

# ニワトリの盲腸内消化に関する研究

## II. 腸管内容の揮発性脂肪酸 (VFA) について

帆 足 喜久雄・長 野 慶一郎  
宇 野 宝 蔵・安 川 正 敏

### Studies on the Cecal Digestion in Fowls

#### II. On the Volatile Fatty Acid (VFA) in the Intestinal Contents

Kikuo HOASHI, Keiichirō NAGANO, Hozō UNO  
and Masatoshi YASUKAWA

(Laboratory of Veterinary Physiology)

ニワトリの盲腸は、哺乳動物と比較すると、その形状を著しく異にしているが、その生理的機能については不明な点が多い。前報<sup>1)</sup>において、盲腸内容物の一般的組成について、他の腸管と比較して報告した。この結果、dry basis に対する%において、小腸—盲腸間の含量に有意差があるのは、粗蛋白質、粗灰分ならびに蛋白態窒素である、ことを知った。ところで、ウサギの盲腸の重要な生理的機能は、粗線維の消化、吸収にあるとされている。この点についても吟味したが、一般分析した結果、とくに有意の変動は認められなかった。しかし、他の成分変動とのからみ合いという点で、粗線維消化に関し、今後検討することとして、問題を提起しておいた。

さて、ニワトリ盲腸の粗線維消化に関する従来の業績をみると、田先<sup>2)</sup>は、盲腸内には微生物が多数共生していて、これがニワトリに何らかの作用をしているものと考え、その一つは cellulose の消化にある、と述べている。cellulose の消化に関しては、MANGOLD<sup>3)</sup>、HENNING<sup>4)</sup>らをはじめ、近年は、中広ら<sup>5)</sup>、勝木ら<sup>6)</sup>、窪田ら<sup>7)</sup>、THORNBURN ら<sup>8)</sup>が、粗線維の消化率を測定することによって検討を加え、盲腸の機能を考察している。しかし、その消化過程については全く触れていない。

つぎに、渡部ら<sup>9)10)</sup>は、反芻動物の第一胃内消化と対比して、ニワトリ消化管内での VFA の産生ならびに吸収を検討している。また、ANNISON ら<sup>11)</sup>は、消化管各部位に VFA の存在することを認め、とくに盲腸に多いこと、腸内微生物の関与の大きなること、を述べている。

著者らは、cellulose の消化過程を解明する手がかり

りとして、ガスクロマトグラフィーを用いて、腸管内の揮発性脂肪酸 (VFA) を定量分析した。また、盲腸基部を結紮し、内容の出入を止めた上で、さらに一側の盲腸に分布する血管をすべて結紮し、対側の盲腸を対照として、VFA の産生および吸収の変化を検討した。

### 実験方法

1. 供試鶏 前報<sup>1)</sup>と同一種、同一条件で飼養したものを、11羽使用した。
2. 腸管内容の採取 採取方法は前報<sup>1)</sup>に詳しく述べてあるが、蒸発皿に収容した後の内容物は、本実験の性質上、直ちに homogenizer によって均一化した。その後、各部位別に容量を測定した。
3. pH の測定 前報<sup>1)</sup>に従った。
4. 固形物の測定 採取した内容物の一部を、常法に従って恒量値を求めた。押麦は、粉碎後、孔径 1 mm のふるいを通過してえられたものについて定量した。
5. 分析方法 A) VFA 抽出 a) 濃縮 試料を直径 7.5 cm の蒸発皿にとり、これに 2 N NaOH を加えて pH を 11.0~12.0 とした後、100~103°C の定温乾燥器中で全容量が約 5 ml になるまで濃縮した。  
b) 水蒸気蒸溜 濃縮した試料は、蒸溜水を加えて約 10 ml にした後、これに 2 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を加えて pH を 1.0~2.0 とし、水蒸気蒸溜を行なった。受器には、0.1 N NaOH 10 ml を加えておき、全容量が 300 ml になるまで蒸溜を継続した。  
c) 滴定および濃縮 この溜出液は、フェノールフ

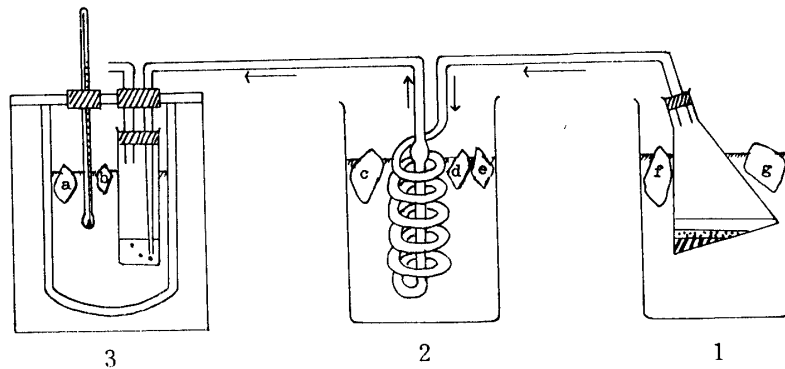


Fig. 1. Apparatus for esterification of volatile fatty acid  
a, b, c, d, e, f, g, : Ice cube

