係数14%, マメ科牧草で平均18%, 変動係数23%であった。WILMANら<sup>150)</sup>はペレニアアルライグラスで刈取り間隔が異なるとCW含有率は変動するが, 可消化CW含有率にはほとんど変化がなく平均32%であったと報告している。VAN SOEST<sup>134)</sup>は早刈りと遅刈りでCW含有率は, それぞれ, オーチャードグラスで38, 35%, アルファアルファで18, 21%であったと報告している。MOIR<sup>81)</sup>は可消化CW含有率の一定性とイネ科牧草で可消化CW含有率は有機物中39.5%であることを報告している。本実験から得た乾物中34%を有機物中へ換算すると約38%であった。OSBOURNら<sup>99)</sup>も可消化CW含有率の変化は少ないと述べている。TILLEYら<sup>127)</sup>もin vitro法で牧草の構造炭水化物の消化率を検討したなかで, 生育時期が変わっても繊維質成分の可消化含量は, ほぼ, 一定していることを報告している。

## V 牧草の化学成分含有率，消化率，栄養価，自由採食量の相互関係

### 1. 牧草の自由採食量と化学成分の含有率および消化率との関係

牧草の自由採食量と化学成分の含有率および消化率との相関係数を表 29 に示した。

粗蛋白質含有率とは，オーチャードグラスでいづれの生育季節も有意な正の相関が得られたが，他の草種では強い関係がなかった。CW，ADF および ADL 含有率とはアルファルファの 3 番草とアカクローバを除き，各草種，各生育季節ともに，これらの含有率が高くなると自由採食量は低下する傾向にあった。

乾物，CW および CC の消化率との関係では，アカクローバの再生草の CC 消化率以外は全て正の相関で，消化率が高くなると自由採食量は多くなる関係にあった。オーチャードグラス（秋の草を除く）とチモシーで，自由採食量とは CC より

CW の消化率と高い相関があるのに対して，ペレニアルライグラスとマメ科牧草では CC の消化率と高い相関があった。アルファルファでは 1 番草以外で自由採食量と CW 消化率の間には有意な相関がなかった。

オーチャードグラスおよびアルファルファの 1 番草で，乾物消化率と自由採食量の関係を図 14 に示した。

両草種ともに有意な一次回帰式が得られ，乾物消化率が同じでもオーチャードグラスに比べアルファルファの自由採食量が多いことが分かる。

表 30 に示した 5 草種の全体について，乾物消化率 (X: %) と自由採食量 (Y: g/kg<sup>0.75</sup>) の一次回帰式を以下に示した。

$$\begin{aligned} \text{オーチャードグラス} & Y = -16.6 + 1.25X \\ \text{チモシー} & Y = -17.1 + 1.19X \\ \text{ペレニアルライグラス} & Y = 7.6 + 0.89X \end{aligned}$$

表 29. 草種，生育季節別の自由採食量 (g/kg<sup>0.75</sup>) と化学成分，消化率との相関係数。

草種	生育季節	n	化学成分 (乾物中%)			ADL ADF (%)	消化率 (%)			
			粗蛋白質	CW	ADF		ADL	乾物	CW	CC
オーチャードグラス										
	春	31	0.85**	-0.83**	-0.86**	-0.88**	-0.84**	0.90**	0.91**	0.79**
	夏の前半	26	0.70**	-0.57**	-0.66**	-0.60**	-0.37	0.76**	0.76**	0.62**
	夏の後半	25	0.67**	-0.49*	-0.78**	-0.57**	-0.20	0.76**	0.79**	0.53**
	秋	20	0.83**	-0.67**	-0.74**	-0.72**	-0.44*	0.77**	0.71**	0.74**
	全体	102	0.72**	-0.64**	-0.73**	-0.72**	-0.58**	0.79**	0.81**	0.64**
チモシー										
	春	12	0.41	-0.41	-0.64*	-0.57	-0.42	0.62*	0.65*	0.37
	再生草	5	0.87	-0.87	-0.99**	-0.82	-0.59	0.93**	0.92*	0.64
	全体	17	0.45	-0.50	-0.72**	-0.61**	-0.42	0.68**	0.69**	0.41
ペレニアルライグラス										
	春	5	0.83	-0.98**	-0.97**	-0.89*	-0.78	0.85	0.53	0.92*
	再生草	12	0.28	-0.44	-0.33	-0.30	-0.18	0.47	0.39	0.52
	全体	17	0.34	-0.67**	-0.64**	-0.58*	-0.39	0.58*	0.43	0.58*
アルファルファ										
	春 (1 番草)	16	0.66**	-0.78**	-0.71**	-0.83**	-0.73**	0.83**	0.61*	0.83**
	夏 (2 番草)	18	0.49	-0.61**	-0.44	-0.47*	-0.20	0.74**	0.24	0.60**
	秋 (3 番草)	15	-0.01	0.13	0.10	-0.28	0.41	0.18	0.14	0.36
	再生草	37	0.24	-0.36	-0.25	-0.25	-0.07	0.38**	0.05	0.43**
	全体	57	0.28*	-0.38**	-0.28*	-0.32*	-0.21	0.41**	0.14	0.51**
アカクローバ										
	春 (1 番草)	6	0.55	-0.57	-0.53	-0.49	-0.35	0.48	0.16	0.63
	再生草	6	0.28	0.38	-0.20	-0.14	0.01	0.43	0.81	-0.80
	全体	12	-0.24	-0.25	-0.35	-0.43	-0.40	0.70*	0.66*	0.46

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

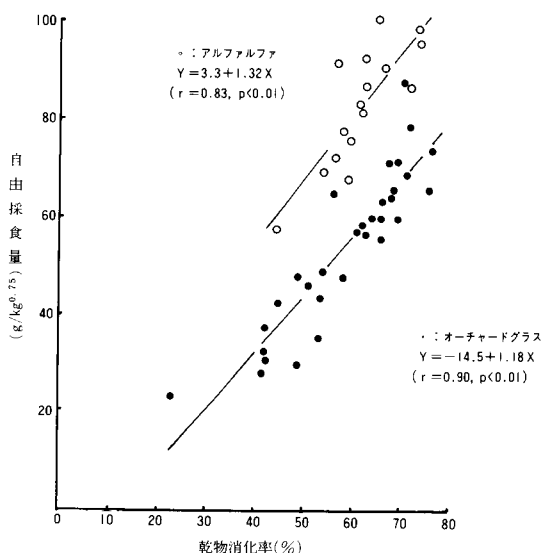


図 14. オーチャードグラスおよびアルファルファの 1 番草の乾物消化率(X)と自由採食量(Y)の関係。

$$\text{アルファルファ} \quad Y = 27.1 + 0.84X$$

$$\text{アカクロバ} \quad Y = 34.0 + 0.62X$$

草種によつてこの間の関係が異り、回帰係数は上記の草種の順に小さくなった。オーチャードグラスとチモシーでは消化率の上昇に伴う採食量の増大の程度が他の草種より大きく、マメ科牧草ではその程度が小さかった。

イネ科牧草全体 ( $n=136$ ) で  $Y = -15.8 + 1.23X$ , ( $r=0.77, p < 0.01$ ) が得られた。この136点を乾物消化率で二つに分け、66%以下の99点では、 $Y = -22.2 + 1.34X$ , ( $r=0.73, p < 0.01$ )、67%以上の37点では、 $Y = 2.80 + 0.95X$ , ( $r=0.49, p < 0.01$ ) の関係があった。乾物消化率67%以上の牧草に比べ、66%以下の牧草では消化率の上昇に伴う採食量の増大の程度が大きいことが分かるが、めん羊に牧草を単一給与した場合は、消化率と自由採食量の間にはきわだつた変曲点はないと思われた。

## 2. 乾物, 細胞壁物質, 細胞内容物の含有率, 摂取量, 排泄量, 消化率, 摂取可消化量の相互関係

### (1) 乾物, 細胞壁物質, 細胞内容物の摂取量, 排泄量, 摂取可消化量の関係

乾物, CW, CCについてオーチャードグラス, チモシー, ペレニアルライグラス, アルファルファおよびアカクロバで, 摂取量, 摂取可消化量, 排泄量の平均値ならびにこれらの相関行列を表30, 31に示した。

オーチャードグラスとチモシーで, 摂取量の六つの成分相互には全て1%水準の高い正の相関があった。乾物排泄量とは, 可消化CC摂取量との間には有意ではなかったが, 他は全て正の有意な相関が得られた。この2草種ではこれらの関係がにかよっていた。

ペレニアルライグラスは前記の2草種と異なり, 摂取量の相互間でもCWが関係する部分で, 有意な相関がなかった。また, 乾物排泄量と各摂取量との間で, CW摂取量とは有意な正の相関が得られた以外は有意な関係がなかった。

イネ科の3草種ともに乾物摂取量とCW排泄量との間の相関係数は0.01, 0.36, -0.11とともに有意な関係がなく, 自由採食量が増減してもCW排泄量はあまり変動しないことが分かった。

アルファルファとアカクロバでは, 六つの成分の摂取量の間でみると, CW摂取量とCC, 可消化乾物および可消化CC摂取量との間には有意な相関がなかった。可消化CW摂取量と乾物, CWおよびCC排泄量との間には有意な相関がなかった。

いずれの草種でも自由採食量とCW排泄量, また, 可消化CW摂取量とCW排泄量の間にも強い関係がなかった。

自由採食下では牧草の生育時期が異なり, 消化率や自由採食量等が違つても乾物排泄量はあまり大きくは変動しないこと, また, 不消化CW排泄量はイネ科牧草で $13\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ , マメ科牧草で $17\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ 前後で, おおむね, 一定していることが分かった。

表 30. オーチャードグラス, チモシーならびにペレニアルライグラスの乾物(DM), 細胞壁物質(CW), 細胞内容物(CC), 可消化乾物(DDM), 可消化CW(DCW)および可消化CC(DCC)の摂取量, また, DM, CW, CCの排泄量との相互の相関係数.

	1日1頭平均 (g/kg <sup>0.75</sup> )	摂取量					排泄量			
		DM	CW	CC	DDM	DCW	DCC	DM	CW	CC
オーチャードグラス (n=102)										
摂取量	DM 59.6									
	CW 34.3	0.89**								
	CC 25.3		0.93**							
	DDM 37.3			0.97**						
	DCW 20.9				0.94**					
	DCC 16.4					0.87**				
排泄量	DM 22.3						0.55**	0.01	0.84**	
	CW 13.4							0.71**	0.33**	0.74**
	CC 8.9								0.33**	-0.25*
										0.79**
										0.74**
										0.74**
										0.65**
										0.71*
										0.10
チモシー (n=17)										
摂取量	DM 59.3									
	CW 37.0	0.95**								
	CC 22.3		0.93**							
	DDM 38.1			0.97**						
	DCW 22.9				0.95**					
	DCC 15.2					0.88**				
排泄量	DM 21.3						0.71**	0.36	0.94**	
	CW 14.1							0.80**	0.53*	0.88**
	CC 7.2								0.52*	0.13
										0.88**
										0.87**
										0.85**
										0.79**
										0.44
ペレニアルライグラス (n=17)										
摂取量	DM 69.5									
	CW 33.5	0.43								
	CC 36.0		0.91**							
	DDM 48.8			0.93**						
	DCW 22.0				0.61*					
	DCC 26.8					0.84**				
排泄量	DM 20.7						0.11	-0.11	0.37	
	CW 11.6							0.64**	0.60*	0.56*
	CC 9.2								-0.18	-0.39
									-0.27	-0.45
									0.13	0.03
									-0.36	-0.53*
										0.24
										0.88**
										0.64**

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

(2) 自由採食量と消化率の関係

自由採食量, 乾物消化率および乾物排泄量の間には以下の関係がある。

$$\text{自由採食量} \times ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1}) = \text{乾物排泄量}$$

$$\text{自由採食量} = \text{乾物排泄量} / ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1})$$

オーチャードグラス, アルファルファともに, 自由採食量が増加すると乾物排泄量も増加する関係にあるが, 乾物排泄量の平均はオーチャードグラス22.3g/kg<sup>0.75</sup>, アルファルファ29.8g/kg<sup>0.75</sup>でありあまり大きくは変動しなかった。

上記の関係から

$$\text{オーチャードグラスの自由採食量} = 22.3 / ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1})$$

$$\text{平均値で } 59.6 \div 22.3 / 0.39$$

$$\text{アルファルファの自由採食量} = 29.8 / ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1})$$

$$\text{平均値で } 79.6 \div 29.8 / 0.38$$

が得られた。

本実験に用いた全ての草種で, 自由採食量と乾物消化率の間には有意な正の相関が得られ, 牧草の自由採食量を規制する要因として乾物の消化率が考えられた。

乾物排泄量の体重当たりの割合は平均, オーチャードグラス: 0.79%, チモシー: 0.77%, ペレニアルライグラス: 0.73%, アルファルファ: 1.06%であった。これらの値を用い,

$$\text{イネ科牧草の自由採食量(kg)} = \text{体重(kg)} \times 0.8 / ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1})$$



$$\text{マメ科牧草の自由採食量(kg)} = \text{体重(kg)} \times 1.0 / ((100 - \text{乾物消化率}) \times 100^{-1})$$

