

肉牛飼育におけるデンプン問題(1)

誌名	畜産の研究 = Animal-husbandry
ISSN	00093874
著者名	大成,清
発行元	養賢堂
巻/号	67巻10号
掲載ページ	p. 1023-1028
発行年月	2013年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



肉牛飼育におけるデンプン問題(1)

大成 清*

1. 子牛に対する粗飼料の
給与効果

カンザス州立大学の K. K. Kreikemeier ら(1990)は、「子牛のカルボヒドラーゼ活性と小腸の形態に及ぼす、飼料の粗飼料水準および飼料摂取量の影響」について研究している。

供試牛は7カ月齢のホルスタイン種去勢牛12頭と、ロングホーン種の雌および去勢牛各4頭の計20頭である。

試験区は4区を設け、1区はNEの維持量分を粗飼料で与え、2区は同量を濃厚飼料で与えた。3区はNEの2倍量を粗飼料で与え、4区は同量を濃厚飼料で与えた。

飼料の配合割合は、1区はアルファルファ乾草90%、圧片小麦4%、圧片ソルガム4%、その他2%で、含有成分はCP 17.4%、NDF 39.6%、ADF 31.0%が含まれる。

その他には食塩、トレスミネラル・プレミックス、第1リン酸カルシウム、ビタミンADE・プレミックス、粉碎ソルガム、大豆油、ルメンシン60、タイラン10と2区、4区には尿素が適宜に含まれている。

2区はアルファルファ乾草10%、圧片小麦42.5%、圧片ソルガム42.5%とその他の5%で、含有成分

はCP 14.9%、NDF 13.3%、ADF 6.6%である。

3区はアルファルファ乾草90%、圧片小麦4%、圧片ソルガム4%と、その他2%を含み、含有成分はCP 17.4%、NDF 39.5%、ADF 31.0%である。

4区はアルファルファ乾草10%、圧片小麦42.5%、圧片ソルガム42.5%と、その他5%で、含有成分はCP 15.2%、NDF 13.2%、ADF 6.2%である。

試験期間は140日間で、試験終了後全頭を屠殺し、組織と小腸内容物を採取した。試験の結果は表1のとおりである。

1区、3区の粗飼料多給区は、2区、4区の濃厚飼料多給区よりも増体が優れた。また、脾臓の蛋白質含量、 α -アミラーゼ活性とグルコアミラーゼ活性、小腸粘膜の α -アミラーゼ活性が増加した。

表1 子牛に2レベルのエネルギーを粗飼料と高穀類飼料で与えた場合の飼育成績と小腸、脾臓への影響

	維持量		維持2倍量		有意差	
	粗飼料	穀類	粗飼料	穀類	摂取量	飼料
	1区	2区	3区	4区		
飼育成績						
開始体重, kg	184	208	193	206		
終了体重, kg	238	216	345	336	**	
乾物摂取量, kg	3.0	2.1	7.4	4.8	**	**
増体日量, kg	0.4	0.1	1.1	0.9	**	**
脾臓						
重量, g	237	227	346	300	**	
蛋白質, mg/g	122	111	121	113		**
α -アミラーゼ活性, U/g	388	267	620	397	*	*
総単位, $\times 10^3$	89	53	221	120	**	*
グルコアミラーゼ活性, U/g	1.10	0.85	1.14	1.10	*	*
総単位	260	189	377	322	**	*
小腸						
重量, kg	3.7	2.8	5.1	4.2	**	
pH	7.45	7.29	7.20	6.97	**	**
α -アミラーゼ活性, U/g	5.1	4.5	7.1	3.9		*
総単位, $\times 10^3$	19.3	12.2	39.4	16.9		*
長さ, m	22.6	20.2	26.8	26.9	**	
腸粘膜, 重量, g/cm	0.71	0.91	1.21	0.90		
腸粘膜, 表面積/容量	1.97	1.84	1.94	2.02		