タレイン液を指示薬として、 $0.1\text{ N H}_2\text{SO}_4$  で滴定し、中和した。これに過剰の  $0.1\text{ N NaOH}$  を加えてアルカリ性とした後、蒸発皿に移し、容量が  $40\text{ ml}$  になるまで濃縮した。

d) VFA 抽出 この濃縮液に蒸留水  $10\text{ ml}$  を加え、さらに  $2\text{ N H}_2\text{SO}_4$  で  $\text{pH}$  を  $1.0\sim 2.0$  にしてから、エーテルを用いて分液操作を5回行った。毎回、分液に用いたエーテル層は、 $300\text{ ml}$  の三角フラスコに集め、無水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  で一昼夜脱水した。

e) エーテル溜出 脱水した抽出液は、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を濾別した後、液体用脂肪抽出器でエーテルを溜出した。全量が  $1\text{ ml}$  になったとき、直径  $1.5\text{ ml}$ 、高さ  $5\text{ ml}$  の秤量びんに移し、さらに  $41\sim 43^\circ\text{C}$  の湯浴中で、 $0.5\text{ ml}$  になるまで濃縮した。

B) メチルエステル化処理 VFA をガスクロマトグラフィーで分析する場合、遊離脂肪酸の形で行なうよりも、メチルエステル化した方が良い結果がえられる。しかし、VFA のメチルエステルは、その沸点が低いために、試料が損失する危険性がある。このため、VFA をメチル化するさいには、ジアゾメタンを用いる方法以外は使えない、といわれている<sup>12)</sup>。

著者らは、ジアゾメタンの合成にニトロソメチル尿素<sup>13)</sup>を用い、メチルエステル化にさいしては、丸山の方法<sup>14)</sup>を参考にして、Fig. 1のように試作した装置を用いた。すなわち、1のピーカーには、 $100\text{ ml}$  の三角フラスコを置き、この中に  $50\%$  KOH  $2\text{ ml}$  ならびにエーテル  $5\text{ ml}$  を入れ、氷を浮かせた水で冷却しておく。2のピーカーにも氷水を満たし、これに図のようならせん管を入れる。3は分取用のデュワービンで、試料を入れた容器を収容し、常に  $2\sim 4^\circ\text{C}$  に保っておく。この全装置を接続した後、1の三角フラスコの中に、ニトロソメチル尿素  $2\text{ gm}$  を加える。直ちにジアゾメタンが発生し、らせん管を経由して試料

中に送りこまれ、メチルエステル化する。渡辺<sup>15)</sup>によると、メチル化の反応は数分~10数分で完結し、ジアゾメタンの過剰によって溶液が黄色を帯びるようになる、という。著者らは、ニトロソメチル尿素添加後、10分間メチル化を行なった。

C) ガスクロマトグラフィーの諸条件 使用したガスクロマトグラフは、島津 GC-1B 型で、HFD-1型の水素炎イオン化検出器で行なった。カラムは、ステンレススチール製で内径  $4\text{ mm}$ 、長さ  $750\text{ mm}$  の単位U字管を5本連結した。充てん剤は、Silicone DC 550-stearic acid  $30\%$  (担体、 $60\sim 80\text{ mesh}$  の Shimalite) を用いた。キャリアーガスは  $\text{N}_2$  で、流速  $20\text{ ml/min}$ 、 $\text{H}_2$  および air の流速は、それぞれ  $35\text{ ml/min}$ 、 $0.8\text{ l/min}$  で、カラム温度は  $99^\circ\text{C}$  で分析した。試料の注入量は  $0.2\sim 0.4\ \mu\text{l}$  であった。

D) ガスクロマトグラム定量と定性 VFA の定量は、ピーク高法によってなされた。まず、酢酸 (以

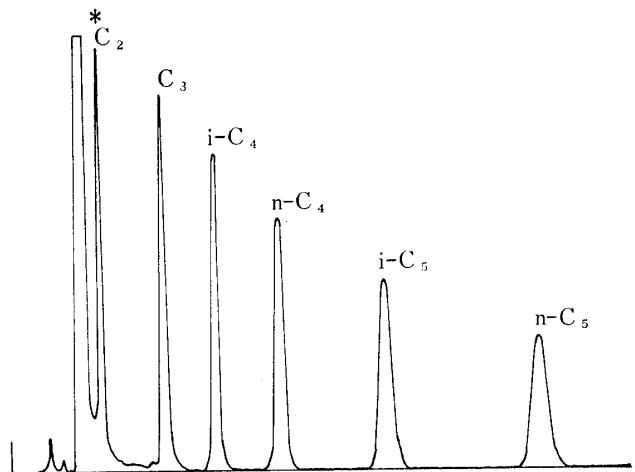


Fig. 2. Chromatogram of methyl-esterified volatile fatty acids

\*, The same as Table 1.

