

## クエン酸粕の反芻家畜に対する飼料価値

富田裕一郎・林 国興・橋爪徳三

(家畜栄養学研究室)

昭和57年 8月10日 受理

### The Nutritive Value of the Dehydrated Citric Acid-Extracted Cake for Ruminants

Yūichirō TOMITA, Kunioki HAYASHI and Tokuzo HASHIZUME

(Laboratory of Animal Nutrition)

#### 緒 言

クエン酸粕は甘しょデンプン粕を主体とする固型培地に黒麹菌 (*Aspergillus niger* USAMI) を接種、培養し、クエン酸発酵を行わせた麴のクエン酸抽出残渣であり<sup>3)</sup>、鹿児島および宮崎両県の3工場で、年間約10,000tの抽出粕(乾物換算約2,000t)が生産されている。しかし、一般成分値以外の成分特性および動物試験に基づく飼料価値は明らかにされていない<sup>10)</sup>。

そこで、本報告は、ADF\*<sup>1</sup>、NDF\*<sup>2</sup>および主要無機成分量を明らかにするとともに、めん羊による一般成分およびエネルギーの消化率を求め、飼料価値を明らかにすることを目的として行った。また、乾燥デンプン粕、乾燥甘しょおよび乾草についても同様に分析、試験し、これらの飼料価値について比較検討したものである。

#### 材 料 と 方 法

##### 1. 供試原料

###### (1) 乾燥クエン酸粕

新上村化学株式会社(加世田市)産の火力乾燥品を用いた。

###### (2) 乾燥甘しょデンプン粕

火力乾燥品を用いた。

###### (3) 乾燥甘しょ

鹿児島県産甘しょコガネセンガン種の火力乾燥品で、粉砕して供試した。

###### (4) 乾草

本報告の概要は第31回西日本畜産学会大会(1980年11月、熊本市)において発表した。

\*<sup>1</sup> 酸性デタージェント繊維(acid detergent fiber)

\*<sup>2</sup> 中性デタージェント繊維(neutral detergent fiber)

昭和54年3月鹿児島県畜産試験場産、イタリヤンライグラスとトールフェスクを主体とする5種混播牧草地の1番刈りの乾草と昭和53年9月~10月本学入来牧場産オーチャードグラスと野草メヒシバを主体とする牧草地の2番刈りをそれぞれ3~5cmに細切し、約2:1の割合で混合したものである。

##### 2. 消化試験

###### (1) 供試めん羊

鹿児島大学農学部附属入来牧場、昭和53年産のコリデール種、去勢雄めん羊4頭、供試時月令15~16カ月、体重約46~49kgのものをを用いた。

###### (2) 試験飼料

消化試験には前述の4種の供試原料を市販乳牛用配合飼料に混合し、下記のような試験飼料を給与した。すなわち、乾草と配合飼料を1:1の割合で混合した基礎飼料(A)、A飼料にそれぞれ30%のクエン酸粕、デンプン粕および甘しょを混合したB、CおよびD飼料と、乾草のみのE飼料の5種である。これらはあらかじめ各原料別に、1頭あたりの1日分量を計量し、ビニール袋に詰め、密封し、給与前まで冷蔵した。