の推定式が得られた。

オーチャードグラスの自由採食量とCW排泄量の間には0.01と有意な相関がなく、自由採食量が増加しても、CW排泄量はほぼ一定しており、その平均は13.4g/kg<sup>0.75</sup>であった。また、アルファルファでは自由採食量とCW排泄量の間には0.27と5%水準で有意な相関があったが、決定係数は7%と小さく、CW排泄量の平均は17.2g/kg<sup>0.75</sup>であった。上記の乾物消化率と同様に、牧草乾物中の不消化CW含有率と自由採食量の間には以下の関係がある。

$$\text{オーチャードグラスの自由採食量} \approx 13.4 / (\text{不消化CW含有率} \times 100^{-1})$$

$$\text{平均値で } 59.6 \approx 13.4 / 0.24$$

$$\text{アルファルファの自由採食量} \approx 17.2 / (\text{不消化CW含有率} \times 100^{-1})$$

$$\text{平均値で } 79.6 \approx 17.2 / 0.22$$

牧草乾物中の不消化CW含有率が高くなるにつれて、自由採食量は低下する。牧草の自由採食量

を規制する要因として採食される牧草中の不消化CW含有率が考えられた。

自由採食量と不消化CW含有率の相関係数と一回帰式を表32に示した。

オーチャードグラスでは各生育季節を通して、これらに強い相関があった。アルファルファの春と夏の草では有意な相関が得られたが、秋の草では番草内の自由採食量の変動幅が狭いこともあって有意な相関がなかった。また、オーチャードグラスの夏の後半およびアルファルファの夏の草での回帰係数が他の季節のものより大きく、これらに対して不消化CW含有率が強く関与した。

### (3) 自由採食量と成分含有率の関係

ある成分について、その含有率(乾物中%)、消化率(%×100<sup>-1</sup>で表示)、真の消化率(%×100<sup>-1</sup>で表示)、摂取量(g/kg<sup>0.75</sup>)、排泄量(g/kg<sup>0.75</sup>)、摂取可消化量(g/kg<sup>0.75</sup>)、自由採食量(g/kg<sup>0.75</sup>)、これらは相互に密接な関係がある。

例としてCCの場合で示すと[CC含有率(CC%と略記)、可消化CC含有率(DCC%と略記)、オーチャードグラス:]

表 31. アルファルファならびにアカクローバの乾物(DM)、細胞壁物質(CW)、細胞内容物(CC)、可消化乾物(DDM)、可消化CW(DCW)および可消化CC(DCC)の摂取量、また、DM、CW、CCの排泄量との相互の相関係数。

	1日1頭平均 (g/kg <sup>0.75</sup> )	摂取量					排泄量			
		DM	CW	CC	DDM	DCW	DCC	DM	CW	CC
アルファルファ (n=57)										
摂取量	DM 79.6									
	CW 30.9	0.47**								
	CC 48.7		0.89**							
	DDM 48.9			0.02						
	DCW 13.2				0.21	0.70**				
	DCC 36.6					0.15	0.99**	0.24	-0.09	0.77**
排泄量	DM 29.8					0.47	0.95**	0.16	0.11	0.61**
	CW 17.7							0.16	0.11	0.04
	CC 12.1								0.14	-0.16
										0.67**
										0.92**
										0.62**
										0.26
アカクローバ (n=12)										
摂取量	DM 70.0									
	CW 31.0	0.45								
	CC 39.0		0.78**							
	DDM 43.9			0.94**						
	DCW 14.7				0.16	0.84**				
	DCC 29.2					0.18	0.98**	-0.50	-0.62	0.21
排泄量	DM 26.1					0.54	0.89**	-0.31*	-0.43	0.23
	CW 16.2							0.10	0.37	0.44
	CC 9.9								-0.57	-0.61*
										0.90**
										0.33
										-0.11

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

表 32. 生育季節別の自由採食量(Y)と不消化CW含有率(X)の関係。

草種	生育季節	n	r	Y = a + bX (Y: g/kg <sup>0.75</sup> , X: 乾物中%)		
				a	b	標準誤差
オーチャードグラス	春(1番草)	31	-0.92**	91.7	-1.31	6.3
	夏の前半	26	-0.74**	108.0	-1.81	8.6
	夏の後半	25	-0.84**	108.0	-2.23	7.6
	秋	20	-0.81**	93.0	-1.59	5.6
	全体	102	-0.81**	91.9	-1.35	8.1
アルファルファ	春(1番草)	16	-0.83**	121.0	-1.52	6.7
	夏(2番草)	18	-0.76**	163.5	-3.53	9.4
	秋(3番草)	15	-0.03			
	再生草	37	-0.36*	101.4	-1.05	10.7
	全体	57	-0.37**	98.2	-0.83	10.6

\*: P&lt;0.05, \*\*: P&lt;0.01

$$DCC\% = -14.7 + 0.99CC\%$$

$$CCの消化率 = 0.98 - 14.20/CC\%$$

$$可消化CC摂取量 = -3.5 + 0.79 \times CC摂取量$$

$$CC排泄量 = 3.5 + 0.21 \times CC摂取量$$

$$CC摂取量 = 自由採食量 \times CC\% \times 可消化$$

$$CC摂取量 = 自由採食量 \times CC\% \times CCの消化率$$

$$CCの消化率 = 0.79 - 3.5 / (自由採食量 \times CC\%)$$

$$自由採食量 = 3.5 / ((14.20 - 0.19CC\%) \times 100^{-1})$$

$$自由採食量 = 3.5 / ((-4.80 + 0.19CW\%) \times 100^{-1})$$

アルファルファ:

$$DCC\% = -13.0 + 0.96CC\%$$

$$CCの消化率 = 0.96 - 12.94/CC\%$$

$$可消化CC摂取量 = -5.2 + 0.86 \times CC摂取量$$

$$CC排泄量 = 5.2 + 0.14 \times CC摂取量$$

$$CC摂取量 = 自由採食量 \times CC\%$$

$$可消化CC摂取量 = 自由採食量 \times CC\% \times CCの消化率$$

$$CCの消化率 = 0.86 - 5.2 / (自由採食量 \times CC\%)$$

$$自由採食量 = 5.2 / ((12.94 - 0.10CC\%) \times 100^{-1})$$

$$自由採食量 = 5.2 / ((2.94 + 0.10CW\%) \times 100^{-1})$$

$$\times 100^{-1})$$

上記の式のようにCCおよびCW含有率は自由採食量を推定する目安となる。

このように自由採食量とは、摂取量と摂取可消化量の一次回帰式の定数項、内因性および微生物態排泄量の自由採食量に対する割合、真の消化率と摂取量と摂取可消化量の一次回帰式の回帰係数の差、それに変数としてCCおよびCW含有率が関係していた。

自由採食量とCW含有率の関係を図15に示した。

イネ科、マメ科牧草を込みにした場合の自由採食量(Y)とCW含有率(X)の間には分数回帰式があてはまり、 $Y = 111.9 - 2094 / (100 - X)$ ,  $r = -0.74$ ,  $p < 0.01$ が得られた。

VAN SOEST<sup>134)</sup>は  $Y = 110.4 - 1716 / (100 - X)$  を報告している。CW含有率が高まるにつれて自由採食量の低下が大きくなる曲線的な変化が得られた。牧草中のCW含有率も自由採食量を規制している。

CWについては、CCや粗蛋白質で見られた栄養的な均一性がなく、含有率と可消化含量、CW摂取量と可消化CW摂取量の関係等から前記のような説明はできない。しかし、含有率と可消化含量の間に有意な相関がない場合でも、含有率と不消化含量の間には有意な正の相関がある例が多く、

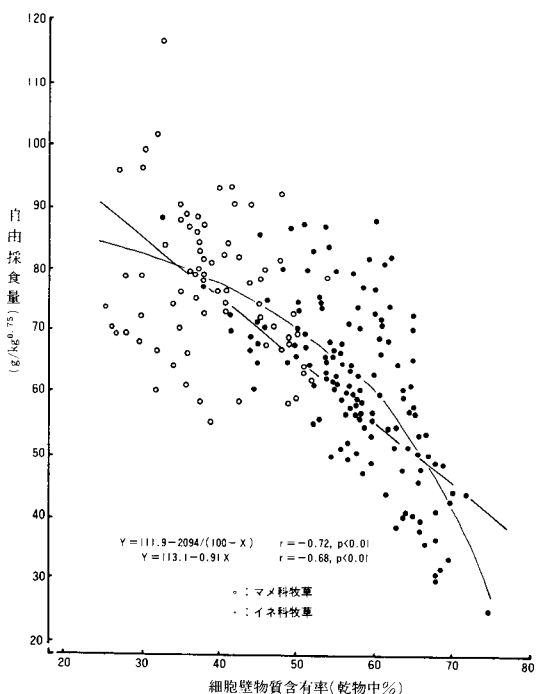


図 15. 細胞壁物質含有率と自由採食量の関係(n=212).

イネ科牧草では不消化CW含有率と自由採食量の間には強い負の関係があった。また、アルファルファの1, 2番草でも同様であった。

### 3. 牧草のエネルギー値

#### (1) 自由採食量と可消化エネルギー摂取量の関係

DE摂取量は自由採食量にDE含量を乗じた値である。生育が進むと自由採食量もDE含量も低下するためDE摂取量の低下はさらに大きくなる。オーチャードグラスとアルファルファで自由採食量( $X_1$ :g/kg<sup>0.75</sup>)とエネルギー消化率( $X_2$ :%)を独立変数とし、DE摂取量( $Y$ :kcal/kg<sup>0.75</sup>)を推定する重回帰式を以下に示した。

オーチャードグラス:

$$Y = -124.3 + 2.68X_1 + 2.13X_2 \quad (R=0.98)$$

(相対重要度:  $X_1$  79%,  $X_2$  21%)

アルファルファ:

$$Y = -198.6 + 3.19X_1 + 3.19X_2 \quad (R=0.98)$$

(相対重要度:  $X_1$  76%,  $X_2$  24%)

両草種ともDE摂取量に対して、自由採食量は相対重要度70%以上で、消化率より強く影響を与えた。

自由採食量からDE摂取量を推定する方法として、自由採食量から乾物排泄量を引いて可消化乾物摂取量を求め、これに単位重量当たりのエネルギー値をかけて、DE摂取量を算出することができる。自由採食量と乾物排泄量の間には、オーチャードグラス、アルファルファともに強い相関がなく、乾物排泄量の平均は、それぞれ、22.3, 29.8 g/kg<sup>0.75</sup>で、可消化乾物1gはDEで、それぞれ、4.31, 4.45kcal/gDMであった。そこで、下記の推定式を考えた。

オーチャードグラス:

$$DE \text{ 摂取量} = 4.31 (\text{自由採食量} - 22.3)$$

アルファルファ:

$$DE \text{ 摂取量} = 4.45 (\text{自由採食量} - 29.8)$$

両草種の推定値と実測値の関係を図16に示した。

この間にオーチャードグラス0.96 ( $p < 0.01$ ), アルファルファ0.92 ( $p < 0.01$ )の相関係数が得られた。精度よく推定できたのは乾物排泄量が自由採食量にあまり関係なく、ほぼ、一定していたことによる。このようにエネルギーの消化率が分からなくても両草種ともに自由採食量からDE摂取量が推定できた。

DE摂取量( $E$ :kcal/kg<sup>0.75</sup>)と自由採食量( $I$ :g/kg<sup>0.75</sup>)の間には、オーチャードグラス: $E=3.8$  ( $I-16.6$ ),  $r=0.96$  アルファルファ: $E=3.5$  ( $I-15.8$ ),  $r=0.92$  の関係が得られた。

上記の乾物排泄量の平均値を用いた推定式との交点は、オーチャードグラス60.5g, アルファルファ80.8gであった。推定式と回帰式からの推定される値を比較すると推定式から得られた値は交点以下では低く、以上では高くなった。

BLAXTERら<sup>14)</sup>はDE摂取量( $E$ :kcal/kg<sup>0.734</sup>)と乾物摂取量( $I$ :g/kg<sup>0.734</sup>)の間に  $E=4.9$  ( $I-31$ ) の関係を報告している。本実験の自由採食量をkg<sup>0.734</sup>あたりに換算して同様な関係を算出すると、

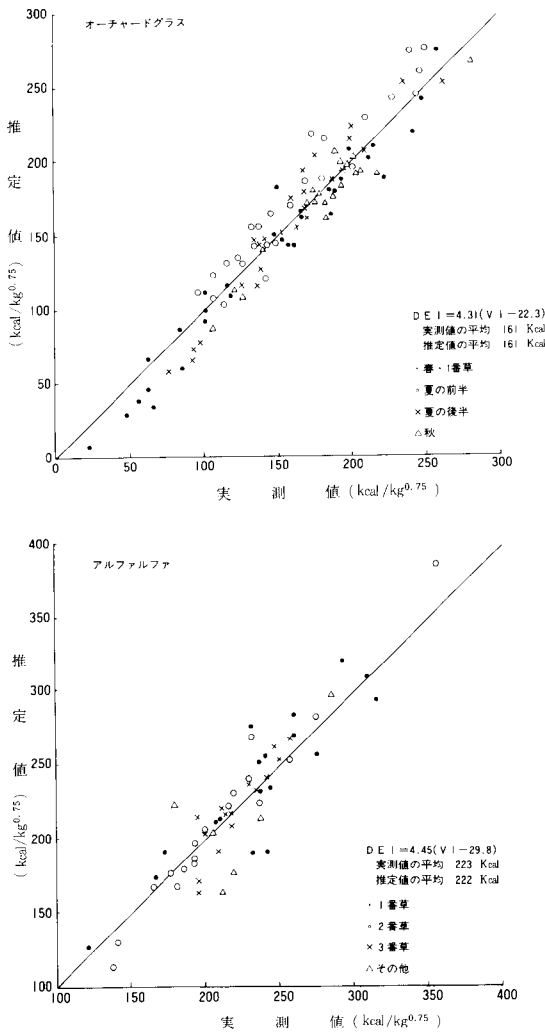


図 16. 自由採食量(VI)から可消化エネルギー摂取量(DEI)を推定した値と実測値の関係。

$E=3.5(I-15)$  が得られた。両式を比較すると DE 摂取量がゼロになる採食量に約 2 倍の違いがあり、両回帰式は  $72g/kg^{0.734}$  で交差し、これ以上では著者の推定値が低くなった。

(2) 可消化の細胞壁物質と細胞内容物のエネルギー値

牧草を採食した家畜がエネルギー源として利用するのは可消化の CW と CC である。これらの可消化量を独立変数とし、DE 含量を従属変数とし

重回帰式を求め、これらのエネルギー値を推定した。この結果を表 33 に示した。

これらの回帰係数は 1 単位当たりの変化量であることから、単位重量当たりのエネルギー値に相当する。なお、オーチャードグラスの全体 (n=102) で可消化 CW と可消化 CC の間には  $r=0.14$  と有意な関係がなく、他の草種においても可消化 CW と可消化 CC は独立して変動している傾向がみられた。

