

シンポジウム「北海道の草地農業におけるマメ科牧草栽培の意義」

## 家畜の栄養生理からみた豆科牧草への期待

佐藤 博 (北海道農試)

### 緒 言

乳牛は妊娠・分娩・泌乳を繰り返して生産を続けているが、生涯のうちで最も厳しい試練に直面するのは分娩から泌乳最盛期にかけての数週間である。この時期にはどのような飼料を用いても高泌乳牛に必要な栄養素を不足なく摂取させることは困難である。すなわち、大量の牛乳生産のためには莫大な栄養素を必要としているので不足となるエネルギー・蛋白やミネラルの多くが体組織の消耗（体組織からの動員）に依存している。また牛の体内では特に乳腺に対して種々の栄養素が優先的に配分されるように代謝調節がされている。

一方、牛の消化機能を健全に保持し、さらに乳脂率の維持のためには一定レベル以上のセンイが必要なのは明白であり、この意味からも種々の栄養素を豊富に含んでいる豆科牧草への期待は高まっている。ここでは乳牛を中心に栄養生理的な面からその意義について考えてみたい。

### 1. 反すう家畜の蛋白栄養

泌乳初期には大量の体脂肪を動員しており、高泌乳牛においてはその量は概ね約1トン程度の牛乳生産に相当するともいわれている。ところが乳牛の体組織から動員できる蛋白の量は少なく100kg程度の牛乳生産に相当するにすぎない。よって、泌乳初期には特に飼料として供給する蛋白の量と質がその牛の生産性に対して大きく影響してくる。

#### (1) 反すう家畜の蛋白要求とは

これまで蛋白の単位としてはDCPが永年採用されてきたが、反すう家畜の蛋白栄養を考える場合にはCP（あるいは窒素：N）を用いるのが現実的である。すなわち、反すう家畜の蛋白要求は図1のように3種類に区分できる。

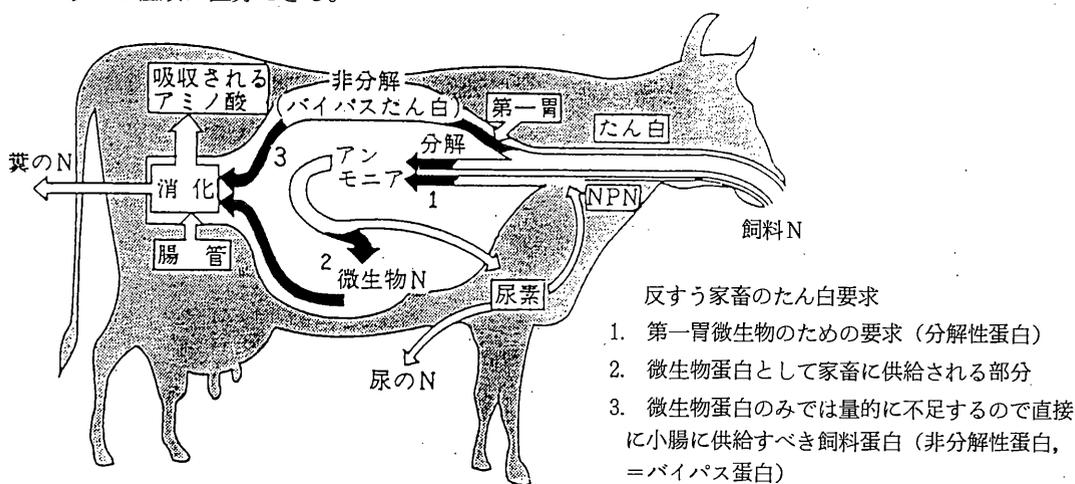


図1 牛におけるたん白の利用状況

第一胃内微生物の蛋白合成能にも限界があり、この微生物蛋白のみで蛋白要求を充足できるのは泌乳量3～3.5トン程度の牛の場合である。よって今日の高泌乳牛においては⑨のバイパス蛋白への要求が増大しており、概ね $\frac{1}{3}$ ぐらいはバイパス蛋白として飼料から供給する必要がある。表1に示した飼料分解性の数値は平均的なものであり、飼料の刈取時期や加工法によって違うことも念頭におくべきである。