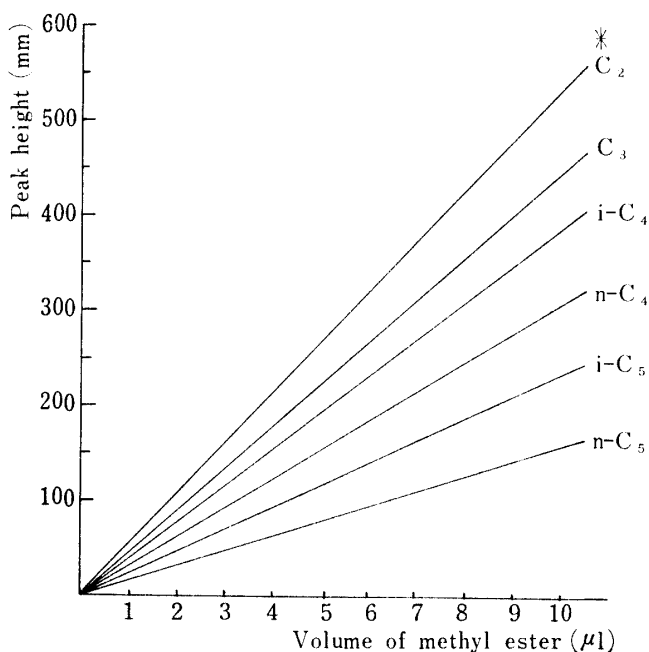


Fig. 3. Calibration curve of methyl-esterified fatty acids

\*, The same as Table 1.

下,  $C_2$  と略す), プロピオン酸 ( $C_3$ ), イソ酪酸 ( $i-C_4$ ), 正酪酸 ( $n-C_4$ ), イソ吉草酸 ( $i-C_5$ ), 正吉草酸 ( $n-C_5$ ) 各  $10 \mu l$  にエーテルを加えて  $1 ml$  とし, 前述の方法で分離を行なったところ, Fig. 2 に示した分離曲線がえられた。

つぎに, これらの VFA  $1 \sim 10 \mu l$  をエーテルと混合して, 分離してえられたガスクロマトグラムのピーク高を測定する。ピーク高と VFA 濃度は非常によく比例し, Fig. 3 のような検量線を得た。

ところで, Fig. 2 でみるように, VFA 濃度が同一であっても, Rt の長さによって, そのピーク高は漸減する傾向がある。著者らは, 定量を内部標準法<sup>16)</sup>に準じて行なった。基準物質は,  $i-C_5$  メチルあるいは  $n-C_5$  メチルの 50 倍稀釈液を用いた。これらを基準として VFA 量を算定するために, それぞれ両者のピーク高を 1 とした時の各 VFA のピーク高の割合を算定し, これを補正係数として使用した。VFA 総量は, 案出したつぎの式によって求めた。

$$\left( \frac{A \times B \times \frac{2}{C} \times D \times 1000}{E} \right) \times F \times G \text{ (mg)}$$

但し, A. 内部標準物質として使用した基準物質容量

B. 基準溶液  $50 ml$  中に含まれる基準物質の重量

C. 基準溶液  $2 ml$  のメチル化後の容量

D. 試料総量に換算する係数 (総量/分析供試量)

E. 基準物質のピーク高

F. 各 VFA 分画のピーク高

G. 基準物質に対する各分画の補正係数

ガスクロマトグラムに現われたピークの同定は, 試料中の適当量の推定標準物質を混入して分析し, 混じらない時のガスクロマトグラムと比較することによりなされた。

6. 盲腸結紮実験 ニワトリは, Hexobarbital Sodium の静注によって麻酔後, 右側腹部から開腹して以下の操作をした。なお, 実験例は 6 例であった。

a) 盲腸基部結紮 左右盲腸を, 損傷せしめないようにできるだけ引き出し, 両側の盲腸基部を結紮した。

b) 血管結紮 実験に先だて, 盲腸への血管分布を知るために, Neoprene latex 601 A を右側頸動脈より注入して分布の状態を調べた。この資料を参考にして, 右側に分布する血管をすべて結紮した。

c) 以上の施術を終了した盲腸は, 再び体内に納め腹壁を縫合した。術後  $8 \sim 10$  時間して致死せしめ, 以下, 前述の方法で左右盲腸の内容物を採取し, 処理して分析に供した。

## 成 績

1. 押麦中の VFA 給与した押麦中に存在する VFA は Table 1 に示したように,  $C_2$  のみが認められ ( $0.88 mg/gm$ ), 他の分画は認められなかった。

2. 腸管内容物の pH 各部位の平均値は, 小腸 6.26, 右盲腸 6.52, 左盲腸 6.59, 結腸 5.78, その

Table 1. Concentration of volatile fatty acids in the pressed barley ( $mg/gm$ )

* $C_2$	$C_3$	$i-C_4$	$n-C_4$	$i-C_5$	$n-C_5$	Total of VFA
** $0.88 \pm 0.01$	0	0	0	0	0	$0.88 \pm 0.01$

\*,  $C_2$ , Acetic acid.  $C_3$ , Propionic acid.  $i-C_4$ , iso Butyric acid.  $n-C_4$ , normal Butyric acid.  $i-C_5$ , iso Valeric acid.  $n-C_5$ , normal Valeric acid.