オーチャードグラスで春、夏の前半、夏の後半、秋の順に、可消化 CW 1 g は 4.59, 4.83, 4.60, 4.49 kcal に、同様に可消化 CC 1 g は 4.46, 4.82, 4.01, 4.27 kcal に相当した。

相対重要度は生育季節で異なり、夏の後半の草では可消化 CW が 51% と他の季節より高い割合を示した。全体の平均は可消化 CW と可消化 CC の 1 g は 4.55, 4.51 kcal で近似したエネルギー値であったが、相対重要度は 30 と 70% で DE の変動に対しては可消化 CC が強く関与した。

アルファルファでは 1 から 3 番草へと進むにつれて、重相関係数は低くなり、可消化 CW の相対重要度は 18 から 49% へと高くなった。可消化の CW と CC のエネルギー値は番草間で大きく異なる結果を得た。特に、両エネルギー値ともに 3 番草で低下した。全体で可消化の CW と CC の 1 g は 3.73, 4.32 kcal で、相対重要度は 20, 80% で、可消化 CW のエネルギー値および相対重要度が低かった。

(3) 牧草の推定正味エネルギー

乳・肉等の生産のための飼料の評価単位としては NE が適することは知られている。しかし、測定自体が色々な面で難しく、他の測定値を用いて変換する適確な方法の確立が望まれている。ここでは CW と TDN 含有率から産乳 (lact) および増体 (gain) の NE を推定する VAN SOEST<sup>142)</sup> の推定式を用いた。なお、推定式を下記に示した。

$$NE_{lact} = 0.01TDN \{2.86 - 35.5 / (100 - CW)\}$$

$$NE_{gain} = 0.78NE_{lact} - 0.41$$

この推定式で求めた推定 NE 含量を表 34 に示した。

牧草の生育に伴い CW 含有率は高くなり、TDN 含有率は低下するので、推定正味 NE の低下はさらに大きくなった。オーチャードグラスの TDN では穂ばらみ期 70% が結実期 41% と 59% の低下

表 33. 可消化の細胞壁物質(DCW)と細胞内容物(DCC)含量から可消化エネルギー含量(DE)を推定する重回帰式.

生育季節 または 番草	平均値			R <sup>2</sup>	重回帰式			相対重要度	
	DCW (g/100gDM)	DCC (kcal/gDM)	DE		Y:DE,	X <sub>1</sub> :DCW,	X <sub>2</sub> :DCC	DCW (%)	DCC (%)
オーチャードグラス									
春(1番草)	33.9	24.6	2.52	0.99	Y=-0.143+0.0459X <sub>1</sub> +0.0446X <sub>2</sub>		39	61	
夏の前半	34.8	24.7	2.56	0.94	Y=-0.313+0.0483X <sub>1</sub> +0.0482X <sub>2</sub>		27	73	
夏の後半	36.7	25.1	2.66	0.95	Y=-0.036+0.0460X <sub>1</sub> +0.0401X <sub>2</sub>		51	49	
秋	32.3	34.0	2.88	0.96	Y=-0.026+0.0449X <sub>1</sub> +0.0427X <sub>2</sub>		28	72	
全体	34.5	26.6	2.63	0.98	Y=-0.136+0.0455X <sub>1</sub> +0.0451X <sub>2</sub>		31	69	
チモシー									
1番草	39.1	24.5	2.76	0.98	Y=-0.619+0.0578X <sub>1</sub> +0.0458X <sub>2</sub>		54	46	
再生草	34.8	26.4	2.66	0.96	Y=0.289+0.0286X <sub>1</sub> +0.0520X <sub>2</sub>		49	51	
全体	37.8	25.1	2.73	0.96	Y=-0.315+0.0506X <sub>1</sub> +0.0453X <sub>2</sub>		56	44	
ペレニアルライグラス									
1番草	30.6	42.6	3.08	0.99	Y=-0.639+0.0542X <sub>1</sub> +0.0485X <sub>2</sub>		20	80	
再生草	32.4	35.8	2.88	0.95	Y=0.426+0.0328X <sub>1</sub> +0.0388X <sub>2</sub>		19	81	
全体	31.8	37.8	2.94	0.97	Y=0.192+0.0375X <sub>1</sub> +0.0411X <sub>2</sub>		16	84	
アルファルファ									
1番草	17.5	45.6	2.83	0.94	Y=0.275+0.0400X <sub>1</sub> +0.0407X <sub>2</sub>		18	82	
2番草	17.9	42.5	2.71	0.87	Y=-0.354+0.0504X <sub>1</sub> +0.0508X <sub>2</sub>		27	73	
3番草	15.1	47.3	2.80	0.79	Y=0.661+0.0282X <sub>1</sub> +0.0361X <sub>2</sub>		49	51	
再生草	16.2	45.8	2.78	0.88	Y=0.142+0.0372X <sub>1</sub> +0.0445X <sub>2</sub>		24	76	
全体	16.6	45.6	2.79	0.90	Y=0.195+0.0373X <sub>1</sub> +0.0432X <sub>2</sub>		20	80	
アカクローバ									
1番草	20.8	45.5	2.91	0.98	Y=-0.467+0.0550X <sub>1</sub> +0.0492X <sub>2</sub>		9	91	
再生草	20.9	37.2	2.59	0.98	Y=0.363+0.0393X <sub>1</sub> +0.0376X <sub>2</sub>		49	51	
全体	20.9	41.4	2.75	0.98	Y=0.150+0.0420X <sub>1</sub> +0.0417X <sub>2</sub>		25	75	

であったが、増体のNEでは穂ばらみ期0.75kcalから結実期0.14kcalへと19%にまで急速に低下した。

マメ科牧草はイネ科牧草に比較してCW含有率が低いため、TDN含有率が同じでも、推定NE含量は高かった。

表中に示した推定NE含量はVAN SOEST<sup>142)</sup>の報告とほぼ一致した。

#### 4. 考 察

本実験では牧草を自由採食させて消化率を測定したので、各成分について成分含有率、摂取量、排泄量、消化率、摂取可消化量を相互に関連づけて検討することができた。

牧草の消化・採食特性は種々の要因で変化しているが、ここで調べた相互の関連をまとめると次のように集約できた。

#### 1) 中性デタージェント分画からみた可消化乾物含量の変動

牧草の乾物を中性デタージェント法でCWとCCに分画され、消化試験でさらに可消化のCWとCCおよび不消化のCWとCCの四つの部分に分けることができる。なお、可消化乾物含量は可消化CWと可消化CC含量の和である。可消化乾物含量とこれら四つの成分含量との相関係数ならびに不消化CW含量と可消化乾物含量の一次重回帰式を表35に示した。

オーチャードグラスおよびアルファルファの可消化乾物含量が乾物100g中80から40gへ変化した場合のこれら四つの構成成分の割合の変化を模式図にして図17に示した。

CCの真の消化率は、ほぼ、100%で、含量と可消化含量の間に高い正の相関があり、糞中のCCは内因性および微生物態物質に由来するもので、

表 34. 草種、番草別の推定正味エネルギー(ENE)と化学成分.

草種	T D N (乾物中%)	E N E		組 成			
		増体 (kcal/gDM)	泌乳	粗蛋白質	A D F (乾物中%)	C W	
オーチャードグラス							
1 番草	穂ばらみ期	70	0.75	1.49	16	26	51
	出穂期	63	0.55	1.24	12	34	60
	開花期	54	0.33	0.95	8	40	68
	結実期	41	0.14	0.70	6	42	69
再生草	夏の前半	57	0.46	1.12	13	34	60
	夏の後半	59	0.52	1.19	16	32	58
	秋	64	0.66	1.37	15	28	51
チモシー							
1 番草	穂ばらみ期	71	0.71	1.14	14	30	57
	出穂期	64	0.51	1.18	10	37	65
	開花期	56	0.39	1.03	7	39	65
	結実期	53	0.28	0.89	6	41	70
2 番草		58	0.46	1.12	10	35	62
3 番草		64	0.61	1.31	12	31	56
ペレニアルライグラス							
1 番草	伸長期	78	0.98	1.78	16	21	38
	穂ばらみ期	76	0.94	1.74	12	22	38
	出穂期	61	0.76	1.50	8	36	60
再生草	夏の前半	63	0.63	1.33	16	30	53
	夏の後半	62	0.63	1.33	22	26	50
	秋	71	0.84	1.60	18	23	42
アルファルファ							
1 番草	伸長期	69	0.85	1.61	23	26	33
	着らい期	61	0.67	1.39	21	33	39
	開花期	57	0.58	1.27	18	38	44
	結実期	48	0.40	1.04	16	40	49
2 番草	40日以内	59	0.64	1.34	20	33	40
	41日以上	55	0.54	1.22	19	36	45
3 番草	50日以内	58	0.64	1.34	23	30	35
	51日以上	61	0.68	1.40	21	30	37
4 番草		65	0.78	1.53	25	22	29
アカクローバ							
1 番草	着蕾期	67	0.78	1.53	17	29	38
	開花期	63	0.70	1.42	16	30	41
	結実期	58	0.56	1.24	14	38	51
2 番草		54	0.49	1.16	18	34	50
3 番草		63	0.73	1.46	23	24	34
シロクローバ							
1 番草	着蕾期	71	0.90	1.68	26	24	29
	開花期	60	0.69	1.39	25	28	35
2 番草		65	0.75	1.49	22	27	37
3 番草		76	0.99	1.79	25	22	30

この乾物摂取量に対する割合は13から14%と一定していた。可消化C C含量と可消化乾物含量の間には各草種ともに有意な正の相関があった。不消化C C含量と可消化乾物含量の間にはチモシーとアカクローバで有意な相関はなかったが、他の草種と全体では有意な負の相関係数が得られた。

CWでは、生育が進むとCW含量は高くなり、その消化率は低下する。このため含量に消化率を

乗じた可消化量はあまり大きく変化せず、含量と可消化量の間には強い相関がない。生育時期や番草で若干異なるが、可消化CW含量は牧草乾物100g中、おおむね、イネ科牧草35g、マメ科牧草18g程度であった。

不消化CW含量から高い精度で可消化乾物含量が推定できた。草種が異なっても、この一次回帰式の定数項は86から94、回帰係数は1.0から1.4の

表 35. 可消化乾物量と細胞壁物質(CW), 細胞内容物(CC)の可消化含量および不消化含量との相関係数ならびに可消化乾物含量(Y)と不消化C W含量(X)の一次回帰式.

草種	n	可消化乾物量との相関係数				Y=a+bX (Y, X: g/100gDM)		
		可消化含量(g/100gDM)		不消化含量(g/100gDM)		a	b	標準誤差
		C W	C C	C W	C C			
オーチャードグラス	102	0.63**	0.86**	-0.97**	-0.35*	85.8	-1.03	2.0
チモシー	17	0.73**	0.73**	-0.99**	-0.33	88.7	-1.03	1.1
ペレニアルライグラス	17	-0.24	0.89**	-0.96**	-0.86**	93.2	-1.38	2.1
アルファルファ	57	0.13	0.81**	-0.96**	-0.42**	85.8	-1.05	1.5
アカクローバ	12	0.04	0.82**	-0.95**	-0.49	87.4	-1.07	2.1
シロクローバ	7	0.49	0.80*	-0.97**	-0.81*	89.9	-1.27	1.8
全体	212	0.14	0.58**	-0.97**	-0.43**	86.6	-1.05	1.9

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01

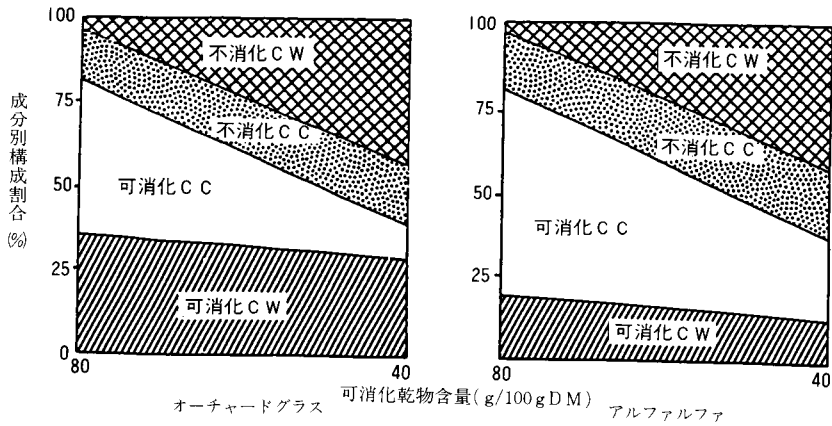


図 17. 可消化乾物含量と乾物中の細胞壁物質(CW), 細胞内容物(CC)の可消化含量および不消化含量の関係.