表1 飼料蛋白の第一胃内での分解性

分解率(%)	粗飼料	エネルギー飼料	蛋白飼料
100			尿素
70-90	イネ科牧草, 豆科牧草 グラスサイレージ	圧片大麦, 小麦	未処理大豆, サフラワー ナタネ粕
50-70	豆科牧草, ハイレージ クローバサイレージ	粉碎大麦 トウモロコシ(フレーク)	加熱大豆, ココナツ粕 綿実粕, サフラワー, アマニ粕
30-50	遅刈乾草, 人工乾草	大麦(フレーク) 圧片トウモロコシ	骨粉, 肉粉, 魚粉
-30	ワラ類 ホルマリン処理サイレージ		

(2) 微生物蛋白の合成

第一胃内ではアンモニアN源をもとに良質の微生物蛋白が合成されるが、そのためにはエネルギーも必要なことは当然であり、さらに一部の微生物ではアミノ酸・ペプチド・側鎖脂肪酸や硫黄(S)の要求もみられる。

特に第一胃内でのアンモニアの放出とエネルギーの供給を同期化させることが効率的な微生物蛋白合成のために重要である。図2に示したように、このエネルギー源(ATP)供給にあずかるのは可消化センイやデンプンなどの飼料炭水化物である(しかしデンプンなどが多すぎると至適な第一胃内環境の破壊につながる)。供給されるATPが不足するとアンモニアの利用効率が低下し、最終的にはN源の浪費になってしまう。

一方、第一胃内のアンモニアの濃度については概ね50ppm程度が最適であり、アンモニアが不足すると特にセルロース分解菌などは活動も低下してくる。第一胃内のアンモニア濃度を左右するのは単に飼料の分解性蛋白含量だけではなく、エネルギーも関係しており、

表2 第一胃内における微生物蛋白の生産

給与飼料	微生物蛋白生産
乾草	30.0 g-N/kg DOM*
乾草+濃厚飼料	30.8
濃厚飼料	26.1
アルファルファ(青刈り)	37.8
”(人工乾草)	49.2
グラスサイレージ	19.7
グラスサイレージ+濃厚飼料	25.4

注) \* DOM …… 可消化有機物

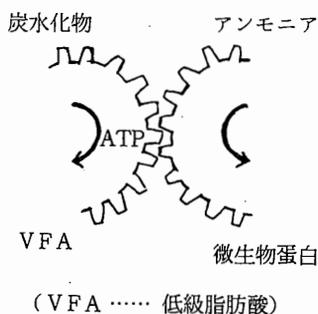


図2 第一胃内における微生物蛋白の合成とエネルギー供給

高エネルギー飼料ではCPも高めないと第一胃内でのアンモニアが不足しやすい。

第一胃内での微生物蛋白の合成を効率的にする為の要点を表3にまとめてみた。

(3) 飼料の蛋白水準と採食性・消化性

一般に飼料の粗蛋白水準を上げると採食性や消化率が改善されるが、その程度および範囲は家畜および給与飼料によって異なっている(図3)。めん羊や育成牛ではCP12% (乾物当り)で充分であるが、泌乳牛ではCP16% (飼料の種類や牛によっては更にCP20%程度)まではCP水準の上昇とともに採食量や消化率も向上している。このような差異の原因となるものとしては採食水準(体重当りの乾物摂取%)や飼料のエネルギー水準などがあげられる。

蛋白含量の低い低品質粗飼料では尿素などNPN(非蛋白態窒素)の添加に反応するが、アルカリ処理などでセインの利用性を高めておくとNPN添加の効果がさらに高まる。

(4) 泌乳における律速アミノ酸

牛乳生産において最も不足しやすいアミノ酸はメチオニン・フェニルアラニン・スレオニン・ロイシン・リジンなどであり、血液から乳腺に移行したこれらアミノ酸は最も効率的に乳蛋白(牛乳生産)に移行している。