###### (3) 消化試験方法

めん羊を消化試験ケージに入れ、24°±1°C、55±10%RHの恒温室中で飼養した。あらかじめ糞袋をとりつけ、乾草を給与して順馳を行った。

消化試験期間には各試験飼料ごとに、予備飼育10~14日間、本試験(糞袋により全糞採取)を5日間とした。全試験期間は昭和54年4月~7月にわたった。

消化試験は、まず乾草のみのE飼料について全4頭を供試し、残りのA~Dの試験飼料についてはラテン方格法に基づいて試験した。

試験飼料の給与量は、あらかじめ残飼がほとんどない程度の量について検討し、さらに山下、後藤<sup>13)</sup>や

Table 1. Body-weights of sheep and feed intakes

|   | Experimental feed |       |       |       |       |
|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|   | A<br>(Basal)      | B     | C     | D     | E     |
| Mean body-wt. (kg, 4 animals/experiment)  |                   |       |       |       |       |
| Initial                                   | 47.65             | 47.35 | 46.75 | 46.33 | 48.95 |
| Final                                     | 47.50             | 47.50 | 47.33 | 46.95 | 47.65 |
| Feed intakes (Air-dry matter g/day/sheep) |                   |       |       |       |       |
| C. E. Cake* <sup>1</sup>                  | —                 | 240   | —     | —     | —     |
| S. P. Pulp* <sup>2</sup>                  | —                 | —     | 240   | —     | —     |
| S. P. Meal* <sup>3</sup>                  | —                 | —     | —     | 240   | —     |
| Mixed Hay                                 | 399               | 280   | 280   | 270   | 604   |
| Formula Feed* <sup>4</sup>                | 400               | 280   | 280   | 280   | —     |
| Total                                     | 799               | 800   | 800   | 790   | 604   |

\*<sup>1</sup> Citric acid-extracted cake: Dehydrated residue left after extracting citric acid from citric acid-koji with water.

\*<sup>2</sup> Sweetpotato starch pulp: Sweetpotato starch process residue, dehydrated.

\*<sup>3</sup> Sweetpotato meal: Sweetpotato roots, dehydrated and ground.

\*<sup>4</sup> Commercial formula feed for milking cows.

須藤, 内田<sup>11)</sup> などの報告も参照し, 1日1頭あたり風乾原物 800g とした. 1日分を約半量ずつ, 朝 (8:30) と夕 (16:30) の2回に分けて与えた. 水および鈹塩は自由に摂取させた.

体重は消化試験の開始時および終了時に測定し参考とした (Table 1).

飼料摂取量は給与量と個体別に毎日残飼を回収し, 風乾, 秤量した残飼量との差で示した. 残飼はすべて乾草のみであった (Table 1).

排泄糞は消化試験期間中 (本試験の5日間), 毎朝飼料給与前に糞袋を交換し, 1頭ごとに全糞を凍結保存したのち, 全5日分をまとめて秤量し, 充分混和した. そのうちの一定量を秤取して 60°~70°C で通風乾燥後, 1週間室内に静置し, 秤量し全風乾量を算出した.

(4) 成分分析, 総エネルギー価の測定および栄養価の算出

供試原料, 配合飼料および風乾糞は全て 1mm 以下に粉碎し分析に供した.

飼料および糞中の一般成分については常法<sup>5)</sup> に従い, 総エネルギー価については改良型燃研式断熱熱量計 (B型, 佐竹製) を用いて測定した<sup>5)</sup>. 飼料原料の ADF は AOAC 法<sup>1)</sup>, NDF は Van Soest・Wine の方法<sup>15)</sup> により, 無機成分は湿式灰化<sup>4)</sup> 後, K は炎光分析法<sup>4)</sup>, Ca, Mg, Na は原子吸光分析法<sup>4)</sup>, P はモリブデン・ブルー比色法<sup>12)</sup> により定量した.

各供試原料の各成分消化率は, 各試験飼料の各成分

消化率と基礎飼料 (A 飼料) の各成分消化率との差から算出した<sup>5)</sup>. 乾草 (E 飼料) のみは得られた消化試験結果を消化率とした. これらの消化率と各成分含量とから可消化養分量を求めた.

## 結果および考察

### 1. クエン酸粕の成分的特性

クエン酸粕, 他の供試原料および市販配合飼料の一般成分量, 総エネルギー価 (GE), ADF, NDF および主要無機成分量を Table 2 に示した.

クエン酸粕の乾物あたりの一般成分量を甘しょおよびデンプン粕の成分量と比較すると, 粗脂肪, 粗繊維および粗灰分は, クエン酸粕に多いが, 粗脂肪はその絶対量が少ない. 粗繊維は乾物の約1/3を占め, とくに多く, 甘しょの約25倍, デンプン粕の2倍強であった. また, 粗灰分も比較的多く, 乾物の約9%を占め, ほかの2原料の約3倍の含有量を示した. 一方, 粗タンパク質 (CP) は, 元来甘しょやデンプン粕には少ない成分であるが, クエン酸粕ではこれら両者のほぼ中間的な3%強の値を示し, 菌体などに由来するものと考えられる. 可溶無窒素物 (NFE) は甘しょやデンプン粕にはとくに多量に含まれる成分であるが, クエン酸粕がおもにデンプン粕中のデンプンを利用する微生物の発酵残渣であるので, この NFE の含有率は約54%と当然少なく, 甘しょの約60%, デンプン粕の約67%に相当した. GE は 3.84 Mcal/kg であり, 甘しょの約95%, デンプン粕の98%に相当する値を示し, こ