**=P<0.01, *=P<0.05

飼料摂取量の増加に伴い、1区、3区は小腸1cm当りの粘膜の重量が、2区、4区では小腸の容積当りの表面積がそれぞれ増加した。

膵臓の α -アミラーゼ活性と、小腸の形態は、飼料の組成と子牛の飼料摂取量に影響することが認められた。

膵臓の α -アミラーゼに影響するのは、デンプン摂取量ではなく、ME摂取量そのものである。

2. 穀類中のデンプン含量

1995年7月、フロリダ州オーランドで開催された、ASAS(アメリカ畜産学会)の第87回年次大会で、Gerald B. Huntingtonが「穀物の処理方法が穀物の利用性に及ぼす影響」について講演した。これは1986年から約10年間の研究報告を取りまとめたものである。

○穀類のデンプン含量

穀類中最もデンプン含量の多いのは小麦の77%(1977, 1990年の研究)、つぎがトウモロコシの72%(1990, 91, 93, 93)と、ソルガムの72%(1990, 90, 91, 91, 93)で、以下大麦とエン麦の57~58%(1990, 93, 93)となる。

これらのデンプン含量は品種、栽培場所、収穫年次によりかなり異なる。

コーンサイレージのデンプン含量は22~35%だが、これはサイレージ中の穀実が32~50%と変化しているためである。

各穀類のデンプン含量の変動係数をみると、トウモロコシは2.4%、ソルガム3.7%、小麦4.1%、大麦5.2%、エン麦7.1%となっている。

アメリカのソルガム生産協会がソルガム42点を分析したところ、デンプン含量は68%、変動係数は7.1%であった。

○穀類中のデンプンの微生物による利用

トウモロコシをルーメン内に投入し、48時間にわたる電子顕微鏡写真によると、細菌の付着密度は果皮→蜜状胚乳→粉状胚乳→デンプン顆粒の順となり、内部部分ほど多くなっている。

胚乳部はデンプン顆粒の最も多く含まれる部分で、トウモロコシの80%を占める。

トウモロコシやマイロにwaxy種というのがあるが、これはアミロペクチン(amylopectin(α -1-4と α -1-6のリンケージ))からなり、これは他の品種に

比ベデンプンの分解速度が優れている。

○各種加工方法とデンプンの消化率

飼料摂取量に対するルーメン消化率をみると、トウモロコシの①乾式圧片は76.2%、②スチームフレークは84.8%、③スチーム圧片は72.1%、④高水分トウモロコシは89.9%、⑤粉砕は49.5%である。

ルーメン以後の消化率についてみると、①は16.2%、②は14.1%、③は19.0%、④は6.3%、⑤は44.0%である。

全消化管消化率は①は92.2%、②は98.9%、③は91.2%、④は95.3%、⑤は93.5%である。

ソルガムのルーメン消化率は①の乾式圧片は59.8%、②のスチームフレークは78.4%、③の高水分粉砕は73.2%、④の粉砕は70.0%である。

ルーメン以降の消化率は①は26.1%、②は19.6%、③も19.6%、④は15.4%となっている。

全消化管消化率は①は87.2%、②は98.0%、③は92.8%、④は91.0%である。

大麦のルーメン消化率は、①の乾式圧片は80.7%、②のスチーム圧片は84.6%。ルーメン以降の消化率は、①が13.7%、②は13.6%。全消化管消化率は①が94.3%、②は98.2%である。

小麦のルーメン消化率は①の乾式圧片は88.3%、②のスチーム圧片は88.1%。ルーメン以降の消化率は①が9.9%、②は10.0%。全消化管消化率は①は98.2%、②は98.6%である。

エン麦の消化率は①の乾式圧片は92.7%、②のスチーム圧片は94.0%。ルーメン以降の①は5.6%、②は4.5%。全消化管の①は98.3%、②は98.8%である。