\*\*, Mean  $\pm$  standard error.

平均値の信頼限界は、それぞれ 6.04~6.48, 6.03~6.88, 6.12~6.92, 5.33~6.23 であった。左右の盲腸の平均値間には、有意差 ( $\alpha=0.05$ ) は認められなかった。

3. 腸管内容物の固形物量 平均値を各部位別で示すと、小腸が 2.25 gm で最も多く、右盲腸 0.53 gm, 左盲腸 0.49 gm, 結腸 0.25 gm であった。平均値の信頼限界は、前掲の順に 1.45~3.05 gm, 0.33~0.73 gm, 0.22~0.76 gm, 0.09~0.41 gm で、左右の盲腸

の間に有意差はなかった。

4. 腸管内容物の VFA 分析した 11 例の成績は Table 2 に示した。腸管 4 部位を合計した数値をあげると、つぎの通りである。VFA 総量の平均値は 44.59 mg であった。なお、Fig. 4 は、同じニワトリの各部位のガスクロマトグラムの一例を示したものである。分画別にみると、 $C_2$  が最も多く VFA 総量の約 60% を占めている。これにつぐのは、 $C_3$  と  $n-C_4$  で、他の 3 分画は少なかった。つぎに、各部位別の

Table 2. Net of volatile fatty acids in the intestinal contents (mg)

Portion***	* $C_2$	$C_3$	i- $C_4$	n- $C_4$	i- $C_5$	n- $C_5$	Total of VFA
SI	**8.23 $\pm$ 2.12	0.87 $\pm$ 0.71	0.08 $\pm$ 0.06	0.52 $\pm$ 0.46	0.41 $\pm$ 0.14	0.20 $\pm$ 0.14	10.31 $\pm$ 2.84
$C_R$	7.43 $\pm$ 1.03	2.99 $\pm$ 1.00	0.38 $\pm$ 0.16	3.63 $\pm$ 1.44	0.56 $\pm$ 0.13	0.50 $\pm$ 0.14	15.49 $\pm$ 3.48
$C_L$	7.95 $\pm$ 1.25	2.87 $\pm$ 0.57	0.22 $\pm$ 0.08	2.25 $\pm$ 0.67	0.55 $\pm$ 0.15	0.45 $\pm$ 0.14	14.29 $\pm$ 3.56
$C_0$	3.27 $\pm$ 0.65	0.51 $\pm$ 0.31	0.00	0.53 $\pm$ 0.33	0.16 $\pm$ 0.03	0.05 $\pm$ 0.05	4.52 $\pm$ 1.33
Individual total content	26.88 $\pm$ 3.60	7.24 $\pm$ 2.00	0.68 $\pm$ 0.22	6.93 $\pm$ 2.49	1.67 $\pm$ 0.34	1.20 $\pm$ 0.94	44.59 $\pm$ 7.42

\*\*\*, SI, Small intestine.  $C_R$ , Right cecum,  $C_L$ , Left cecum.  $C_0$ , Colon.

\*, \*\*, The same as Table 1.