Table 2. Chemical compositions and gross energy values of feeds

|                              | C. E.*<br>Cake |      | S. P.*<br>Pulp |      | S. P.*<br>Meal |      | Mixed<br>Hay |      | Formula*<br>Feed |      |
|------------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|--------------|------|------------------|------|
|                              | As<br>Fed      | Dry  | As<br>Fed      | Dry  | As<br>Fed      | Dry  | As<br>Fed    | Dry  | As<br>Fed        | Dry  |
| Dry matter (%)               | 87.3           | —    | 87.4           | —    | 93.1           | —    | 89.2         | —    | 87.1             | —    |
| Crude protein (%)            | 2.9            | 3.3  | 1.5            | 1.7  | 5.4            | 5.8  | 8.0          | 9.0  | 15.9             | 18.2 |
| Crude fat (%)                | 1.2            | 1.4  | .5             | .6   | .6             | .6   | 1.2          | 1.3  | 2.4              | 2.8  |
| Nitrogen free<br>extract (%) | 46.8           | 53.6 | 70.0           | 80.1 | 83.3           | 89.5 | 41.3         | 46.3 | 57.0             | 65.4 |
| Crude fiber (%)              | 28.6           | 32.8 | 13.2           | 15.1 | 1.2            | 1.3  | 29.6         | 33.2 | 4.4              | 5.1  |
| Crude ash (%)                | 7.8            | 8.9  | 2.2            | 2.5  | 2.6            | 2.8  | 9.1          | 10.2 | 7.4              | 8.5  |
| Gross energy<br>(Mcal/kg)    | 3.35           | 3.84 | 3.44           | 3.93 | 3.75           | 4.03 | 3.75         | 4.20 | 3.70             | 4.25 |
| Detergent fiber (%)          |                |      |                |      |                |      |              |      |                  |      |
| Acid-                        | 53.9           | 61.7 | 23.8           | 27.2 | 2.5            | 2.7  | 41.1         | 46.2 | 8.3              | 9.5  |
| Neutral-                     | 62.8           | 71.9 | 67.4           | 77.1 | 84.7           | 91.0 | 63.2         | 70.9 | 33.3             | 38.2 |
| Ca (%)                       | .73            | .82  | .41            | .46  | .15            | .17  | .18          | .20  | .58              | .65  |
| P (%)                        | .16            | .18  | .02            | .02  | .28            | .30  | .31          | .35  | .79              | .91  |
| Mg (%)                       | .02            | .02  | .11            | .12  | .07            | .08  | .14          | .16  | .22              | .25  |
| Na (%)                       | .04            | .04  | .03            | .03  | .08            | .09  | .08          | .09  | .46              | .52  |
| K (%)                        | .08            | .09  | .16            | .18  | .99            | 1.11 | 1.67         | 1.87 | .99              | 1.11 |

\* See footnote of Table 1.

れらよりやや少ない程度であった。このクエン酸粕の成分値を乾草の値と比較すると、粗脂肪、粗繊維および粗灰分についてはほとんど変わらないが、CP および GE は乾草が高く、それぞれ約3倍および1.1倍を示した。NFE は逆にクエン酸粕が多く、乾草の約1.2倍の値を示した。

つぎに、ADF, NDF および無機成分量について前記と同様に比較すると、クエン酸粕の ADF 量は約62%で甘しょの約23倍、デンプン粕の2倍強の値を示し、粗繊維と同様の傾向を示した。NDF 量は逆の傾向を示したが、ADF 量ほどの差はなく、甘しょの約80%、デンプン粕の約93%であった。デタージェント（界面活性剤）分析法は必ずしも繊維質成分の完全分画法ではないが、飼料の栄養的特徴を比較的簡便かつ正確に評価しうる特徴を有する<sup>6)</sup>。NDF 量は中性デタージェントに不溶の成分量を示し、植物細胞壁構成成分量を示すもので、ヘミセルロース、セルロース、リグニン、リグニン化窒素化合物、熱変性タンパク質、非酵素的褐変反応生成物、珪酸、飼料によってはケラチンなどを含んでいる<sup>14)</sup>。甘しょの NDF 量は90%強の値を示し、ADF 量は3%弱であった。この両者の差はヘミセルロースをあらわすが、甘しょ乾物の85%以上、すなわち大部分がこのグルカン以外の多糖類ということはある。デンプン工業においては、永浜<sup>7)</sup>によれば、生甘しょではデンプンの収率は85~89%である