筋肉増殖のために不足しやすいのはメチオニン・ヒスチジン・リジンであり、また羊毛生産においてはメチオニンやシスチンが制限アミノ酸になりやすい。

このようにメチオニンは乳肉毛の生産のみならず、肝臓機能の維持や種々の代謝活性の維持の面から重要視されており、メチオニンのルーメンバイパス化技術についても注目されている。

(5) 分解性蛋白の過剰給与の影響

第一胃内で微生物蛋白合成に利用しきれずに残った(過剰)のアンモニアは第一胃壁から吸収されて肝臓で尿素に合成されている。このような第一胃内状況ではこの尿素は体内で効率的に利用されず、結果的には尿に排泄されてしまう。アンモニアをこのように処理して排泄するためには余分なエネルギーが要求され、またアンモニアが過剰になると消化管・門脈-肝・循環系などの機能を障害し、糖質-脂質代謝をも阻害している。

表3 第一胃内微生物の蛋白合成を効率的にするには!!

1. エネルギーとN源の供給を同期化
2. 基質供給を連続化
3. 構造型と非構造型の炭水化物も同時に供給
  - (① 第一胃内容流出速度の適正化
  - (② エネルギーとN放出のマッチング
4. 易発酵性炭水化物の過給をさける
5. アミノ酸・ペプチド・側鎖脂肪酸の必要な微生物もある
6. SやPの供給

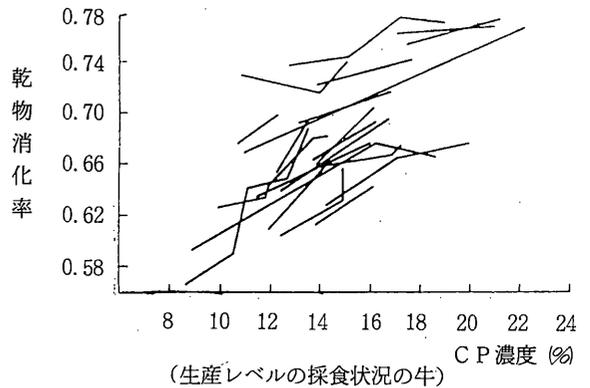


図3 飼料の粗蛋白レベルが乾物消化率に及ぼす影響

## 2. 健康維持と給与飼料

### (1) 飼料のセニ含量と第一胃機能

一般に濃厚飼料の比率を高めることによって高エネルギー飼料を設計できそうであるが、牛の健康特に第一胃機能を維持するとともに、第四胃変移などの疾病を防止するためには乾物当り17%程度の粗セニ (ADF では21%以上) が必要である。また、乳脂率を正常に維持するためにはセニをさらに高める (粗セニ20%程度) のが安全である。

### (2) セニの消化と非構造型炭水化物

第一胃内で急速に発酵されやすい非構造型炭水化物を多給すると、第一胃内の pH が低下してセルロース分解菌の活動至適域をはずれてしまいセニ消化率が低下する (デン粉減退)。しかし、第一胃内でのセニ分解菌の作用にはN源とともに非構造型炭水化物も重要な役割をもっている。

### (3) 乳期に応じたミネラル栄養の管理

牛乳中にはCaやPも多量に分泌され、特にCaについては血液の約10倍強の濃度になっている。よって、分娩直後からCaの代謝を円滑に進めるため、分娩前 (乾乳期) 数週間にはCa摂取を制限して副甲状腺の活性を高めた状態で分娩を迎えさせるべきである。Pの不足は糖代謝障害・繁殖障害や第一胃微生物の活性低下などをきたすが、P代謝のホメオスタシスはCaのそれにくらべると弱いので、常に必要量を給与できるように留意すべきである (表4参照)。

表4 乳牛のミネラル栄養 (Ca・Pについて)

カルシウム (Ca)	リン (P)
骨のCa蓄積と動員→牛乳Ca	Pのホメオスタシス …… 弱い
	Ca/P比 …… 1~2
飼料のCa (又はP比)	P欠乏
↓	{ 血清Pi低下 繁殖障害 糖その他の代謝障害 第一胃微生物の活性減 他
Ca吸収・動員に影響 (数日間のLag time)	
Caの過剰給与	
(① 副甲状腺の機能に害作用 ② P・Mn・Znの代謝に拮抗 他	
Ca給与の管理	P過多
(分娩前 …… Ca 50g (P 30g以下) (分娩後 …… 直ちにCaを増給	(特にToxic作用なし 他のミネラルとのバランス (Ca・Mg・P・K・Mn) 穀実→P過多・Ca不足