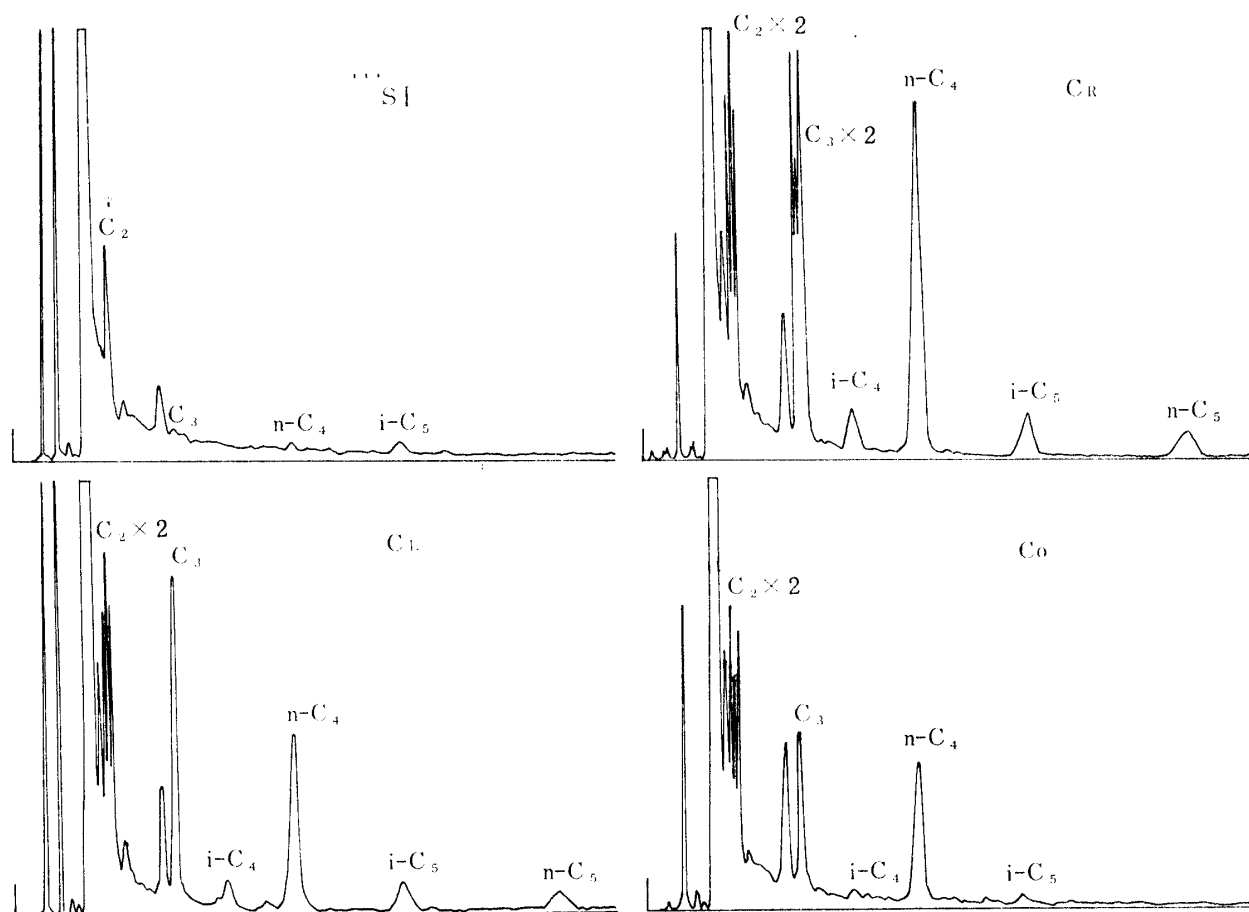


Fig. 4. Chromatogram of volatile fatty acids in the intestinal contents

\*, \*\*\*, The same as Table 2.

VFA 総量では盲腸が最も多く、ついで小腸、結腸の順となり、結腸が最も少量であった。分画別 VFA の総量について各部位を比較すると、C<sub>2</sub> は小腸が多く、これにつぐのは左盲腸、つぎに右盲腸で、結腸が最も少なかった。C<sub>3</sub> は、盲腸が小腸、結腸に比べて著しく多い。i-C<sub>4</sub>, n-C<sub>4</sub>, i-C<sub>5</sub>, n-C<sub>5</sub> の各分画は、量的には多少の相違はあるにしても、C<sub>3</sub> と同じ傾向を示した。要するに、C<sub>2</sub> 以外の分画は、左および右の盲腸が他の 2 部位より多い、という結果をえた。

以上の成績は、腸管内の総量についてである。しかし、前述のように、各部位の内容量はかなり相違している。そこで、同一基準による各部位の VFA 量を求めるため、それぞれ固形物 1 gm 当りの量を算出して比較した。その結果を Table 3 に示した。各部位の VFA 量は、左、右の盲腸が最も多い。両側の盲腸内の VFA 量について平均値間の有意差の検定を行なったが、差はなかった。これにつぐのは結腸である。これら大腸に比べ、小腸は極めて少ない。つまり、小腸から送られてきた内容物は、盲腸に進入すると VFA

を増量する、ことを示している。各分画の占める割合は、総量のとくと同様に、C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, n-C<sub>4</sub> が多い。なかでも、C<sub>2</sub> の存在量は極めて多かった。分画別については、C<sub>2</sub> は盲腸のみならず結腸にも多く、大腸に多量に存在する。その他の 5 分画についてみると、すべて総量の場合と同様に、盲腸に存在する分画は、高い値を示した。

以上、腸管内の VFA 量について述べたが、各部位のそれぞれの分画を百分率で表示したのが、Table 4 である。小腸では、C<sub>2</sub> が 79.8% と高率を占め、ついで C<sub>3</sub>, n-C<sub>4</sub> が続き、i-C<sub>5</sub>, n-C<sub>5</sub>, i-C<sub>4</sub> は僅少である。盲腸は、左右ともに大体同じ比率で、ほとんど変わりはない。これを小腸に比べると、各分画の比率の順位は一致している。しかし、小腸との比較で指摘できるのは、C<sub>2</sub> が減少 (51.8%) し、C<sub>3</sub>, n-C<sub>4</sub> が増加することである。一方、結腸は C<sub>2</sub> が 72.4% で小腸のそれに類似し、C<sub>3</sub>, n-C<sub>4</sub> がこれに続き、他の分画は低かった。このように、分画比率は小腸と結腸が類似している。それだけに、盲腸の特異性が注目される。

Table 3. Concentration of volatile fatty acids in the intestinal contents (mg/gm)

Portion***	*C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>	Total of VFA
SI	**4.53±1.79	0.25±0.18	0.03±0.02	0.14±0.12	0.15±0.04	0.05±0.04	5.15±1.81
C <sub>R</sub>	18.48±3.49	4.81±1.23	0.62±0.23	5.31±1.81	0.86±0.18	0.73±0.20	30.81±3.93
C <sub>L</sub>	24.64±6.59	5.89±1.78	0.31±0.12	4.03±1.51	1.08±0.28	0.75±0.25	36.70±7.90
C <sub>O</sub>	25.58±7.54	2.53±1.26	0.02±0.02	2.22±1.40	0.99±0.41	0.20±0.20	31.54±5.13
Individual total content	73.24±13.82	13.48±4.02	0.98±0.28	11.70±4.23	3.07±0.79	1.73±0.43	104.20±17.22

\*, \*\*, \*\*\*, The same as Table 2.