のに対し、65°C で1~3時間温水処理を行ったあと脱汁し、さらに乾燥した甘しょでは66~74%に収率が低下するという。また、この温水処理で細胞壁の崩壊なしに圧搾脱汁が可能な理由として、蟹江ら<sup>2)</sup>は細胞壁周辺のペクチンがカルシウムと結合し架橋構造を増したため、一部はセルロースなどの結合の増加によることを示唆している。また、Van Soest<sup>4)</sup>は非酵素的褐変反応が一般に繊維やリグニンの定量値を大きくする原因になるとし、これをさけるためには50°C以下の温度による乾燥が望ましいとしている。本試験に供試した甘しょは70~80°Cの熱風乾燥を行ったものである。NFE中の主成分であるデンプンを含む組織の細胞膜の変性、タンパク質の不溶化、褐変反応生成物の生成などがおこり、またデンプン粒の表面も糊化や変化をおこし、おもにデンプンが中性デタージェントで溶出されなかったものと推察される。デンプン粕やクエン酸粕も甘しょとほぼ同様の温度条件で乾燥されたものと考えられるが、この両者にはデンプンはほとんど含まれないので、このNDF量とADF量との差は甘しょと異なりヘミセルロース量を示すものといえよう。

無機成分をみると、測定したCa, P, Mg, NaおよびKのうち、Caがクエン酸粕に多く含まれていたが、これは脱水時に石灰処理を行ったためと考えられ、このような処理を行ったものはCa給源として

も有用であろうと思われる。

## 2. クエン酸粕の栄養価

クエン酸粕の各成分消化率と、この消化率と成分値から求めた各可消化養分量を Table 3 に示した。また、他の供試原料の消化率および可消化養分量もあわせて示した。

クエン酸粕の乾物、有機物およびエネルギー消化率はそれぞれ57、64および57%を示し、乾草のこれらの消化率より高い有意差は見られなかった。甘しょおよびデンブン粕のこれらの各値に比べると15~20%低い値を示し、それぞれ有意差が認められた ( $P<0.05$ )。クエン酸粕およびデンブン粕の CP 消化率はいずれも0%であった。粗繊維の消化率はクエン酸粕で61%を示し、デンブン粕および乾草よりやや低率を示したが、有意差は認められず、甘しょのそれよりは有意に高率を示した ( $P<0.05$ )。粗脂肪の消化率はクエン酸粕が51%で、これと甘しょおよび乾草の消化率間に有意差が認められた ( $P<0.05$ )。NFE についてはクエン酸粕が70%を示し、平均値で甘しょおよびデンブン粕の消化率より約20%低く、乾草より15%高く、両者との間にも有意差が認められた ( $P<0.05$ )。これらの結果を全体的に見ると、クエン酸粕の消化率は CP を除き、乾草にほぼ近いが、これよりやや良いといえる。つぎに、可消化粗タンパク質 (DCP)、可消化養分総