## 3. 家畜生産における豆科牧草の役割

牛に必要なエネルギー・セニ・分解性蛋白と非分解性蛋白 (バイパス蛋白) およびミネラルやビタミンをすべて満足させるように飼料設計することは、特に泌乳最盛期においては難題である。例えば、単にエネルギーや蛋白の要求を充足させるために穀類を多くするとセニが不足してしまう。また粗飼料の摂取は第一胃容積などバルキーな要因によっても規制されるので、用いる粗飼料について

は栄養濃度の高いものが要求されるとともに、収穫調製時における物理的形状も重要になってくる。このような観点から、特に泌乳最盛期の乳牛では豆科牧草への期待は高いものである。豆科牧草ではセンイとともに、もともと蛋白や細胞内炭水化物の含量が高いので濃厚飼料とうまく組合せるとかなりの高エネルギー・高蛋白質飼料を牛に供給することができる。以下、豆科牧草の栄養的意義について考えてみる。

#### (1) 蛋白の含量と質

豆科牧草の特性として蛋白含量が高いものは当然であるが、さらに非分解性蛋白の割合も高く、高泌乳牛にとっては貴重な飼料である。

すべての牧草は成熟につれて蛋白含量が減り、開花後には著しく低下しているが、豆科牧草では一般に成熟にともなう蛋白含量の低下が小さいので蛋白の収量が優れている。しかし、アミノ酸組成については植物間での差が小さい。一般に、リーフプロテインでは子実蛋白にくらべてリジンは多いがメチオニンが少ないといわれている。

泌乳初期の乳牛の第一胃内においては微生物蛋白の合成能が十分に発揮されない。それは、この時期には必要なエネルギーのかかなりの部分が体脂肪の動員によっているが、実際の飼料（エネルギー）摂取はまだ十分に増加しておらず、第一胃内での供給エネルギーも充分でないので、たとえ分解性の蛋白を多給しても、図2に示したような回転がうまく作動しないためである。

よって、この時期には分解性蛋白（NPNなど）の供給をおさえて、非分解性のバイパス蛋白の供給を高めることが必要であり、この意味でも豆科牧草が優れている。蛋白/エネルギー比の高い飼料を給与すると牛乳生産が増大するが、この比が低下すると摂取栄養素の多くが体内（体脂肪など）に蓄積するように代謝変化が進んでいく。

#### (2) イネ科と豆科のサイレージ

グラスサイレージ多給では第一胃内でのアンモニアが一時的に過剰になり、CPの利用効率が悪く微生物蛋白の合成も少ない。アルファルファのサイレージでは調製時に予乾することによってこれらの点はかなり改善されるが、イネ科牧草でも調製時に添加剤を用いるなどによって改善されてくる。いずれにしても、サイレージのみの給与では第一胃内微生物に供給できるエネルギー（ATP）も不足するので他の飼料との併給が望まれる。

#### (3) 可溶性の細胞内成分

豆科牧草では非構造的炭水化物の量が多く、葉と茎部の双方に蓄積されている。このためイネ科よりもNDF含量は少なく、消化性が高い。NDF含量の低い飼料では消化に要する時間も短く、そのため豆科牧草では乾物摂取が多く、このことは広く認められている。

アルファルファの細胞内容物質は50~60%、イネ科牧草では30~40%と、豆科牧草においては消化されやすい細胞内の可溶性部分が多い（表5）。このため、アルファルファには濃厚飼料的な意味も深く、表6のように濃厚飼料のかかなりの部分を人工乾燥アルファルファ（デハイ）で代替することも可能である。

#### (4) 成熟にともなう消化率低下が軽度

植物では成熟にともなう細胞膜成分の含量が増加するが、豆科牧草ではあまり著しくない。よって成熟にともなう消化率低下も軽い（図4）ので可消化栄養の収量が高い。細胞膜成分の増加に