Table 4. Individual volatile fatty acid expressed as percentage in the intestinal contents

Portion***	*C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>
SI	79.8	8.4	0.8	5.1	4.0	2.0
C <sub>R</sub>	48.0	19.3	2.5	23.4	3.6	3.2
C <sub>L</sub>	55.6	20.1	1.5	15.7	3.9	3.2
C <sub>O</sub>	72.4	11.3	0.0	11.7	3.5	1.1

\*, \*\*\*, The same as Table 2.

Table 5. Net of volatile fatty acids in the contents of ligated cecum (mg)

Portion***	*C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>	Total of VFA
C <sub>R</sub>	**17.08±6.28	14.25±6.98	2.39±1.06	12.46±7.52	3.63±1.90	2.31±1.43	52.10±25.34
C <sub>L</sub>	7.84±0.96	2.34±0.29	0.19±0.07	0.46±0.14	0.55±0.09	0.10±0.05	11.46±1.30

\*, \*\*, \*\*\*, The same as Table 2.

Table 6. Concentration of volatile fatty acids in the contents of ligated cecum (mg/gm)

Portion***	*C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>	Total of VFA
C <sub>R</sub>	**24.98±2.95	16.15±3.50	3.08±1.17	11.94±3.66	3.87±0.85	1.95±0.73	61.96±9.87
C <sub>L</sub>	19.21±2.12	5.98±1.10	0.50±0.23	1.01±0.25	1.36±0.29	0.27±0.15	28.33±3.32

\*, \*\*, \*\*\*, The same as Table 2.

Table 7. Individual volatile fatty acids expressed as percentage in the contents of ligated cecum

Portion***	*C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>
C <sub>R</sub>	40.3	56.1	5.0	19.3	6.2	3.1
C <sub>L</sub>	67.8	21.1	1.8	3.6	4.8	0.9

\*, \*\*\*, The same as Table 2.

5. 盲腸結紮鶏の腸管内容物の VFA 血管結紮側の盲腸を以下 C<sub>R</sub>, 非結紮側の盲腸を C<sub>L</sub> と略称する。まず pH を測定したが, C<sub>R</sub> 6.72±0.18, C<sub>L</sub> 6.90±0.04 (いずれも平均値±標準誤差で示す) であった。また, 固形物量は, C<sub>R</sub> 0.79±0.30 gm, C<sub>L</sub> 0.42±0.04 gm であったが, ともに両側間に差は認められない。

盲腸内容物の分析結果を Table 5 に示した。VFA 総量で, C<sub>R</sub> は C<sub>L</sub> よりも 4 倍以上も多い。同様に, 単位重量当りにしたのが Table 6 である。前表と比べると, 量的な差は縮まっているものの, 傾向としては依然変わらない。そこで, 両部位の VFA 量について有意差を検定したところ, 1% の有意水準で差が認められた。これら両部位の VFA 分画が占める割合を算出した (Table 7)。両者ともに比率は intact な場合と似ている。C<sub>L</sub> で, n-C<sub>4</sub> と i-C<sub>5</sub> の割合が逆転しているが, 統計的には差がなかった。両者を比べると, C<sub>R</sub> において C<sub>2</sub> が少なく, 他の分画が相対的に多くなっている。逆に C<sub>R</sub> に対する C<sub>L</sub> の VFA 量は, C<sub>3</sub> 以上の分画が少なく, C<sub>2</sub> が多いといえる。

### 考 察

ニワトリ消化管内の VFA をとりあげた研究は少ない。渡部ら<sup>9)10)</sup>, ANNISON ら<sup>11)</sup>, それに微生物を主体とした研究の中で, 少しく VFA の問題に触れている SHRIMPTON<sup>17)</sup> の報告を知るのみである。これらは, それぞれ実験方法などが異なるため, 著者らの成績と相違点もあるが, これらの成績などと比較しながら考察してゆきたい。