量 (TDN) および可消化エネルギー (DE) を同様に比較すると、クエン酸粕はデンブン粕とともに CP の消化率が0%であったので、当然 DCP は含まれない。TDN は風乾物あたり52%、乾物あたり59%含み、乾草の約1.1倍量に相当し、甘しょおよびデンブン粕の約70%に相当する。また、DE はクエン酸粕では風乾物あたり 1.90 Mcal/kg、乾物あたり 2.18 Mcal/kg であり、乾草とほぼ等しく、甘しょの60~65%、デンブン粕の70%程度であった。甘しょおよびデンブン粕についてのこれら栄養価を、わが国の標準飼料成分表<sup>8)</sup>と比較すると、牛に対しては甘しょの TDN はほぼ一致し、DE はやや低く、デンブン粕の TDN は高く、DE は一致した。また、NRC の成分表<sup>9)</sup>と比較すると羊に対しては、甘しょおよびデンブン粕とも TDN はよく一致し、DE はやや低い。これらの成分表の値は多数の成績の平均値であるので、本試験の結果もほぼ近似するといえよう。クエン酸粕についての実験に基づく報告はないが、須藤<sup>10)</sup>は焼酎粕の消化率と似ているものと仮定し、これを用いて DCP は風乾物 (乾物90.6%) あたり1.6%、TDN 48.5%と算出している。これらを乾物あたりの値に換算すると、それぞれ1.8%、53.5%となる。本試験に用いたクエン酸粕の乾物は87.3%であったので、須藤の推定 TDN よりも高い値を示した。

Table 3. Digestibilities and nutritive values of feeds

|                                  | C. E.*<br>Cake    |      | S. P.*<br>Pulp     |      | S. P.*<br>Meal    |      | Mixed<br>Hay      |      |
|----------------------------------|-------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|
|                                  | As<br>Fed         | Dry  | As<br>Fed          | Dry  | As<br>Fed         | Dry  | As<br>Fed         | Dry  |
| <b>Digestibility</b>             |                   |      |                    |      |                   |      |                   |      |
| Dry matter (%)                   | 56.7 <sup>a</sup> |      | 82.9 <sup>b</sup>  |      | 84.5 <sup>b</sup> |      | 53.4 <sup>a</sup> |      |
| Organic matter (%)               | 64.0 <sup>a</sup> |      | 81.5 <sup>b</sup>  |      | 84.6 <sup>b</sup> |      | 58.0 <sup>a</sup> |      |
| Crude protein (%)                | 0                 |      | 0                  |      | 20.3 <sup>a</sup> |      | 46.8 <sup>b</sup> |      |
| Crude fat (%)                    | 50.8 <sup>a</sup> |      | 53.1 <sup>ab</sup> |      | 33.5 <sup>b</sup> |      | 32.4 <sup>b</sup> |      |
| Nitrogen free<br>extract (%)     | 70.3 <sup>a</sup> |      | 89.6 <sup>b</sup>  |      | 91.9 <sup>b</sup> |      | 54.7 <sup>c</sup> |      |
| Crude fiber (%)                  | 60.5              |      | 62.2               |      | 33.3              |      | 66.7              |      |
| Energy (%)                       | 56.7 <sup>a</sup> |      | 78.2 <sup>b</sup>  |      | 81.6 <sup>b</sup> |      | 52.8 <sup>a</sup> |      |
| <b>Nutritive value</b>           |                   |      |                    |      |                   |      |                   |      |
| Digestible<br>crude protein (%)  | 0                 | 0    | 0                  | 0    | 1.1               | 1.2  | 3.7               | 4.2  |
| Total digestible<br>nutrient (%) | 51.6              | 59.0 | 71.5               | 81.9 | 78.5              | 84.3 | 47.0              | 52.6 |
| Digestible<br>energy (Mcal/kg)   | 1.90              | 2.18 | 2.69               | 3.07 | 3.06              | 3.29 | 1.98              | 2.22 |

\* See footnote of Table 1.

Values with the different superscript (a, b, c in each line) are significantly different from each other ( $P<0.05$ ).

以上の結果から総合的にクエン酸粕の飼料価値について考察するならば、CP あるいは DCP では乾草におとるが、他の成分とくに粗繊維および粗灰分、エネルギー価の面では乾草に匹敵し、また、甘しょあるいはデンプン粕のエネルギー価の60~70%程度に相当する飼料価値を有することが明らかとなった。さらに、Ca 含量が高い特性を有することも認められた。