3. 粗飼料中のデンプン含量

コーネル大学の研究者(1992)は、牛用飼料評価のため「正味炭水化物・蛋白質システム」を開発した。

粗飼料の炭水化物、とりわけデンプン含量は表2に示した。しかし表2のデンプンはNSC(非構造性炭水化物)の含量を示すもので、デンプン含量を直接示すものではない。

US乳牛粗飼料研究センターのD. R. Mertens(1992)は、粗飼料中のデンプン含量をつぎのように示している。

○アルファルファ・ペレット(1/8, 3/8吋)4.5%、同乾草(早期刈取)4.0%、同(開花初期)3.2%、

- 同(開花中期)2.6%, 同(満開)2.0%。同サイレージ(早期刈取)2.0%, 同(開花初期)1.8%, 同(開花中期)1.6%, 同(満開)1.5%, 同(開花中期, 細切)1.6%。
- バヒアグラス(早期刈取)2.0%, 同(晩期刈取)1.6%。
- 大麦サイレージ18.5%。
- バーミュダグラス乾草(太平洋岸州産)(晩期刈取)1.6%, 同(再生28日)2.3%, 同(ペレット)2.4%。
- ブロームグラス乾草(早期刈取)2.4%, 同(晩期刈取)1.6%。
- クローバー乾草(ラデノ種, 開花初期)3.5%, 同(レッド種, 開花初期)2.8%, 同(レッド種, 成熟期)3.5%。
- トウモロコシ, コブ(粗粉碎)1.0%, 同(微粉碎)1.0%, サイレージ(芯つき種実つき)35.6%, 同平均27.7%, 同(穂の少ないもの)24.7%, ストーパー(穂なし, 茎葉)24.7%。
- カウピー乾草1.8%。
- フェスク乾草(早期刈取)1.0%, 同(晩期刈取)0.9%。
- イネ科主体混播牧草(サイレージ)1.7%。
- エン麦(穀)5.0%, 同(サイレージ)26.9%。
- オーチャードグラス・サイレージ(早期刈取)0.7%, 同(開花初期)0.8%。
- パンゴラグラス乾草4.0%。
- 落花生乾草3.0%, 同(穀, 粗砕)1.0%, 同(穀, ペレット)1.0%。
- 籾殻1.0%。
- ライ麦サイレージ9.0%。
- ソルガムサイレージ(子実用)24.1%, 同(青刈用)4.6%, 同(青刈用, 乳熟期)2.8%, スーダングラス・サイレージ(早期刈取)2.6%, 同(頭頂部)2.4%。
- 大豆皮(微粉碎)5.3%, 乾草3.0%, サイレージ2.0%。
- サトウキビ(バガス)2.2%。
- チモシー乾草(早期刈取)4.1%, (開花中期)2.9%。
- トレホイルバズフート5.0%。
- 小麦サイレージ13.4%, ストロー1.0%。

以上のように粗飼料中のデンプン含量は少ないので、飼料設計において問題視することはない。

ただ、大麦、トウモロコシ、エン麦、ライ麦、ソルガム(子実用)、小麦などの青刈サイレージは、穀類をかなり含んでいるのでデンプン含量が高い。この種飼料の給与に当たっては、デンプンの過多にならないよう注意が必要である。

4. バイプロ飼料のデンプン含量

肉牛飼料の設計に当たっては、なるべくデンプン含量を低く押えたい一方で、飼料のカロリーを高くすることである。

副産物飼料はデンプン含量のうえから、つぎの3つに分けることができる。肉牛飼料においては、デンプン含量の少ないAのグループを活用することである。

○A グループ(デンプン含量10%以下)

大麦(麦芽根)7.6%, ビートパルプ0.4%, ビール粕(乾)3.8%, サイトラスパルプ0.2%, トウモロコシ DGWS 2.4%, 同 DG 2.4%, 綿実粕(エキスペラー)1.6%, 同(抽出)1.5%, あまに粕(抽出)4.0%, 糖蜜0.0%, 落花生粕(エキスペラー)4.8%, 精米工場副産物飼料(微粉)6.0%, 大豆粕(CP44%)2.7%, 同(CP48%)2.7%, ヒマワリ粕(殻つき)4.0%, ヒマワリ粕(殻なし)6.0%, 全粒綿実(除リント)0.8%, 同(含リント)0.3%, 大豆(焙煎)1.5%

○B グループ(デンプン含量11~20%)

カノーラ・なたね粕13.5%, グルテンミール15.6%

○C グループ(デンプン含量21%以上)

グルテンフィード23.3%, ホミニーフード31.0%, ポテト粕60.7%, 米ヌカ22.8%, 小麦フスマ21.0%, 小麦ミドリングス29.0%, 小麦ショーツ23.8%