1. 著者らが給餌したのは押麦単味であった。ニワトリの栄養面からの問題はあろうが, しかし, 腸管内

内容物の VFA を分析するという目的から, 常に同一成分の飼料を与える必要性があったため, 押麦を給与した。

2. VFA の分画は, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, i-C<sub>4</sub>, n-C<sub>4</sub>, i-C<sub>5</sub>, n-C<sub>5</sub> の 6 分画が, 腸管各部位に存在することを認めた。しかし, 個体差が大きく, 平均値は Fig. 2 に示した通りであるが, 個体によっては, ある分画が認められないものもあった。結腸の i-C<sub>4</sub> が, 0.00 mg というのは, 存在しない例が多かったことを示している。しかし, これら分画含量の相違は, 腸管内容物の多少には関係がなかった。この VFA 分画に関し, ANNISON ら<sup>11)</sup> は JAMES & MARTIN の方法による気液ガスクロマトグラフィーによって消化管内容物を分析し, 著者らと同じ分画を検出している。これに対し, 渡部ら<sup>9)</sup> は, ペーパークロマトグラフィーによって内容物の同定を行ない, C<sub>2</sub> と C<sub>3</sub> の存在を示すスポットのみで, C<sub>4</sub> は認められない, という。ところが, 標準の純品 C<sub>4</sub> は明確にそのスポットがみられている。図示されているペーパークロマトグラムは, どの部位からのものかを示していない。しかし, 著者らの分析した試料にも, 少数例ではあるが, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> などが検出されないことがあった。この点からみて, 渡部らが同定に使用した試料, あるいは同定方法に問題があったのではないか。このため, 2 分画だけ見出されたと思われる。一方, 実験方法は明らかでないが SHRIMPTON<sup>17)</sup> も C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub> の分画を認めている。いずれにしても, 著者らの行なった方法においては, 上記の 6 分画が明らかに存在したことは疑えない。

3. 小腸以下の腸管内に含まれる VFA は, 盲腸に最も多かった。左右を合計する盲腸全体の総量は 29.68 mg となり, 腸管内総量の 66.6% となる。

ANNISON ら<sup>11)</sup> の成績においても、盲腸内の VFA 量が最も多く、CONWAY & DOWNEY の微量拡散分析法で定量した渡部ら<sup>9)</sup> は、産卵鶏と休産鶏で差があること、および盲腸に最も多いとはいえないが、高濃度に存在する部位である、と述べている。

以上のように、VFA が盲腸に多量に見出されることは、盲腸内での VFA の産生を示唆するであろう。この場合、各部位の内容量に差があり、また個体差もあることから、VFA 総量のみでは、盲腸における VFA 存在の意義を論ずることは難しい。ここでは、総量としての各部位別の比較で、盲腸に多く認められたことを指摘しておく。

4. 上述のように、総量の数値から部位別含有量を比較するだけでは妥当でない。従って、これを単位重量当りの濃度として眺めてみる。濃度においても同様に、盲腸に存在する量が多く、左右合計した平均値で  $67.51 \text{ mg/gm}$  と全体の  $64.8\%$  を占めている。これに対し、小腸では  $5.15 \text{ mg/gm}$  を示すにすぎない。この事実は、盲腸内で VFA が産生される、として理解できる。渡部ら<sup>9)</sup> によると、小腸、などでも十二指腸上向部と空回腸と称する部分に多量の VFA (但し、その量はすべて  $C_2$  量で表わしている) を検出し、小腸全体としてはかなりの量に達すると報告しているが、これは分析方法の相違によるものであろう。一方、幾分かの手技の違いはあっても、同じガスクロマトグラフィーによる ANNISON ら<sup>11)</sup> の成績では、3例について詳しく述べている。これによると、小腸で  $25, 18, 12 \text{ m-mol/kg}$  に対して、盲腸は  $101, 106, 115 \text{ m-mol/kg}$  と、著者らの成績に類似している。また、発育に伴う各部位の濃度も同様で、幼雛時から盲腸は VFA 産生に重要な機能を発揮する、と推定している。

つぎに、盲腸について濃度の高かったのは結腸であった。前に述べたように、結腸の内容物は極めて少なく、その平均値の信頼限界 ( $\alpha=0.05$ ) は、 $0.09\sim 0.41 \text{ gm}$  と極めて不定である。また、VFA 総量も、 $1.56\sim 7.48 \text{ mg}$  とその分散が大きい。しかも、結腸はかなり短い。以上の根拠から、結腸内で VFA が産生あるいは吸収されることは少ない、と考える。恐らく、VFA の大半は、盲腸あるいは小腸から流入したものである。

5. 検出された VFA の 6 分画の構成は、腸管部位によって相違するが、 $C_2, C_3, n-C_4$  が多いことは一致している。とくに、 $C_2$  が多く、VFA の半分以上を占めている。 $C_3, n-C_4$  が同じ程度で、これに続

く。しかし、 $i-C_4, i-C_5, n-C_5$  は少なかった。VFA 総量は前述したように、各部位とも似ていた。これを分画別でみると腸管によって異なっていた。すなわち、小腸では、 $C_2$  が  $79.8\%$  と VFA の大半を占め、 $C_3, n-C_4$  がこれにつき、残りの少量が他の 3 分画であった。ところが、盲腸では  $C_2$  が少ない比率 ( $51.8\%$ ) になり、逆に  $C_3, n-C_4$  が多くなっている。一方、結腸内の 3 分画の比率は、小腸と盲腸の中間的な様相を示した。残りの 3 分画の合計は、各部位ともに  $10\%$  以下であった。