### 要 約

クエン酸粕（乾燥）の成分的特性を明らかにするとともに、めん羊による消化試験を行い、その飼料価値を明らかにした。

甘しょデンプン粕をおもな基質としたクエン酸発酵工業の抽出粕であるクエン酸粕の乾燥物（乾物87.3%）の粗タンパク質、粗脂肪、可溶無窒素物、粗繊維、粗灰分、酸性および中性デタージェント繊維量は、それぞれ乾物あたり3.3, 1.4, 53.6, 32.8, 8.9, 61.7 および71.9%であり、総エネルギー価は 3.84 Mcal/kg であった。無機成分中とくにカルシウム含量は高く、0.82%を示した。また、可消化粗タンパク質、可消化養分総量および可消化エネルギー価は、それぞれ乾物あたり0, 59%および 2.18 Mcal/kg であった。これらの成分および栄養価について、乾燥甘しょ、デンプン粕および乾草と比較した結果、タンパク質以外の成分、また可消化粗タンパク質を除くエネルギー価については乾草に匹敵する飼料価値を有することが認められた。

**謝辞** 本実験を行なうにあたり、昭和化工 KK 鹿児島研究所長 川原 一氏にはクエン酸粕およびデンプン粕の提供を、また現九動 KK 谷口英己君には実験上の協力をいただいた。記して深い謝意を表する。

### 文 献

- 1) AOAC: Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 12th edition. Horwitz, W. (ed.) p. 137-138, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C. (1975)
- 2) 蟹江松雄・永浜伴紀・藤本滋生: 温水処理甘しょの膜システムによる塊根成分の分画  $\beta$ アミラーゼの動向. 農化, **50**, 163-168 (1976)
- 3) 川原 一: クエン酸の工業的生産に関する研究 (第1報) デンプン粕を原料とする燻法クエン酸の製造. 昭和28年度鹿児島県工業試験場業務報告, 23-24 (1955)
- 4) 京都大学農芸化学教室編: 新改版農芸化学実験書 (増補) 第3巻. p. 1060, p. 917-922, 増補 p. 87-89, 産業図書, 東京 (1957)
- 5) 森本 宏監修: 動物栄養試験法. p. 280-395, 養賢堂, 東京 (1971)
- 6) 中村亮八郎: 新飼料学各論. p. 77-79, チクサン出版社, 東京 (1981)
- 7) 永浜伴紀: 私 信
- 8) 農林水産技術会議編: 1980 年版日本標準飼料成分表. p. 48-49, p. 52-53, 中央畜産会, 東京 (1981)
- 9) NRC: Atlas of nutritional data on United States and Canadian feeds. p. 652, National Academy of Science, Washington, D. C. (1971)
- 10) 須藤 浩: カス類飼料と給与法. p. 99-103, 養賢堂, 東京 (1975)
- 11) 須藤 浩・内田仙二: サイレージの調製法に関する研究 (第11報) イネワラサイレージ調製の際の糖ミツ尿素液体飼料および糖ミツ添加の効果. 岡山大農学術報告, **34**号, 57-64 (1969)
- 12) 東京大学農芸化学教室: 実験農芸化学上巻. p. 25-26, 朝倉書店, 東京 (1960)
- 13) 山下協人・後藤寛助: 豆腐粕の飼養試験. 農事試験場報告, **33**号, 39-60 (1906)
- 14) Van Soest, P. T.: Newer knowledge on the composition and methods of analysis of feeding stuffs. in Cuthbertson, D. (ed.), *International encyclopaedia of food and nutrition*. Vol. 17 (Part 1) *The science of nutrition of farm livestock*. p. 37-58. Pergamon Press, Oxford (1966)
- 15) Van Soest, P. T. and Wine, R. H.: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. The determination of plant cell-wall constituents. *J. Ass. Official Anal. Chem.*, **50**, 50-55 (1967)

### Summary

Nutritive value of the citric acid extracted cake as a feedstuff of ruminants was examined. This cake is the dehydrated residue brought forth by extracting citric acid from citric acid-koji with water.

The assessed chemical composition of the dehydrated citric acid-extracted cake (dry matter 87.3%) was fixed to be as follows (% in DM): crude protein 3.3, crude fat 1.4, nitrogen free extract 53.6, crude fiber 32.8, crude ash 8.9, acid detergent fiber 61.7, neutral detergent fiber 71.9, calcium 0.82, phosphorus 0.18. Gross energy value was 3.84 Mcal/kg of the dry matter.

---

Basing on the results of the digestion-experiments made in the castrated sheep, digestible crude protein, total digestible nutrient and digestible energy values were ascertained to be 0%, 59% and 2.18 Mcal/kg of DM, respectively.