従来から肉牛飼料の設計には、Cグループの飼料、つまり米ヌカや小麦フスマを多用していた。これら飼料と穀類との組合せはデンプン含量が多くなるので、どうしてもアシドーシスを招きやすい。

このため、Aグループの飼料、とりわけビートパルプ、サイトラスパルプ、DGWS、DGと、アルファルファなどの活用が望まれる。

5. 肥育牛に対するデンプンの給与限界

北カロライナ州立大学の G. B. Huntington(2000)は、フロリダ栄養会議で「反芻家畜生産における高デンプン質飼料」について講演している。

講演ではまず最初に飼料原料中のデンプン含量の測定法と、各種飼料中のデンプン含有量を述べ、以後つぎの要旨の説明が行われた。

○デンプンの消化と吸収

反芻家畜ではデンプンの消化生成物は、デンプンの消化部位と消化量、ルーメン内でのデンプンの分解率や発酵性によって決定される。なおルーメンの分解率はデンプンの給源や加工方法(圧片、スチーム加工など)、摂取量に影響される。

このため、未加工の穀類、とりわけトウモロコシやソルガムのデンプンのルーメン分解率は60%以下でしかない。

飼料原料のデンプン含量と、デンプンのルーメン分解率の間には弱い相関($\gamma^2=0.29$)がある。これはデンプン含量の低い飼料ほど、ルーメンでの分解率は高くなるということである。

ルーメン内での各穀物の分解速度を比較すると、小麦、大麦、エン麦などの麦類の方が、トウモロコシやマイロよりも早いということである。分解速度と分解率とは異なり、分解率には穀物間の差はなかった。

なお、ルーメン内分解率は、飼料中のデンプン含量が40%以下(乾物中)の場合、最高になった。

穀粒は全粒のまま与えられる場合もあるが、一般には粉碎してから給与している。粉碎の効果は、ルーメン内で発酵されるデンプンの割合を増加し、その変動を減少することである。

例をトウモロコシにとると、ルーメン内の発酵度は加工前の58%から、加工後の85%といった具合に飛躍的に増加する。

飼料摂取量も大きな要因である。飼料粒子の分解速度やルーメンの通過速度にも関係し、かりに摂取量が増えると通過速度が早まり、ルーメン内のデンプン分解率が低下する。

これとは逆に採食量が制限されると、通過速度が遅くなり、デンプンのルーメン発酵率は上昇する。

しかし今までの研究によると、デンプンの摂取量とデンプンのルーメン内消化率、全消化管消化率との間には、明らかな関係は示されていない。

また、デンプンのルーメン内消化には限度がない、とよくいわれているが、実際には鼓脹症、アシドーシス、蹄葉炎、肝腫瘍などの代謝病は、穀類の多給による障害の結果であり、デンプンの有機酸へと急激な発酵がその原因といえる。

代謝病を防ぐためいろいろな手段が講じられている。飼料添加物、飼料の加工、管理上のテクニックなどは、発酵速度のスローダウンを計ること、産生した有機酸の中和で、その副作用を軽減することなどが目的である。

ルーメンでの分解を免れた、いわゆるバイパスデンプンは小腸に達し、ここで酵素による消化作用を受ける。その後内容物は小腸、結腸へと移動し、最後に発酵作用が始まる。

全消化管消化率は、穀類の処理加工方法をいろいろ変えても大差はない。つまり、ルーメンで多く消化された場合は、ルーメン以降の小腸などの消化管で少ししか消化されないことになる。