幅にあって、大きくは違わず、回帰式の標準誤差も1から2%と小さかった。内因性および微生物態物質に由来する物質量が乾物摂取量中13%前後あるため、乾物消化率の上限値87%前後の値から、不消化CW含量の上昇がそのまま可消化乾物含量低下の原因となった。不消化CW含量と可消化乾物含量の間には全ての草種で0.95以上の相関係数が得られた。可消化乾物含量の変動の90%は不消化CW含量で説明がついた。

これらの関係から、イネ科牧草とマメ科牧草で

若干の違いはあるが、共通して言えることは、可消化乾物含量の低下は主として牧草乾物中に占める不消化CWの割合の上昇と可消化CCの割合の低下によっている。

著者<sup>51, 58)</sup>はこの関係を図にして発表した。同様な関係についてHOLMES<sup>45)</sup>も模式図で示している。VAN SOEST<sup>133)</sup>は可消化乾物含量を可消化CCと可消化CWおよび内微量の割合から推定する式を報告している。SMITHら<sup>121, 122)</sup>はCWの可消化と不消化部分と繊維成分やリグニン含量、消化

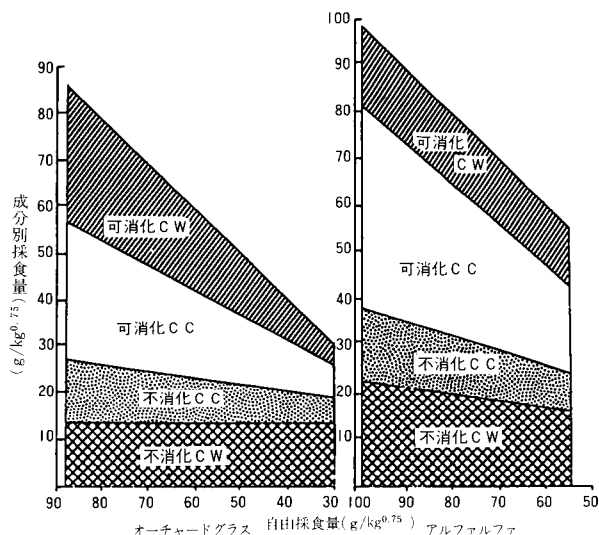


図 18. 自由採食量に占める細胞壁物質(CW), 細胞内容物(CC)の摂取可消化量および摂取不消化量の関係。

率との関係を報告している。

## 2) 中性デタージェント分画からみた自由採食量の変動

オーチャードグラスおよびアルファルファのめん羊による乾物摂取量が、それぞれ、90から30g/kg<sup>0.75</sup>, 100から55g/kg<sup>0.75</sup>の範囲内で、牧草の自由採食量を構成している可消化のCWおよびCC, ならびに、不消化のCWおよびCCの割合を模式図にして図 18 に示した。

不消化のCWとCC摂取量はCWとCC排泄量と同じ、乾物排泄量は両者の和で、可消化乾物摂取量は可消化CW摂取量と可消化CC摂取量の和である。

オーチャードグラス (102点) で、自由採食量が多くなると乾物排泄量は多くなるが、これはCC排泄量が多くなるため、CW排泄量は13g/kg<sup>0.75</sup>と一定していた。1日当たり不消化CW摂取量が13g/kg<sup>0.75</sup>に達するまでオーチャードグラスを採食できると考えた。

生育期や番草が変わっても自由採食下では、CW摂取量は34g/kg<sup>0.75</sup>前後であまり変動がなかった。自由採食量の目安としてCW摂取量が34g/kg<sup>0.75</sup>に達するまで牧草を採食することができ、CW含

有率が低い牧草ほど採食量が多い関係にある。

アルファルファ (57点) で、オーチャードグラスに比較して自由採食量とCC摂取量が高く推移し、自由採食量が多くなるとCW排泄量は多くなる傾向がみられたが、全体的な傾向はオーチャードグラスの場合と近似した。CW排泄量は18g/kg<sup>0.75</sup>であまり変動していない。また、自由採食量が変わってもCW摂取量は31g/kg<sup>0.75</sup>前後であった。

自由採食量と繊維成分とは負の、また、粗蛋白質含有率とは正の相関のあることをSOSULSKI and PATERSON<sup>123</sup>), VAN SOEST<sup>134</sup>) が報告している。

繊維質成分の含有率と粗飼料の採食量の間には負の関係があることはBALCH and CAMPLING<sup>8</sup>), CRAMPTON<sup>28</sup>), VAN SOEST<sup>139, 145</sup>) が報告している。BARNES and MARTEN<sup>10</sup>) はイネ科、マメ科牧草ともにCW含有率が自由採食量を予測するのに適すると述べている。WALDO and JORGENSEN<sup>146</sup>) はCW含有率や不消化CW含量と採食量の関係を調べ、イネ科、マメ科牧草ともにCWの重要性を述べている。VAN SOEST<sup>143</sup>) は牧草のCW含有率は採食量と密接に関係すると報告している。JONES and BAILEY<sup>60</sup>) は酵素で加水分解されないCW含有率と自由採食量の間には負の相関のあることを



報告している。

MERTENS<sup>71)</sup>はCW含有率が自由採食量と関係する要因として、第一は飼料のかさや一定容積を占有する割合と関係がある。第二は消化管内での消化速度、通過速度が他の飼料成分より小さいこと。第三は反芻胃から流失に必要なパーティクル・サイズへ植物体が小さくなる割合と関係しているためと説明している。

リグニン含有率と自由採食量との負の相関はALLINSON and OSBOURN<sup>5)</sup>, ELY<sup>34)</sup>, INGALLS<sup>49)</sup>, VAN SOEST<sup>135)</sup>が報告している。

VAN SOEST<sup>134)</sup>はアルファルファでは化学成分の含有率や消化率と自由採食量の間には強い関係のないことを報告している。ALLINSON and OSBOURN<sup>5)</sup>, BARNES<sup>9)</sup>, EVANS and POTTER<sup>35)</sup>, JONES and WALTERS<sup>61)</sup>, TROELSEN and CAMP-BELL<sup>129)</sup>はアルファルファをも含めて同一草種、同一一番草内での生育に伴う推移では化学成分の含有率および消化率と自由採食量の間には有意な相関のあることを報告している。

飼料全般について、CRAMPTON<sup>28)</sup>, CRAMPTON<sup>ら<sup>29)</sup></sup>, FREER and CAMPLING<sup>36)</sup>, OSBOURN<sup>ら<sup>98)</sup></sup>も採食量と消化率あるいは可消化養分含量との間に正の相関を報告している。消化率と採食量の関係で、CONRAD<sup>25)</sup>は乾物消化率が52から80%の範

囲で泌乳牛が飼料(ration)を採食している場合、採食量を規制する要因が変化する変換点は乾物消化率67%付近にあつて、それ以下では消化管内通過速度と消化管内不消化物の量が、それ以上では他の生理的状態がその要因になると述べている。

CONRAD<sup>ら<sup>25)</sup></sup>は搾乳牛で乾物消化率が52から67%の範囲の飼料で、乾物摂取量(I:1H当たりの飼料摂取量,単位:ポンド)は $I = (W/1000) \times (10.7/F)$  W:体重, F:乾物の不消化率 の関係にあることを報告している。この式で乾物の排泄量は体重の1.07%に相当している。

NRCの家畜の飼料摂取量の推定についての報告書<sup>90)</sup>のなかの乳牛で、CONRAD<sup>25)</sup>の $DMI = 5.4 W/500 (1 - dE)$ , DMI:乾物摂取量(kg/1日), W:体重kg, dE:エネルギーの消化率 を紹介している。この関係は乾物排泄量を $体重 \times 1.07\%$ から求め、これをエネルギーの不消化率で除した値は、乾物摂取量に相当することを示している。

CONRAD<sup>ら<sup>24)</sup></sup>は粗飼料と濃厚飼料が組み合わされた一日の全給与飼料について求めた成績で、粗飼料が単一給与された場合と比較はできないが、牧草が単一給与された場合でも採食量、排糞量、消化率の間には同様な関係があり、採食量と消化率の関係で極端な変曲点はないと思われた。

## VI 総括および結論

### 1. 牧草の生育と生育時期別栄養価および自由採食量の関係

春から秋までの生育期間をいくつかに分けて調べると、イネ科牧草、マメ科牧草ともに生育日数と化学組成、消化率、栄養価等との関係が季節によって異なり、また、化学成分と消化率および栄養価との関係も季節によって異なることが分かった。このことは、牧草の生育に伴う植物体自体の生理生態的な変化が季節によって違うことが大きく関与していると考えられる。平島<sup>41)</sup>の牧草の器官別生育の季節的推移の模式図中へ可消化CWおよび可消化CC含有率の推移を記し、図19に示した。物質生産の側からみた牧草の生育パターンに本実験から得た飼料としての質的变化とあわせて関係をみた。

#### (1) オーチャードグラス

春の1番草：若干の新分げつの発生が見られるが、幼穂が形成され、節間伸長期に入るとほとんど分げつの発生は見られない。節間伸長期から出穂期にかけては、物質生産が年間で最もさかに行われ、収量は急速に増大する。この時期、ALBERSHEIM<sup>4)</sup>が報告したように主として茎で細胞壁は細胞の内容をそこなわずに伸長し、セルロースの量が増大する。生育が進むにつれ、CW含有率は他の季節より早い速度で上昇し、CWの消化率の低下速度も他の季節の牧草より早い。可消化CWのエネルギー値は可消化CCのそれより高い値を示す。その他の成分についても出穂期までは含有率や消化率の変化が大きい。その後、開花、結実へ向けて直線的に不消化CW含有率は高くなり、栄養価は低下する。この季節の消化率、栄養価、自由採食量、NVIの低下の速度は速いが、これらの潜在値は他の季節に生育する牧草より高く、これらの値の比較的高い時期が生育の初期の節間伸長期に存在した。

夏の前半：1番草刈取り後の再生草では、生長点が切除された分げつ茎は枯死し、代わって後発

分げつ茎を主体とした栄養生長となる。しかし、夏期間の高温時には新分げつの発生は少ない。切断された葉がそのままの形で伸びる現象が見られる。CWおよびADL含有率の潜在値が年間で最も高く、CWの含有率の上昇速度や消化率の低下速度は1番草の半分以下と遅く、もともと古い植

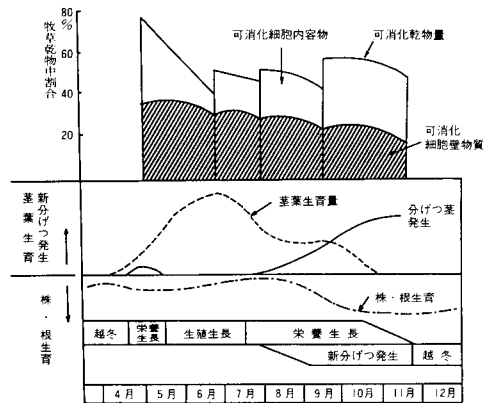


図19. 牧草の器官別生育量と可消化含量の季節的推移 (模式図)。

物組織がそのまま伸長していると考えられた。この時期、CWの排泄量は年間で最も多く、潜在的栄養価も低い。

夏の後半：新分げつの発生がしだいに旺盛となる。DCP以外の栄養価や可消化CW含有率は生育日数との間には山なりの変化をする関係が示された。これは貯蔵養分を蓄積以上に再生のために消費するため初期には貯蔵炭水化物のような消化率の高い成分が一時的に減少するためでないかと考えた。高温時の再生草で可消化CCのエネルギー値は低いことが推定された。

秋：短日低温となり、茎葉の生育が鈍化し、主としてCCからなる貯蔵養分を貯える。可消化CC含有率が年間で最も高く、残余炭水化物の含有率も高い。再生草で最も低い不消化CW含有率の潜在値を示す。消化率、栄養価の潜在値は春の1番草について高く、生育にともなうNVIの低下の速

度は年間で最も遅かった。

この様に、牧草が生育する季節によって飼料としてみた場合、その乾物を構成している栄養的な中身が異なり、生育にともなうそれらの変化の速度も違うことが明らかになった。

著者が慣行法で行った生草や牧乾草の消化試験の成績<sup>50, 52, 53, 54</sup>からも同様な結果が得られた。

## (2) アルファルファ

マメ科牧草で、図19に示した生育の季節的推移とは、分けつの発生や各番草とも開花を伴うことなど同一ではないが、茎葉や株・根の生育量の関係は同様と考えられる。

春の1番草：生育が旺盛で、一般的な収穫適期とされている開花期では、年間の乾物生産量の5割以上に達する。この間、ヘミセルロースを除く他の繊維成分やリグニンの含有率の上昇速度は、他の生育季節の牧草より速く、生育に伴う不消化CW含有率の上昇が大きく、可消化CC含有率は低下した。栄養価の低下速度も速かった。

夏：他の季節と比較して、化学成分の含有率や消化率の変化の速度は遅いが、自由採食量の低下の速度がきわだって速かった。このためNVIの低下速度も速かった。また、栄養価の潜在値はイネ科牧草と同様に低かった。

1番草刈取り後40日目程度で開花期に達することから想像して、植物体の老化の進みが速く、消化率や栄養価の値が低いことと関係しているのかもしれない。

秋：3, 4番草では50日程度までは生育に伴って可消化CW含有率は高くなり、生育日数と栄養価の間に50日前後に変曲点のある凸型の2次回帰式があてはまった。再生草の可消化乾物含量の生育に伴う推移は、オーチャードグラスの夏の後半や秋の牧草と同様、アルファルファの3, 4番草でもわずかながら可消化含量が高くなり、その後、低下する上に凸な曲線的变化が見られた。すでにこの時期まで2, 3回の刈取りがなされ、同化器官が利用されており、低温、短日に向かい、茎葉の生育が鈍化する時期にあたる。新生葉が伸長して同化作用が活発に行われるまでに時間を要し、貯蔵養分の転流も少なく、CC含有率が低く、CWの

消化率の低下もゆるやかであった。このため、凸型の曲線的な推移が見られたと考えた。

## (3) 2番草で代表される夏期間の再生草の低エネルギーについて

“夏に放牧していると乳量の変動が大きく、乳量が低下する場合もあり、また、肉牛では増体がにぶる”と話される畜産農家の方々がいる。そして、“夏の草や2番乾草には力がない”という言葉でこれを表現している。

本実験から、夏期間に再生した牧草は、イネ科、マメ科牧草ともに春や秋の牧草と比較してTDN、DEや推定NEの含量が低かった。夏期間の再生草で他の生育季節の草と比較した特徴的な事項を記すと

- ・CW含有率には大差はないがリグニン含有率が高い。
- ・可溶性炭水化物やその他の溶解性の高い成分の含有率が低い。
- ・CWの消化率が低い。
- ・CCの消化率が低い。
- ・不消化CW含有率が高い。
- ・かさの割に重量がない(密度が低い)<sup>55</sup>。
- ・DEに対する可消化CWの相対重要度が高い。