表5 マメ科とイネ科草の繊維含量の違い (乾物中%)

	細胞 内容物	NDF	ADF	CF	リグニン
アルファルファ					
開 花 前	60	40	29	22	7
開 花 始	58	42	31	23	8
開 花 中 期	54	46	35	26	9
開 花 盛 期	50	50	37	29	10
アカクローバ	44	56	41	29	10
バズフットトレフォイル	53	47	36	31	9
ブロムグラス					
穂 ば ら み	35	65	35	30	4
出 穂 期	32	68	43	37	8
オーチャードグラス					
出 穂 期	28	72	45	37	9
チ モ シ ー					
穂 ば ら み	45	55	29	27	3
出 穂 期	33	67	36	31	5
出 穂 後 期	30	70	40	33	7
コーンサイレージ					
黄 熟 後 期	49	51	28	24	4

表6 濃厚飼料としてのアルファルファの価値

—アルファルファ人工乾草 (Dehy) で穀物を代替—

		濃厚飼料中の Dehy の割合			
		0	20	40	60 %
乾物摂取 kg/日	濃厚飼料 (うち Dehy)	10.9 (0)	11.0 (2.2)	11.5 (4.6)	11.6 (7.0)
	粗飼料	10.9	11.0	11.5	11.7
4%FCM	kg/日	21.8	23.8	25.0	24.3
Fat	%	2.9	3.4	3.3	3.3

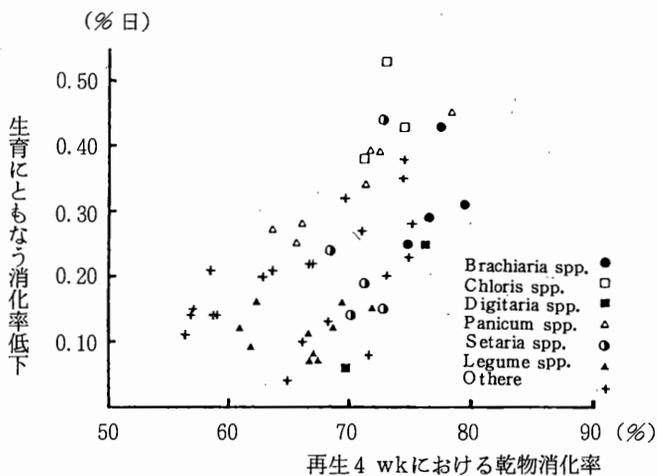


図4 牧草の乾物消化率と生育に伴う消化率低下

はリグニンの増加を含んでいるが、成熟した豆科牧草でも消化率があまり低下しないのは、必ずしもリグニン含量と関係あるわけではなく、豆科牧草ではリグニンが増えなくてもそれほど消化率が低下していない(図5)。

(5) 優れたミネラル含量

豆科牧草ではミネラルのうちでも特にCaとMg含量が高い。このため必乳初期には好ましい飼料となるが、分娩前数週間の時期(乾乳期)にはCa過剰による逆効果も

あるので、豆科牧草の多給はつつしむべきである。また微量元素のCu・Coも多く含まれるが、Pについてはイネ科草と特に差が見られない。豆科牧草では一般にNa含量が少ない傾向にある。

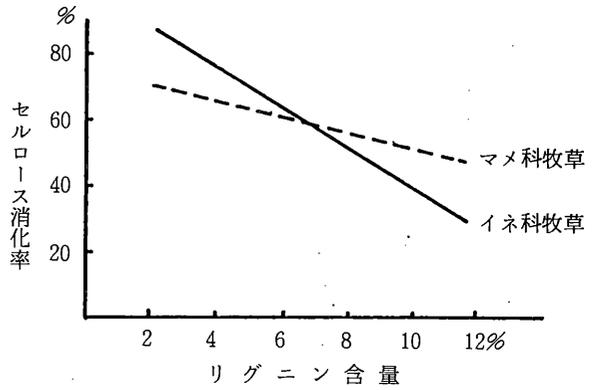


図5 牧草のリグニン含量とセルロース消化率の関係

(文献省略)