また、ルーメンでの消化を免れたデンプンが多くなるほど、腸内で消化されるデンプンは多くなる。

小腸へのデンプンの流入量が増えると、デンプン自体の消化率は90%前後から、50%以下に低下するのも事実である。

デンプンの全消化管消化率は、ルーメン内消化率や、小腸内消化率に比べ、比較的一定である。

この理由は小腸での発酵が上部消化管における消化率の高低を代償するからで、まさに自然の妙というものである。

これまでの研究報告をみると、健康な家畜が普通の飼料を食べている場合、デンプンの全消化管消化率は、90~100%の範囲に入る。

デンプンはルーメン内で発酵した場合、VFAとか乳酸といった有機酸と、菌体蛋白質を産生する。

有機酸はルーメン壁から吸収され、微生物からの菌体蛋白質は小腸で消化され、アミノ酸として吸収される。

デンプンは小腸内で、膵臓と腸粘膜からの酵素により加水分解され、グルコースを遊離する。

ここで問題が起る。小腸に流入したデンプンの完全な消化と、その消化物から遊離したグルコースの吸収には、膵臓から分泌される酵素、膵アミラーゼ活性が十分必要であるのに、それが限定的でしかないというのである。この説は今のところ十分な確証がないが、有力視されつつある。

もう1つ問題がある。よく見られる現象であるが、高繊維質飼料にデンプンを加えて給与すると、繊維の消化率は低下する。つぎに起る現象は、牛が繊維性飼料を自発的に食べなくなるということである。

最近の多くの飼養システムで強調されているのは、ルーメン内での炭水化物の発酵と窒素源の発酵を同期化することである。

ルーメンでのアンモニアの吸収が高率である場合、プロトゾアや細菌の窒素利用が関係するのだが、エネルギーの供給が制限因子になっている。

粗飼料給与と下の去勢牛にデンプン源を給与することで、ルーメンからの細菌の流出が増加する。このためデンプンと窒素(蛋白質)のルーメン内での発酵を同時化させることが大切である。この問題については多くの研究が、その有益性を認めている。

○吸収後の代謝

デンプンの消化吸収により生成する中間代謝物のうち、最も重要なものはグルコースである。

グルコースの供給経路は2つあり、1つは小腸におけるデンプン消化時に直接的に取り込まれる場合、2つ目はプロピオン酸、乳酸、アミノ酸から糖新生を通して、間接的な経路を経て取り込まれる場合である。

反芻家畜では、生体に流入するグルコースのうち、前者の経路は25%以下であり、糖新生の経路が主要な経路といえる。

グルコースの要求量は生産のための要求量と結びついており、DE または ME 摂取量の関数として計算される。

これには体重、品種、生産目的などいろいろな要因が関係しているが、多くの試験結果をふまえて、つぎの関係式が成立した。

$$\begin{aligned} \text{肝臓の糖新生} &= 0.046\text{DE 摂取量} - 0.014 \\ \text{グルコースの不可逆的損失} &= 0.034\text{DE 摂取量} + 0.224 \end{aligned}$$

図1は肉牛と乳牛のDE摂取量の関数で表わされたグルコース代謝の回帰式である。1つは24のデータポイントから得られたグルコースの不可逆的損失についての回帰式(相関係数=0.92)。他は26のデータポイントから得られた肝臓の糖新生回帰式である。(相関係数=0.80)。

図1に示すDE摂取とグルコース代謝の関係は、体重や品種、飼料の組成、生産目的など、多岐にわたるデータのばらつきのほとんどを吸収していることになる。

体重など上記のいろいろな要素は、当然DE摂取に反映されている。例えばDE摂取量が最大なのは大型のホルスタイン種の泌乳牛の場合である。

また、DE摂取量を最大にする手段は、穀類などのデンプン含量の高い飼料を多量に給与することである。

図1をみると、生産上の要求に対応したグルコースのリサイクルについて、いくつかの情報を示している。

肝臓における糖新生が生体へのグルコース流入の75%以上を供給すること。またグルコースの不可逆的損失が、グルコースの最終的な損失を意味するとするなら、この例として乳への乳糖としての分泌、二酸化炭素としての呼気排出が挙げられる。

図1の直線間の空間は、生体内におけるグルコースのリサイクルについての最低推定値を示すものである。

リサイクルされたグリコーゲンの主な経路は、①肝臓内のグリコーゲンの産生、②グリコーゲンの分解、③筋肉内な同様なグリコーゲンの変化、④糖原性アミノ酸を経由する炭素の動き、⑤脂質代謝におけるグリセリンの形での炭素の動きなどである。