さらに、粗蛋白質以外の消化率や栄養価の潜在値自体が他の季節の牧草より低いため、刈取り間隔を狭めても、もともとの値が低いことから、高いエネルギーの牧草を得ることは難しいことが分かった。

しかし、粗蛋白質とDCP含有率の潜在値は他の生育季節の牧草と大差はなく、1番草より低下の速度は遅いといった利点もあり、イネ科牧草でも高蛋白質飼料としての有効利用は充分可能と考える。

## 2. 高品質牧草生産のための刈取りスケジュール

刈取りスケジュール (cutting schedules), この言葉には牧草の収量, 品質, 永続性等を考慮し, 1年間の収穫をいつどのような刈取り間隔で行うの

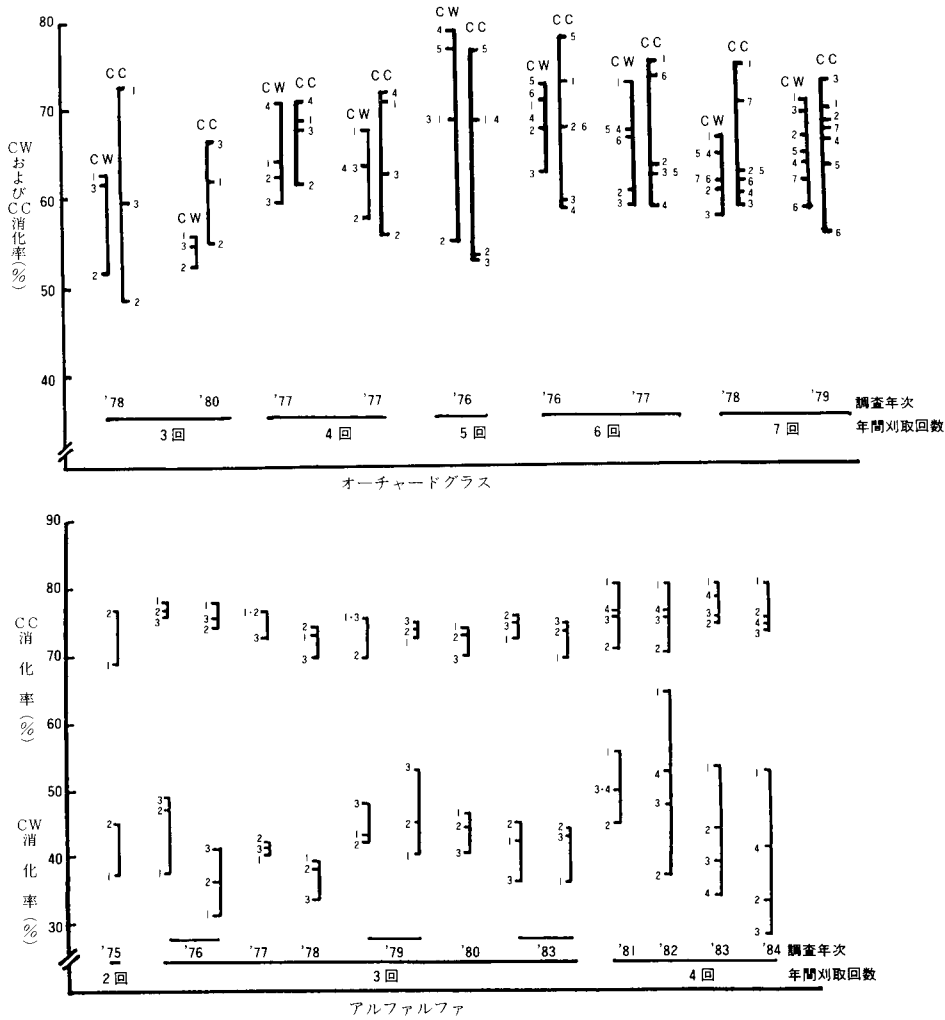


図 20. 年間の刈取回数と番草別の細胞壁物質(CW)および細胞内容物(CC)の消化率。

が適切かという意図が含まれている。

年間の刈取回数と消化率、自由採食量およびDE摂取量との関係をまとめると、オーチャードグラスで年間3から7回、アルファルファで年間2から4回収穫した場合の各番草ごとのCW、CCの消化率を図20に示した。

年間の刈取回数が多くなっても、CWおよびCC消化率は両草種とも明らかに高くなるという傾向は見られなかった。オーチャードグラスで、3から5回刈りでは2番草のCW消化率が低く、6から7回刈りでは3番草が低い傾向にあった。アルファルファの4回刈りでは1番草の刈取りが早

い生育期で行われたことから、再生草のCW消化率が1番草より低かった。しかし、3回刈りでは1番草が開花期を目途に刈取ったことも関係して、CWの消化率は1番草がおおむね再生草より低かった。

このときの自由採食量の番草別の変動を図21に示した。

年間の刈取回数が多くなると自由採食量は増大し、2番草の自由採食量は少ない傾向がみられたが、番草間および年次間の変動は大きかった。

番草別のDE摂取量を図22に示した。

イネ科牧草では年間5から7回刈取った場合で

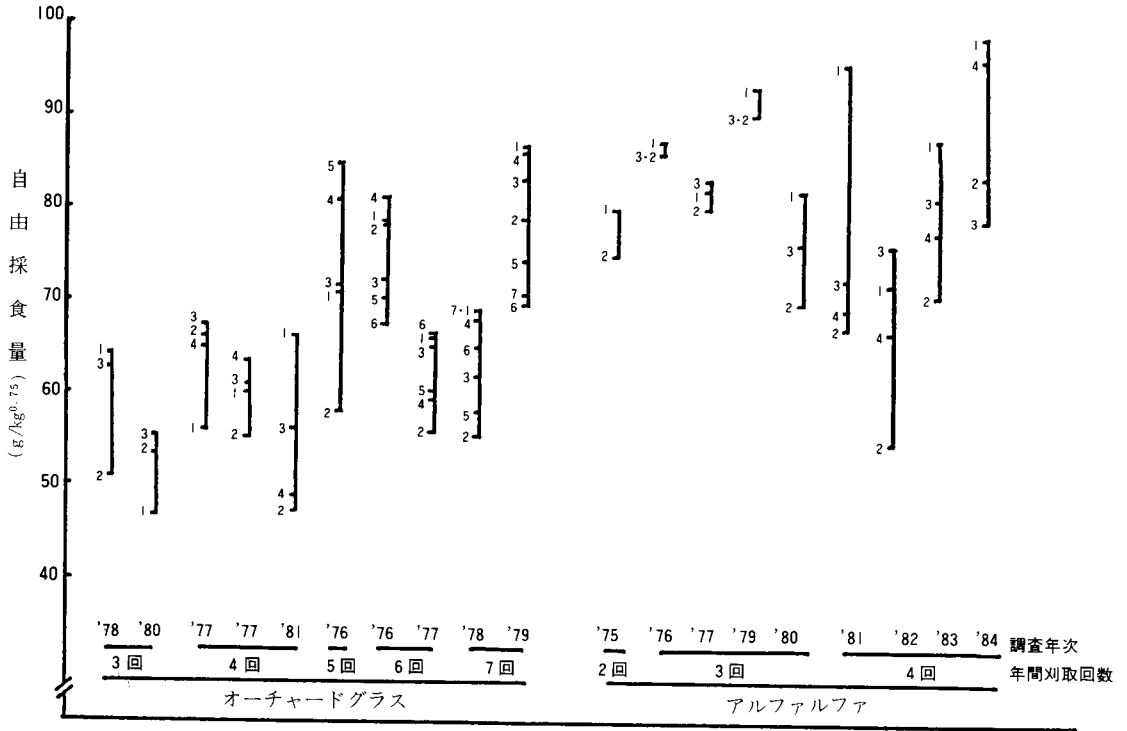


図 21. 年間の刈取回数と番草別の自由採食量。

もDE摂取量は大きく変動した。前述したように夏の暑い季節に再生する牧草では、オーチャードグラスがペレニアルライグラスより優れた。アルファルファの1番草の早刈りは摂取量が高いこともあって、年間4回刈りでの番草間の変動は大きかったが、年間3回刈りでもイネ科牧草の多回刈りにと同等のDE摂取量を示した。

このように番草間で消化率、自由採食量が大きく変動するためDE摂取量の変動も大きく、多回刈りによって高品質の牧草が得られるとはかぎらないことが分かった。

牧草の年間の利用を考える場合、最終の刈取りをいつ行うかは、持続性の維持の点で最も重要である。すなわち、秋の短日低温条件になると、越冬に備えて貯蔵養分を蓄積し、また、浸透圧を高めるなどの生理生態的諸現象がみれるが、この期間に刈取ると再生を促し、これが越冬体制への移行を停止、さらに逆戻りさせ、アルファルファの

耐寒性ないし越冬を減少させるものであると片岡<sup>64)</sup>は解説している。同様な現象をオーチャードグラスについて坂本<sup>111)</sup>が報告している。渡辺<sup>148)</sup>も秋の牧草の刈取りと翌年の収量の関係を紹介している。

秋に生育する牧草の潜在的な栄養価は高く、生育に伴う低下の度合いも小さいため、刈取り間隔が長くなっても栄養価の低下は少ない。牧草の持続性を考慮して、秋の最終刈取りを十分長い生育期間をとった後に行っても飼料としての質的低下は少ない。

さらに刈取りスケジュールで考慮しなければならないのは、収量や経年推移との関係である。

オーチャードグラス(キタミドリ)で造成2年目から8年間、同一圃場から収穫を続け年間3から7回刈取る刈取りスケジュールで収穫した場合のTDNとDCPの収量を図23に示した。

年間のDCPとTDN収量を乾物収量で割って求

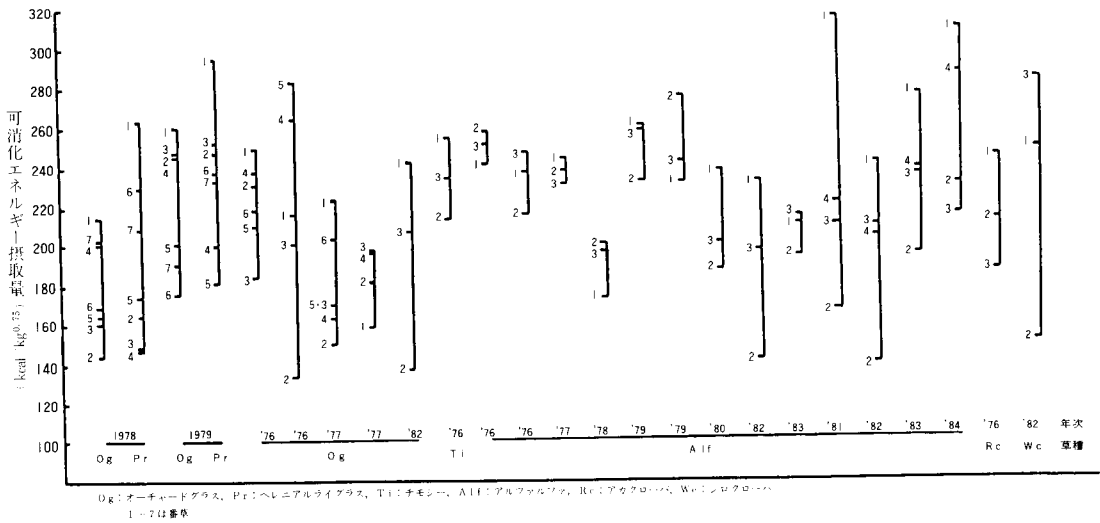


図 22. 番草別の可消化エネルギー摂取量.

めたDCPとTDNの加重平均含有率は、それぞれ、年間3回刈りで7～8%，54～57%，4回刈り6～7%，58～59%，5回刈り10%，63%，6回刈り12～13%，64～66%，7回刈り11～14%，62～64%であった。多回刈りでDCPとTDNの加重平均含有率は高くなった。

年次によって刈取りスケジュールがまちまちで、経年化に伴う変化を的確には検討できなかったが、表2に示したように年次ごとの消化率や栄養価の動きからみて、草地の造成後の経過年次が進んでも、牧草の消化率や栄養価には大きな変化がないと考えられた。

アルファルファ（サラナック）で造成年は年間2回、その後は主として3回刈取りを行う刈取りスケジュールで10年間調べた栄養価収量を図24に示した。

DCP収量は2年目が多収で約160kg/10aであったが、10年目には70kg/10aとなった。TDN収量は2年目から4年目までが最大で、約600kg/10aあり、その後、低下し10年目には約300kg/10aとなった。DCPとTDNの加重平均含有率は年間3回刈りで、それぞれ、15%、58%、4回刈りで18%、62%であった。

草地の経年化で、牧草は茎が細く、ひ弱な外観

を呈したが、草地造成後2、3年目の牧草と比較して栄養価の低下はみられなかった。また、図21に示したように自由採食量も経年的に低下するといった傾向は全くみられなかった。

各番草をいつ刈取るかは、牧草に要求される品質によって異なる。ここでは粗蛋白質含有率、TDN含有率およびDE摂取量での基準値を設定した。英国で用いられているD-value63と乾物中粗蛋白質含有率13%を用いた<sup>89)</sup>。D-valueは可消化有機物含有率(DOM)で  $TDN = DOM + 1.25 \times \text{可消化粗脂肪}$  の関係にあるので、ここではこの値より若干高いTDN65%を基準値とした。DE摂取量の基準値としてめん羊の体重の維持量の2倍に相当する200kcal/kg<sup>0.75</sup>とした。

これらの基準値以上の牧草を収穫するための刈取りスケジュールを以下に示した。

粗蛋白質含有率 13%（乾物中）以上の牧草を得るための刈取りスケジュール

春	
オーチャードグラス	6月2日以前
チモシー	6月5日以前
ペレニアルライグラス	6月5日以前
アルファルファ	7月15日以前

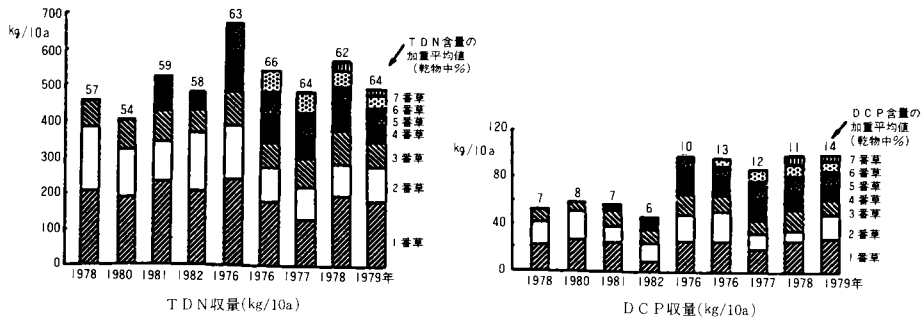


図 23. オーチャードグラスの刈取りスケジュールと栄養収量.

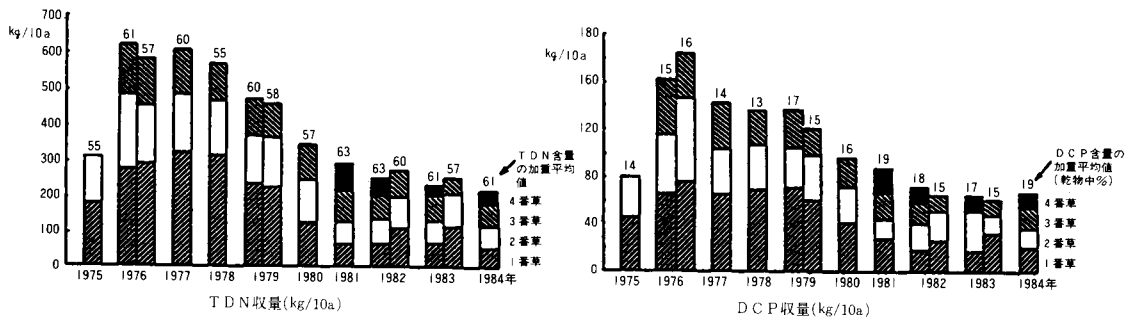


図 24. アルファルファの栄養収量と栄養価の経年変化.

アカクローバ	7月22日以前	チモシー	6月16日以前
	夏	ペレニアルライグラス	6月27日以前
オーチャードグラス	40~60日間隔	アルファルファ	6月11日以前
チモシー	検討不十分	アカクローバ	6月25日以前
ペレニアルライグラス	40日間隔		夏
アルファルファ	いつでも可能	オーチャードグラス	採草利用無理
アカクローバ	いつでも可能	チモシー	採草利用無理
	秋	ペレニアルライグラス	採草利用無理
オーチャードグラス	77日間隔	アルファルファ	採草利用無理
チモシー	検討不十分	アカクローバ	採草利用無理
ペレニアルライグラス	50日間隔		秋
アルファルファ	いつでも可能	オーチャードグラス	54日間隔以内
アカクローバ	いつでも可能	チモシー	53日間隔以内
	春	ペレニアルライグラス	55日間隔以内
オーチャードグラス	6月6日以前	アルファルファ	4番草では可能
		アカクローバ	40日間隔以内

T D N含有率65% (乾物中) 以上の牧草を得るための刈取りスケジュール

D E摂取量200kcal/kg<sup>0.75</sup>以上の牧草を得る

## ための刈取りスケジュール

春	
オーチャードグラス	6月5日以前
チモシー	6月12日以前
ペレニアルライグラス	6月20日以前
アルファルファ	7月4日以前
アカクローバ	7月9日以前

## 夏

オーチャードグラス	20日間隔以内
チモシー	31日間隔以内
ペレニアルライグラ	31日間隔以内
アルファルファ	47日間隔以内
アカクローバ	50日間隔以内

## 秋

オーチャードグラス	48日間隔以内
チモシー	50日間隔以内

ペレニアルライグラス	50日間隔以内
アルファルファ	いつでも可能
アカクローバ	50日間隔以内

なお、春は1番草、夏は7、8、9月中旬までの再生草、秋は9月下旬以降の再生草とした。また、これは空知地方に適応し、気象条件を加味しておおよそ道央地域における目安と考える。

夏の再生草では高エネルギーの牧草の収穫は困難であったが、高蛋白質の牧草の収穫は可能であった。ここで示した三つの基準値をすべて満足させる刈取りスケジュールは得られないことが分かった。

生育季節による牧草の飼料としての質的な違いと生育に伴う変化の速度の違いを考慮した年間の利用を行うことが合理的と考えた。



## VII 要 約

北海道で栽培利用されている主要な牧草について、慣行の消化試験方法とは異なり、めん羊に自由採食させた消化試験を行い、生育時期別の消化率および採食量を調べた。また、これらの成績を基にデタージェント分析法による分画から栄養価や採食量の変動要因を検討し、牧草の合理的な利用技術を検索した。

1. オーチャードグラス、チモシー、ペレニアルライグラス、アルファルファ、アカクロバおよびシロクロバの6草種について、春の1番草では生育期別に、その後の再生草では夏から秋までの生育季節別に、また、草地の造成年からオーチャードグラスでは9年間、アルファルファでは10年間の化学成分の含有率、消化率、栄養価、推定NE、自由採食量、NVI等を示した。

2. 春の1番草では、刈取の暦日との関係から、消化率、栄養価、自由採食量、可消化エネルギー摂取量の低下の速度には草種間に大きな違いはなかったが、潜在的なこれらの値には大きな違いがあった。乾物中TDN含有率の1日当たりの低下は各草種共に約0.5%であった。生育の進行に伴い自由採食量も大きく低下するため、NVIやDE摂取量の低下度合は更に大きくなった。

3. 夏期間に再生する牧草では、粗蛋白質以外の成分の消化率およびTDN、DE含量の潜在値が低く、TDN65%以上の牧草の収穫は困難であった。

アルファルファの2番草の自由採食量の低下速度は年間で最も速かった。

4. 秋の再生草はCC含有率が高く、その消化率、可消化含量も高く、他の成分の消化率も高く、栄養価が優れていた。また、それらの低下の速度は年間で最も遅かった。

5. 生育季節で見ると、イネ科牧草、マメ科牧草ともに、TDNおよびDE含量は春から夏にかけて低下し、秋には高くなる凹型の変化をした。

6. オーチャードグラスおよびアルファルファの草地を経年的に調べたが、9から10年を経ても、

生産された牧草の栄養価や自由採食量には変化が少なかった。

7. オーチャードグラスで年間3, 4, 5, 6, 7回刈取りでTDN収量を乾物収量で除して求めた乾物中TDN含有率は、それぞれ、57, 59, 63, 64, 64%で、また、同様にして求めた乾物中DCP含有率は、それぞれ、8, 7, 10, 13, 14%であった。

アルファルファで年間3, 4回刈取った場合は、同様にTDN含有率は、58, 62%, DCP含有率は15, 18%であった。

8. オーチャードグラス、ペレニアルライグラスで年間7番草まで収穫した場合でも、番草間の乾物、CW、CCの消化率、DE摂取量ともに変動が大きく、多回刈りを行っても高カロリーの牧草を安定的に収穫することは困難であった。

9. 牧草の蛋白質含有率を乾物中13%、TDN含有率を乾物中65%およびめん羊のDE摂取量を200 kcal/kg<sup>0.75</sup>と、それぞれ、設定した基準値を充足させるための刈取りスケジュールを提示した。しかし、春から秋までこの三つの条件を全て満たす刈取りスケジュールの設定は困難なことが分かった。

夏の再生草では高エネルギーの牧草の収穫は困難であるが、高蛋白質の牧草の収穫は可能であった。生育季節による牧草の飼料としての質的な違いを考慮した年間の利用を行うことが重要なことを明らかにした。

10. 各草種の生育時期の違いによる可消化乾物含量の差は牧草中の不消化CW含有率の多少によるもので、この含有率で可消化乾物含量の変動の90%が説明できた。

オーチャードグラスおよびアルファルファともに自由採食量とCW排泄量の間には強い相関がなく、牧草の生育時期が変わって自由採食量に変化しても1日当たりのCW排泄量は、それぞれ、13, 17g/kg<sup>0.75</sup>とほぼ一定していた。この量を牧草中の不消化CW含有率で除すと自由採食量に近似した。

両草種ともに生育時期が変わっても1日当たりのCW摂取量は $32\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ 前後でほぼ一定していた。1日当たり $32\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ 前後のCW摂取量になるまでめん羊は牧草を摂取することが可能で、CW含有率の低い牧草ほど自由採食量は多くなった。

このように牧草中の不消化CWは消化率や自由採食量を規制する最も重要な成分であることを明らかにした。

11. オーチャードグラス、アルファルファともに夏の再生草で可消化C Cのエネルギー含量が低

下し、DE含量に対して可消化CWの相対重要度が高くなった。また、これら草種について、自由採食量が変わっても乾物排泄量はほぼ一定し、乾物排泄量の平均はオーチャードグラス22.3、アルファルファ $29.8\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ であった。この値を用いて、自由採食量(VI: $\text{g}/\text{kg}^{0.75}$ )からDE摂取量(DEI: $\text{kcal}/\text{kg}^{0.75}$ )が高い精度で推定できる簡単な式を以下に示した。

オーチャードグラス：DEI=4.31 (VI-22.3)

アルファルファ：DEI=4.45 (VI-29.8)

## 謝 辞

本研究の取りまとめにあたり、北海道大学農学部教授朝日田康司博士に終始懇切なるご指導、ご助言をいただき、更に、本稿のご校閲を賜わった。また、北海道大学農学部教授上山英一博士並びに同助教授大久保正彦博士には本稿のご校閲をいただき、ご懇篤なご助言をいただいた。更に、元北海道立滝川畜産試験場長奥村純一博士には、とりまとめの機会と終始ご激励をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

本研究は昭和50年から昭和60年にわたり、北海道立滝川畜産試験場において行った研究成果を取りまとめたものである。この間、ご指導とご協力をいただいた元北海道立滝川畜産試験場長高倉正臣氏、同平沢一志氏、同渡辺 寛氏、同元研究部

長谷口隆一氏、同佐野信一氏、同和泉康史博士(現北海道立滝川畜産試験場長)、同元管理科長故匂坂昭吾氏、同元草地飼料作物科職員沢田嘉昭氏(現北海道立新得畜産試験場草地飼料作物科長)、同永井秀雄氏(現北海道立中央農業試験場管理科長)、同伊藤憲治氏、同小原 勉氏、同前田善夫氏、元同科職員で試験圃場と消化試験の家畜の管理をしていただいた志釜政男氏、高橋春男氏、中川正人氏、試料の分析に協力いただいた羽根田信子氏に深甚なる感謝の意を表する。

農林水産省畜産試験場栄養部飼料鑑定研究室元室長堀井 聰氏、同阿部 亮博士には分析手法ならびに研究の遂行に種々のご助言をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

## 引用文献

- 1) 阿部 亮 (1980) 飼料の炭水化物成分の表現方法と牛用飼料の簡易栄養価評価法. 日畜会報, 51, 687-695.
- 2) Agricultural Research Council (1965) The Nutrient Requirements of Farm Livestock, No.2, Ruminants. London.
- 3) AKIN, D. E. (1979) Microscopic evaluation of forage digestion by rumen microorganisms—A REVIEW. J. Animal Sci., 48, 701-710.
- 4) ALBERSHEIM, P (1975) 成長する植物の細胞壁の特性. サイエンス, 6, 81-93. (Scientific American, 232, 80)
- 5) ALLISON, D. W. and D. F. OSBORN (1970) The cellulose-lignin complex in forages and its relationship to forage nutritive value. J. agric. Sci., Camb. 74, 23-36.
- 6) ARROYO-AGUILU, JOSE A. and J. L. EVANS (1972) Nutrient digestibility of low-fiber rations in the ruminant animal. J. Dairy Sci., 55, 1266-1274.
- 7) BAILEY, R. W. (1973) Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 1, 157-211. Academic Press. London and New York.
- 8) BALCH, C. C. and R. C. CAMPLING (1962) Regulation of voluntary food intake in ruminants. Nutrition Abstracts and Reviews, 32, 669-686.
- 9) BARNES, R. F. (1973) Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 2, 179-214. Academic Press. London and New York.
- 10) BARNES, R. F. and G. C. MARTEN (1979) Recent developments in predicting forage quality. J. Animal Sci., 48, 1554-1561.
- 11) BLAND, B. F. and J. W. DENT (1964) Animal preference in relation to the chemical composition and digestibility of varieties of cocksfoot. J. Bri. Grassld Soc., 19, 306-315.
- 12) BLAXTER, K. L. and H. H. MITCHELL (1948) The factorization of the protein requirements of ruminants and the protein values of feeds with particular reference to the significance of the metabolic fecal nitrogen. J. Animal Sci., 7, 351-372.
- 13) BLAXTER, K. L., N. MCC. GRAHAM and F. W. WAINMAN (1956) Some observations on the digestibility of food by sheep, and related problems. Br. J. Nutr., 10, 69-91.
- 14) BLAXTER, K. L., F. W. WAINMAN and R. S. WILSON (1961) The regulation of food intake by sheep. Anim. Prod., 3, 51-61.
- 15) BROWN, L. D. (1966) Influence of intake on feed utilization. J. Dairy Sci., 49, 223-229.
- 16) BUCKNER R. C. and P. BURRUS (1962) Comparison of techniques for evaluating palatability differences among tall fescue strains. Crop Sci., 2, 55-57.
- 17) BURNES, J. C. (1978) Antiquality factors as related to forage quality. J. Dairy Sci., 61, 1809-1820.
- 18) CAMPLING, R. C. and C. C. BALCH (1961) Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 1. Preliminary observations on the effect, on the voluntary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. Brit. J.