したがって、高デンプン飼料によって供給されたエネルギーは、多くの経路を通して代謝の必要に応じるものと考えられる。

図1はまたDE摂取量が多くなるほど、肝臓での糖新生とグルコースの不可逆的な損失とのギャップが大きくなることを示している。

このことは泌乳牛の方が、育成牛よりもグルコース炭素のリサイクルが代謝的に重要であることを物語っている。

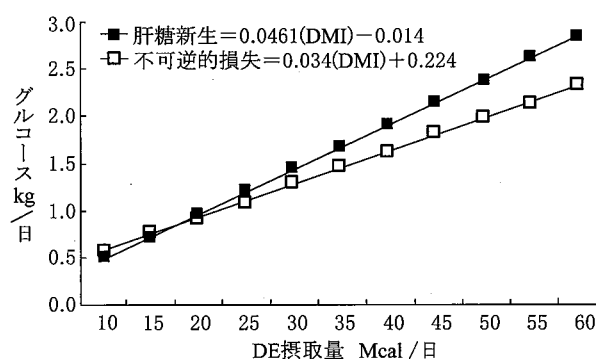


図1 グルコースの肝臓における糖新生と不可逆的損失
G.B.Huntington (2000)

○実際への応用

生産に必要なDEが十分に供給されていることを前提として考えると、乳牛では乾物中19%、肉牛では30%のデンプンが含みさえすれば、要求量以上のグルコースが供給されることになる。

したがって肉牛の育成牛や肥育牛において、グルコースの不足することはない。この理由は給与飼料の50%以上に穀類が配合されているためである。

具体的な数字を挙げると、デンプンの摂取限界は1日5~7kgが肥育牛の限界といえる。肥育用子羊は0.7~1.0kg、高泌乳牛(乳量35kg/日以上、乾物摂取量25kg/日以上)は2kg以下ということである。

デンプンは実際の家畜飼育において、不足することはない。過多の給与が問題で、どの程度まで耐えるかという目安が欲しいわけである。

【おしらせ】

家畜栄養生理研究会 平成25年秋季集談会開催のお知らせ

家畜栄養生理研究会の平成25年秋季集談会を下記のように開催致します。多数のご参加をお願い致します。

日時：平成25年11月9日(土) 13:00~17:00 集談会

場所：熊本国際交流会館 (〒860-0806 熊本市中央区花畑町4番18号)

TEL:096-359-2020 FAX:096-359-5783 <http://www.kumamoto-if.or.jp/kcic/>

懇親会・宿泊場所：平山温泉 恵荘 (熊本県山鹿市平山5300)

TEL:0968-44-0830 <http://megumisou.com/index2.html>

プログラム：

- 13:00~13:40 カンショ焼酎粕濃縮液を利用した肉用牛肥育技術の開発
神谷 充 (農研機構・九州沖縄農業研究センター)
- 13:40~14:20 *In vitro* 暑熱ストレスモデルを用いたROS過剰産生機構の解明
吉田 隼巳 (東北大学大学院農学研究科、現 全国農業協同組合連合会飼料畜産中央研究所)
- 14:20~14:30 休憩
- 14:30~15:10 麹菌の栄養生理機能
大塚 彰 (鹿児島大学農学部生物資源化学科)
- 15:10~15:50 周年放牧肥育牛肉の生産技術と肉質特性
中村 好徳 (農研機構・九州沖縄農業研究センター)
- 15:50~16:25 The impact of retinoic acid on the fat cell differentiation (仮)
Katharina T. Stöcker (ミュンヘン工科大学生理学研究所)
- 16:25~17:00 Muscle development and intramuscular adipogenesis (仮)
Elke Albrecht and Steffen Maak (ライプニッツ家畜生物学研究所)

集談会参加費：会 員 無料/非会員 2000円(要旨集代金)

*懇親会に参加の方は、事務局へ9月30日までにご連絡ください。

問い合わせ先：

〒878-0201 大分県竹田市久住町大字久住字鶴が笹 4045-4

九州大学農学部附属農場・高原農業実験実習場 家畜栄養生理研究会 (事務局庶務担当：後藤貴文)

TEL:0974-76-1377 FAX:0974-76-1218 E-mail: eiyoiseiri2011@gmail.com

HP: http://www.agr.kyushu-u.ac.jp/lab/kuju_hp