- Nutr., 15, 523-530.
- 19) CAMPLING, R. C. (1964) Factors affecting the voluntary intake of grass. *J. Bri. Grsaald. Soc.*, 19, 110-118.
  - 20) CAMPLING, R. C. (1970) Physical regulation of voluntary intake. *Proceedings of the third international symposium. Cambridge, England, August, 1969. (Physiology of digestion and metabolism in the ruminant)*
  - 21) CHATTERTON, N. J. and J. B. POWELL (1974) Stomatal guard cell integrity and resistance to rumen fluid digestion. *Agron. J.*, 66, 812-814
  - 22) COLBURN, M. W. and J. L. EVANS (1967) Chemical composition of the cell wall constituent and acid detergent fiber fractions of forages. *J. Dairy Sci.*, 50, 1130-1135.
  - 23) COLBURN, M. W., J. L. EVANS and C. H. RAMAGE (1968) Apparent and true digestibility of forage nutrients by ruminant animals. *J. Dairy Sci.*, 51, 1450-1457.
  - 24) CONRAD, H. R., A. D. PRATT, and J. W. HIBBS (1964) Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.*, 47, 54-62
  - 25) CONRAD, H. R. (1966) Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *J. Animal Sci.*, 25, 227-235.
  - 26) CONRAD, H. R., W. P. WEISS, W. O. ODWONGO, and W. L. SHOCKEY (1984) Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *J. Dairy Sci.*, 67, 427-436.
  - 27) COOPER, J. P., J. M. A. TILLEY, W. F. RAYMON and R. A. TERRY (1962) Selection for digestibility in herbage grasses. *Nature* 195, 1276-1277.
  - 28) CRAMPTON, E. W. (1957) Interrelations between digestible nutrient and energy content, voluntary dry matter intake, and the overall feeding value of forages. *J. Animal Sci.*, 16, 546-552.
  - 29) CRAMPTON, E. W., E. DONEFER and L. E. LLOYD (1960) A nutritive value index for forages. *J. Animal Sci.*, 19, 538-544.
  - 30) CRAMPTON, E. W., E. DONEFER and L. E. LLOYD (1962) Caloric equivalent of the nutritive value index. *J. Animal Sci.* 21, 628-632.
  - 31) DEMARQUILLY, C., J. M. BOISSAU and G. CUYLLE (1966) Factors affecting the voluntary intake of green forage by sheep. *Proc. 9th Int. Grassld. Congr. Brazil*, 877-885.
  - 32) DONEFER, E., E. W. CRAMPTON, E. W. and L. E. LLOYD (1960) Prediction of the nutritive value index of a forage from in vitro rumen fermentation data. *J. Animal Sci.*, 19, 545-552.
  - 33) ECKLES, C. H. and O. E. REED (1910) A study of the cause of wide variation in milk production by cows. *Mo. Agr. Exp. Sta. Bul.*, 2.
  - 34) ELY, R. E., E. A. KANE, W. C. JACOBSON and L. A. MOORE (1953) Studies on the composition of lignin isolated from orchardgrass hay cut at four stages of maturity and from corresponding faeces. *J. Dairy Sci.*, 36, 346-355.

- 35) EVANS, E. M. and J. F. POTTER (1984) The reproductibility of in vivo estimates of digestibility and voluntary digestible organic matter intake of grass varieties by sheep. *Grass and Forage Sci.*, 39, 101-106.
- 36) FREER, M. and R. C. CAMPLING (1963) Factors affecting the voluntary intake of feed, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract with diets of hay, dried grass or concentrates. *Brit. J. Nutr.*, 17, 79-88.
- 37) GAILLARD, B. (1976) Carbohydrate research in plants and animals. *Miscellaneous papers*, 12, 1-145. Landbouwhogeschool Wageningen-The Netherlands.
- 38) GLOVER, J., D. W. DUTHIE and M. H. FRENCH (1957) The apparent digestibility of crude protein by ruminant. A synthesis of the results of digestibility trials with herbage and mixed feeds. *J. Agric. Sci.*, 48, 373-378.
- 39) GOERING, H. K. and P. J. VAN SOEST (1970) Forage fiber analysis. *Agricultural Handbook No. 379*. Agricultural Research Service, USDA, Washington, DC.
- 40) HACKER, J. B. and D. J. MINSON (1981) The digestibility of plant parts. *Herbage Abstracts*, 51, 459-482.
- 41) HARKESS, R. D. (1963) Studies in herbage digestibility. *J. Bri. Grassld Soc.*, 18, 62-68.
- 42) HARRIS, L. A., L. C. KEARL and P. V. FONNESBECK (1972) Use of regression equations in predicting availability of energy and protein. *J. Animal Sci.*, 35, 658-680.
- 43) 左 久 (1979) 反芻動物の採食行動と第一胃内容物の動態. *日畜会報*, 50, 835-844
- 44) 平島利昭 (1978) 牧草. p84. 北農会. 札幌.
- 45) HOLMES, W. (1980) *Grass its Production and Utilization*. Chapter 3, 70-124. Backwell Scientific Publications, London.
- 46) 堀井 聰・阿部 亮 (1972) 粗飼料の細胞膜構成物質に関する研究. III. Acid Detergentの粗飼料に及ぼす影響について. *畜産試験場研究報告*, 25, 63-68.
- 47) HOLTER, J. A. and J. T. REID (1959) Relationship between concentrations of crude protein and apparently digestible protein in forages. *J. Animal Sci.*, 18, 1339-1349.
- 48) INGALLS, J. R., J. W. THOMAS, E. J. BENNE and M. TESAR (1965) Comparative response of wether lambs to several cuttings of alfalfa, birdsfoot trefoil, bromegrass and reed canarygrass. *J. Animal Sci.*, 24, 1159-1164.
- 49) INGALLS, J. R., J. W. THOMAS, M. TESAR and D. L. CARPENTER (1966) Relations between ad libitum intake of several forage species and gut fill. *J. Animal Sci.*, 25, 283-289.
- 50) 石栗敏機 (1972) 同一採草地から調製した1, 2, および, 3番草オーチャードグラスとオーチャードグラス主体混播牧乾草の飼料価値について. *日草誌*, 18, 252-259.
- 51) 石栗敏機 (1974) 中性デタージェント法によるイネ科牧草の乾物分画と消化率. *日草誌*, 20, 189-192.
- 52) 石栗敏機 (1975) 刈取回数および間隔の違いが寒地型イネ科牧草のDCPとTDNの含量および生産量におよぼす影響. *日草誌*, 21, 154-158.
- 53) 石栗敏機 (1976) 十勝地方における寒地型

- イネ科牧草の季節別の栄養価, 日草誌, 22, 65-69.
- 54) 石栗敏機 (1977) 寒地型イネ科牧草の季節別の化学成分と消化率および栄養価の関係, 日草誌, 23, 247-251.
- 55) 石栗敏機 (1978) 空知地方における寒地型イネ科牧草の季節別の栄養価および牧草と糞の密度との関連について, 日草誌, 23, 342-347.
- 56) 石栗敏機 (1979) オーチャードグラスのめん羊による採食量と飼料価値, 日草誌, 25, 150-155.
- 57) 石栗敏機 (1980) アルファルファのめん羊による採食量と飼料価値, 日草誌, 26, 324-329.
- 58) ISHIGURI, T. (1985) Evaluation of orchardgrass and alfalfa for its nutritive value and voluntary intake by neutral detergent analysis, Proc. 15th Int. Grassld. Congr. Japan, 1059-1061.
- 59) 市村 潤・酒井慶一 (1981) 予測のための BASIC. ナカニシヤ出版, 京都.
- 60) JONES, D. I. H. and R. W. BAILEY (1974) Hydrolysis of cell-wall carbohydrates of grasses by carbohydrates in relation to voluntary intake by sheep. J. agric. Sci., Camb. 83, 105-111.
- 61) JONES, D. I. H. and R. J. K. WALTERS (1975) Structural constituents of grasses in relation to digestibility and voluntary intake. J. Sci. Fd. Agric., 26, 1436-1437.
- 62) JONES, L. H. P. and K. A. HANDRECK (1967) Silica in soils, plants, and animals. Advances in Agronomy, 19, 107-147.
- 63) 神立 誠監修 (1987) 家畜栄養学. 国立出版, 東京.
- 64) 片岡健治 (1975) アルファルファの品種と栽培利用技術. 北海道農業試験場研究資料, 第6号, 87-88.
- 65) 川村 修・千秋達道・堀口雅明・松本達郎 (1975) 牧草の反芻胃内消化と中性デタージェント繊維測定法に関する組織化学的検討, 日畜会報, 46, 6-10.
- 66) 古林 隆 (1982) 統計解析. 培風館, 東京.
- 67) LEAVER, J. D. (1982) Herbage intake handbook, 1-143. The British Grassld Society.
- 68) LUCAS, H. L., JR., W. W. G. SMART, JR., M. A. CIPOLLONI and H. D. GROSS (1961) Relations between digestibility and composition of feeds and foods. S-45 Report, North Carolina State College. (from reference 138)
- 69) McCULLOUGH, M. E. (1963) Relationship between digestible dry matter of forage and average daily gain of dairy heifers. J. Dairy Sci., 46, 861-862.
- 70) McILROY, R. J. (1967) Carbohydrates of grassland herbage. Herbage Abstracts, 37, 80-87.
- 71) MERTENS, D. R. (1973) Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants. Ph. D. thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- 72) MERTENS, D. R. (1983) Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages. Proc. Cornell Nutr. Conf., 60-68.
- 73) MILLER, T. B. (1961) Recent advances in studies of the chemical composition and digestibility of herbage. Herb. Abstract, 31, 81-85.
- 74) MINSON, D. J., W. F. RAYMOND and C. E. HARRIS (1960) Studies in the

- digestibility of herbage. The digestibility of S37 cocksfoot, S23 ryegrass and S24 ryegrass. *J. Bri. Grassld. Soc.*, 15, 174-180.
- 75) MINSON, D. J., C. E. HARRIS, W. F. RAYMOND and R. MILFORD (1964) The digestibility and voluntary intake of S22 and H. 1. ryegrass S170 tall fescue, S48 timothy, S215 meadow fescue and germinal cocksfoot. *J. Bri. Grassld. Soc.*, 19, 298-305.
- 76) MINSON, D. J. (1981) The measurement of digestibility and voluntary intake of forages with confined animals. *Forage evaluation: concepts and techniques*, 159-176. American Forage and Grassland Council, CSIRO.
- 77) MOIR, K. W. (1971) In vivo and in vitro digestible fraction in forage. *J. Sci. Fd. Agric.*, 22, 338-341.
- 78) MOIR, K. W. (1972) The effect of different extraction procedures on the recovery of cell walls in forage and faeces from cattle and sheep. *J. agric. Sci. Camb.*, 78, 351-353.
- 79) MOIR, K. W. (1972) An assessment of the quality of forage from its cell wall content and amount of cell wall digested. *J. agric. Sci. Camb.*, 78, 355-362.
- 80) MOIR, K. W. (1974) The estimation of the metabolizable energy of forage from its cell wall content and digestible cell wall. *J. agric. Sci. Camb.*, 82, 423-426.
- 81) MOIR, K. W. (1974) The constancy of the digested cell wall in grass. *J. agric. Sci. Camb.*, 83, 295-298.
- 82) MONSON, W. G., J. B. POWELL and G. W. BURTON (1972) Digestion of fresh forage in rumen fluid. *Agron. J.*, 64, 231-233.
- 83) MOORE, L. A., H. M. IRVIN and J. C. SHAW (1953) Relationship between TDN and energy values of feeds. *J. Dairy Sci.*, 36, 93-97.
- 84) 森本 宏 (1971) 動物栄養試験法. 192-207. 養賢堂. 東京.
- 85) 森本 宏 (1985) 飼料学. 養賢堂. 東京.
- 86) MORRISON, F. B. (1959) *Feeds and Feeding*. 22nd Ed. Morrison Pub. Co.
- 87) 中村亮八郎 (1977) 新飼料学. 上, 下巻. チクサン出版. 東京.
- 88) National Academy of Sciences (1978) *Nutritional Requirements of Dairy Cattle*. Washington, D. C.
- 89) Natinal Institute of Agricultural Botany (1971) *Grass for conservation*. Farmers Leaflet No. 17. Cambridge.
- 90) National Research Council (1987) *Predicting feed intake of food-producing animals*. 1-85. National Academy Press. Washinton, D. C.
- 91) 日本畜産学会 (1977) 畜産用語辞典. 養賢堂. 東京.
- 92) 農林省農林水産技術会議事務局 (1975) 日本標準飼料成分表. 1975年版.
- 93) 農林省農林水産技術会議事務局 (1988) 日本標準飼料成分表. 1988年版.
- 94) 農業技術研究所 (1960) 飼料分析法.
- 95) 小川二郎 (1903) 家畜改良牧草論. 札幌興農園東京支店. 東京.
- 96) 岡本昌三 (1980) 反芻獣における採食量の調節 (1)-(2). 畜産の研究 34, 1179-1183, 1301-1306.
- 97) 大原久友 (1966) 反芻家畜における草類の摂取量と消化性におよぼす要因について. 日畜会報, 37, 191-197.
- 98) OSBOURN, D. F., D. J. THOMSON



- and R. A. TERRY (1966) The relationship between voluntary intake and digestibility of forage crops, using sheep. Proc. Xth Int. Grassld Congr., Helsinki, 363-366.
- 99) OSBOURN, D. F., S. B. CAMMELL, R. A. TERRY and G. E. OUTEN (1975) Forage composition and the conduct of digestion trials for the comparative evaluation of laboratory procedures. J. Brit. Grassld Soc., 30, 101-105.
- 100) OWEN, J. B., D. A. R. DAVIES and W. J. RIDGMAN (1969) The control of voluntary food intake in ruminants. Anim. Prod., 11, 511-520.
- 101) PERCIVAL, B. G. V. (1952) The carbohydrate constituents of herbage. Br. J. Nutr., 6, 104-110.
- 102) POWELL KAREN, R. L. REID and J. A. BALASKO (1978) Performance of lambs on perennial ryegrass, smooth brome grass, orchardgrass and tall fescue pasture. II. Mineral utilization, in vitro digestibility and chemical composition of herbage. J. Animal Sci., 46, 1506-1514.
- 103) PURSER, D. B. and R. J. MOIR (1966) Rumens volume as a factor involved in individual sheep differences. J. Animal Sci., 25, 509-515.
- 104) RAYMOND, W. F., D. J. MINSON and C. E. HARRIS (1959) Studies in the digestibility of herbage. VII. Further evidence on the effect of level of intake on the digestible efficiency of sheep. J. Brit. Grassld. Soc., 14, 75-77.
- 105) RAYMOND, W. F. (1969) The nutritive value of forage crops. Advances in Agronomy, 21, 1-108.
- 106) REID, J. T., W. K. KENNEDY, K. L. TURK, S. T. SLACK, G. W. TRIMBERGER, and R. P. MURPHY (1959) Symposium on forage evaluation. 1. What is forage quality from animal standpoint?. Agron. J., 51, 213-216.
- 107) REID, R. L. and G. A. JUNG (1965) Factors affecting the intake and palatability of forages for sheep. Proc. 9th. Int. Grassld. Congr., 863-869.
- 108) REID, R. L., G. A. JUNG and C. M. KINSEY (1967) Nutritive value of nitrogen fertilized orchardgrass pasture at different periods of the year. Agron. J., 59, 519-525.
- 109) REID, R. L., KAREN POWELL, J. A. BALASKO and C. C. McCORMICK (1978) Performance of lambs on perennial ryegrass, smooth brome grass, orchardgrass and tall fescue pasture. I. Live weight changes, digestibility and intake of herbage. J. Animal Sci., 46, 1493-1502.
- 110) ROBERTSON, J. B. and P. J. VAN SOEST (1975) A note on digestibility in sheep as influenced by level of intake. Anim. Prod., 21, 89-92.
- 111) 坂本宣崇 (1984) 高緯度積雪地帯におけるオーチャードグラスの周年管理に関する栄養生理的研究. 北海道立農業試験場報告 48, 1-58.
- 112) 雑賀 優 (1961) 自由採食量をめぐる諸問題. 北海道草地研報, 3, 48-57.
- 113) 雑賀 優 (1981) 牧草オーチャードグラスの品質改善に関する育種学的研究. 北海道農試研報, 129, 25-92.
- 114) 斎藤道雄 (1949) 飼料学. 上巻. 朝倉書店. 東京.

- 115) 斎藤道雄 (1955) 牧草の化学. 畜産の研究, 9, 530-534., 643-648.
- 116) 斎藤道雄 (1959-60) 牧草の炭水化物. 畜産の研究, Vol. 13, 845-847. 967-971. 1078-1082. Vol. 14, 407-410. 1273-1276. 1385-1387.
- 117) 榊原 彰 (1974) リグニン形成とその構造. 化学と生物, 12, 508-518.
- 118) 桜井茂作 (1963) 家畜の消化作用による植物組織の分解に関する研究. 研究成果 15, 農林省農林水産技術会議事務局.
- 119) 渋谷直人 (1984) 植物細胞壁の化学-可食部の組織を中心として-. 食糧その科学と技術24, 71-89.
- 120) SMITH, D. (1973) Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 1, 105-155. Academic Press. London and New York.
- 121) SMITH, L. W., H. K. GOERING, D. R. WALDO, and C. H. GORDON (1971) In vitro digestion rate of forage cell wall components. J. Dairy Sci., 54, 71-76.
- 122) SMITH, L. W., H. K. GOERING and C. H. GORDON (1972) Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. J. Dairy Sci., 55, 1140-1147.
- 123) SOSULSKI, F. W. and J. K. PATTERSON (1961) Correlations between digestible and chemical constituents of selected grass varieties. Agron. J., 53, 145-149.
- 124) STEHR, W. and K. KIRCHGESSNER (1976) The relationship between the intake of herbage grazed by dairy cows and its digestibility. Animal Feed Sci. and Technology, 1, 53-60.
- 125) TERRY, R. A. and J. M. A. TILLEY (1964) The digestibility of the leaves and stems of perennial ryegrass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin, as measured by an in vitro procedure. J. Bri. Grassld. Soc., 19, 363-372.
- 126) THORNTON, R. F. and D. J. MINSON (1973) The relationship between apparent retention time in the rumen, voluntary intake, and apparent digestibility of legume and grass diets in sheep. Aust. J. agric. Res., 24, 889-898.
- 127) TILLEY, J. M. A., R. A. TERRY, R. E. DERIAZ and G. E. OUTEN (1969) The digestibility of structural carbohydrates of grasses by rumen. J. Bri. Grassld. Soc., 24, 238-243.
- 128) TINNIMIT PARNICH and J. W. THOMAS (1976) Forage evaluation using various laboratory techniques. J. Animal Sci., 43, 1058-1065.
- 129) TROELSEN, J. E. and J. B. CAMPBELL (1969) The effect of maturity and leafiness on the intake and digestibility of alfalfas and grasses fed to sheep. J. agric. Sci., Camb. 73, 145-154.
- 130) TYRRELL, H. F. and P. W. MOE (1974) Effect of intake on digestive efficiency. J. Dairy Sci., 58, 1151-1163.
- 131) VAN SOEST, P. J. (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds 1. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. J. Assoc. Off. Agr. Chem., 46, 825-829.
- 132) VAN SOEST, P. J. (1964) Symposium on nutrition and forage and pastures: New chemical procedures for evaluating forages. J. Animal Sci., 23, 838-845.
- 133) VAN SOEST, P. J. (1965) Comparison of different equations for prediction of

- digestibility from cell contents, cell wall constituents, and lignin content of acid detergent fiber. *J. Dairy Sci.*, 48, 815.
- 134) VAN SOEST, P. J. (1965) Symposium on factors influencing the voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. Animal Sci.*, 24, 834-843.
- 135) VAN SOEST, P. J., R. H. WINE and L. A. MOORE (1966) Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. *Proceeding of the 10th International Grassland Congress*, 438-441.
- 136) VAN SOEST, P. J. (1966) Non nutritive residues: A system of analysis for the replacement of crude fiber. *J. Assoc. Off. Agr. Chem.*, 49, 546-551.
- 137) VAN SOEST, P. J. (1967) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 4. Determination of plant cell wall constituents. *J. Assoc. Off. Agr. Chem.*, 50, 50-55.
- 138) VAN SOEST, P. J. (1967) Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *J. Animal Sci.*, 26, 119-128.
- 139) VAN SOEST, P. J. (1968) Chemical estimates of the nutritive values of feeds. *Proc. Cornell Nutr. Conf.*, 38-46.
- 140) VAN SOEST, P. J., and L. H. P. JONES (1968) Effect of silica in forages upon digestibility. *J. Dairy Sci.*, 51, 1644-1647.
- 141) VAN SOEST, P. J. (1971) Estimations of nutritive value from laboratory analysis. *Proc. Cornell Nutr. Conf.*, 106-117.
- 142) VAN SOEST, P. J. (1973) Revised estimates of net energy values of feeds. *Proc. Cornell Nutr. Conf.*, 11-23.
- 143) VAN SOEST, P. J. (1975) Physico-chemical aspects of fiber quality. *J. Sci. Fd Agric.*, 26, 1433.
- 144) VAN SOEST, P. J., D. R. MERTENS and B. DEINUM (1978) Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *J. Animal Sci.*, 47, 712-720.
- 145) VAN SOEST, P. J. (1982) *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O & B Books Inc., Corvallis Oregon, P. 39-50, 211-293.
- 146) WALDO, D. R. and N. A. JORGENSEN (1981) Forages for high animal production: Nutritional factors and effects of conservation. *J. Dairy Sci.*, 64, 1207-1229.
- 147) WALTERS, R. J. K. (1971) Variation in the relationship between in vitro digestibility and voluntary dry matter intake of different grass varieties. *J. Agr. Sci. Camb.*, 76, 243-252.
- 148) 渡辺 潔 (1980) 牧草の刈取適期と飼料価値. 総説. 日本畜産学会東北支部会報, 29, 1-10.
- 149) WILKINS, R. J. (1969) The potential digestibility of cellulose in forage and faeces. *J. agric Sci., Camb.* 73, 57-64.
- 150) WILMAN, D., M. DALY, A. KOOCHEKI and A. B. LWOGA (1977) The effect of interval between harvests and nitrogen application on the proportion and digestibility of cell wall, cellulose, hemicellulose and lignin and on the proportion of lignified tissue in

leaf cross-section in two perennial  
ryegrass varieties. J. agric. Sci. Camb., 89, 53-63.

## Changes in Digestibility and Voluntary Intake of Forages with Growth Progress

Toshiki ISHIGURI

The Hokkaido Prefectural Takikawa Animal Husbandry Experiment Station  
Takikawa-shi, Hokkaido 073 Japan

### Summary

Low cost raising techniques for cattle with forages at high levels, have great potential for further development for land-use type dairy and beef cattle farming in Hokkaido. A number of studies have been made on the breeding, cultivation and preparation of forages; the characteristics of forages in digestion and intake have not been studied in detail because of diverse changes in these characteristics during the growth process. In particular, there have been no reports of changes in the nutritive value and voluntary intake of forage during the growing season in a year and the several consecutive years after the establishment of the grassland. This information is essential for the effective use of forage.

Consequently, a series of digestion trials was performed for 10 years with a total of 1266 wethers to obtain either digestibility or voluntary intake of 212 samples of different growth and regrowth stages from 6 major forage species in Hokkaido. The species were orchardgrass, timothy, perennial ryegrass, alfalfa, red clover and white clover. Data obtained from the trials were analyzed to study the factors affecting digestibility and voluntary intake for effective use of forage in Hokkaido.

1. Chemical composition, digestibility, nutritive values, including total digestible nutrients (TDN), digestible crude protein (DCP) and digestible energy (DE), estimated net energy, voluntary dry matter intake (DMI) and nutritive value index (NVI) were measured at each stage of growth at the time of first cut and each season for regrowth in all of 6 forage species. These measurements were continued for 9 and 10 years in orchardgrass and alfalfa, respectively.

2. For the first cut in the spring, digestibility, TDN, DCP, DMI and DE intake decreased with the progression of the growth stage. There were no significant differences in the rate of decrease of these measurements among forage species. Daily decrease in the TDN content of forage dry matter was found to be about 0.5% unit for all grasses and legumes. Since DMI decreased rapidly with the advance of growth, TDN intake, DE intake and NVI decreased more rapidly.

3. For the regrowth in the summer, the potential digestibilities of chemical components, except crude protein, were low, and therefore, it was difficult to harvest forage with 65% or higher TDN content in dry matter. DMI in the second cut alfalfa decreased most rapidly in the year.

4. For the regrowth in the autumn, both the proportion and the digestibility of cell contents were high, as was the digestibility of the cell wall, and therefore, the nutritive value was excellent. The decreasing rate of the nutritive value was at its lowest of the year in autumn.

5. From the viewpoint of seasonal change, TDN and DE contents of grasses and legumes decreased from the spring to the summer and increased again in the autumn, showing a concave shape pattern.

6. Orchardgrass and alfalfa from the same grassland were tested 9 and 10 years, respectively. The changes of nutritive value and DMI were small in the forages from old grassland.

7. When orchardgrass was cut 3, 4, 5, 6, and 7 times in a year, yearly averages of TDN content, obtained by dividing TDN yield by dry matter yield, were 57, 59, 63, 64 and 64%, respectively. The yearly averages of DCP content obtained by same manner were 8, 7, 10, 13 and 14%, respectively.

When alfalfa was cut 3 and 4 times a year, the yearly averages of TDN and DCP contents were 58 and 62% and 15 and 18%, respectively.

8. Even when orchardgrass and perennial ryegrass were cut and harvested up to 7 times in a year, digestibilities of dry matter, CW and CC and DE intake, varied considerably among cuttings. It was shown that multiple cutting did not allow the consistent harvesting of high calory grass.

9. A cutting schedule satisfying the values of 13% crude protein and 65% TDN contents in dry matter and 200 kcal/kg<sup>0.75</sup> DE intake by wethers was attempted. It was found, however, that no cutting schedule satisfied all of these three values from spring to autumn.

10. Difference in digestible dry matter content among cutting seasons reflected the indigestible CW content. The indigestible CW content could explain 90% of the variations in the digestible dry matter content.

11. In orchardgrass and alfalfa, no significant correlation was found between DMI and fecal CW excretion, and the fecal CW excretion per day remained almost constant (13 and 17 g/kg<sup>0.75</sup>, respectively), while the DMI changed with growth stages and cutting seasons. Division of these values by the indigestible CW content resulted in similar values with the DMI. Intake of CW per day remained constant (around 32g/kg<sup>0.75</sup>) independent of the cutting seasons, showing that forages with lower CW content could be consumed more by the wethers. These results indicated that the indigestible CW in the forages were the most important factors controlling degestibility and DMI.

12. Gross energy concentration of digestible CC decreased in the regrowth of orchardgrass and alfalfa in the summer, and this fact resulted in higher relative importance of digestible CW on the DE content of forages. Dry matter excretion by the wethers was almost constant to be 22.3 g/kg<sup>0.75</sup> for orchardgrass and to be 29.8 g/kg<sup>0.75</sup> for alfalfa independent of DMI. Simple equations estimating DE intake (kcal/kg<sup>0.75</sup>) from DMI (g/kg<sup>0.75</sup>) are as follows.

$$\text{Orchardgrass: DE intake} = 4.31 \times (\text{DMI} - 22.3)$$

$$\text{Alfalfa: DE intake} = 4.45 \times (\text{DMI} - 29.8)$$

13. From the results in the study, it can be concluded that the changes in digestible nutrients content and DMI with growth stages and seasons should be considered when planning the cutting and harvesting schedule, as well as the fertilization control and the type of utilization ( grazing, fodder, hay or silage ).

Rep. Hokkaido Prefect. Agric. Exp. Stn. No75, 1-86. (1991)