このように盲腸における分画の構成は、他の部位と異なっている。特徴的な点は、 $C_2$  の比率が少ないことである。SHRIMPTON<sup>17)</sup> は、盲腸内の  $C_2$  は  $53\%$  と報告しており、ANNISON ら<sup>11)</sup> は、 $55.9\%$  と述べ、著者らの成績にはほぼ一致している。

ところで、これら VFA 産生については、腸内細菌叢の線維素分解作用によることが多いことを、田先<sup>2)</sup> は示唆している。では、如何なる細菌が腸管内に存在し、どのように分布するのであろうか。ANNISON ら<sup>11)</sup> は、*E. coli*, *Lactobacilli*, *Bacteroides spp.*, *Bacillus spp.*, *Gram+cocci* などが存在し、小腸と結腸内の細菌叢は質的に類似しているが、盲腸は異なると述べている。すなわち、特徴的な点は、*Bacillus spp.* と *Gram+cocci* が他の 2 部位に比べて少ないことと、*Bacteroides spp.* が極めて多い、ことである。また、SHRIMPTON<sup>17)</sup> も、ニワトリ盲腸内の細菌叢のうち *Bacteroides spp.* がとくに多いことを報告し、ANNISON らの成績に一致している。また、白坂<sup>18)</sup> は *Enterobacteriaceae*, *Streptococcus*, *Bacteroidaceae*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* 様細菌の存在を認め、各菌種の部位別菌数は、盲腸が常に最も多い点を強調している。

上述の諸報告は、ニワトリ腸管内の細菌叢が部位によって相違することを指摘している。ことに、他部位と異なる盲腸の特異性が注目される。さて、著者らは VFA 総量、分画比率などの点で、盲腸の特異性を確かめた。この事実は、主として細菌叢の差異にもとづく、と解するほかない。同時に盲腸内における VFA 産生を意味しよう。無菌鶏の盲腸内の VFA 濃度は、無処置鶏の  $3\sim 5\%$  にすぎない、という報告<sup>11)</sup> も、これを裏付けている。

一方、反芻動物第一胃内の VFA 産生については、詳しく調べられている。STEWART ら<sup>19)</sup> は、牛にアルファルファ乾草を給与したときの第一胃内 VFA 産生を調べ、その割合が  $C_2$   $59.8\%$ ,  $C_3$   $20.3\%$ ,  $C_4$

16.7%と、著者らの盲腸内分画の比率と似た成績を示している。すでに、第一胃内の細菌叢については詳細な報告があるが、反芻動物の第一胃あるいはニワトリの盲腸内に特有な菌は別として、共通的なものは、Lactobacilli, Closteridia, Gram+cocci, Bacteroides spp. などがある。しかも、Bacteroides spp. は線維素の第一次分解作用を行なう、といわれている。したがって、動物の種類や部位の違いがあるにしても、VFA 産生に関係する細菌叢は、類似するのではなからうか。

6. 以上のように、盲腸内の VFA が他の部位と異なる点が多く、それについて考察を加えてきた。それでは、盲腸における VFA の産生作用と吸収作用の実態について知ることはできないであろうか。このような見地から結紮実験がなされた。

盲腸は、その基部で両側ともに完全に結紮したので、当然、内容物の出入はない。また、C<sub>R</sub> の場合は、盲腸に分布している血管も結紮してあるため、吸収作用は行なわれず、VFA 産生のみである。一方、C<sub>L</sub> は血管が intact なので、産生ならびに吸収が行なわれる筈である。結果は、Table 6 に示したように、C<sub>R</sub> と C<sub>L</sub> 内の VFA はそれぞれ 61.96 mg/gm, 28.33 mg/gm であり、血管結紮側が著しく増量していた。これを推計的に処理しても、1%の危険率で有意差があった。前述のように、intact な盲腸の左右には全く有意差がないので、この差は血管結紮という条件付加が、盲腸内の VFA を増量させたとし解釈できない。そして同時に、盲腸における VFA 産生作用の旺盛さを物語るであろう。

つぎに、結紮時の VFA 分画の占める割合は、Table 7 のようであった。C<sub>R</sub> における各分画の割合は、C<sub>L</sub> と異なった比率を示した。すなわち、C<sub>2</sub> 以外の分画は C<sub>R</sub> の方が多かった。この現象の解釈は困難である。しかし、VFA の吸収速度も関係している、と思われる。反芻動物の第一胃内での VFA の吸収速度については、今のところ定説がない。ただ、小第一胃法<sup>20)</sup> による実験成績では、炭素数の多いものほど吸収速度が速い、という。ニワトリの盲腸でも、これと類似する機序で吸収されるのかもしれない。そうだとすると、結紮側が非結紮側よりも炭素数の多い分画が増した事実も理解しやすい。

## 要 約

ニワトリの腸管内に含まれる揮発性脂肪酸について、ガスクロマトグラフィーを使用して分析し、つぎ

の結果をえた。

1. 給与した押麦には、酢酸のみが認められた。
2. 小腸、盲腸および結腸の内容物に含まれる揮発性脂肪酸は、主として酢酸、プロピオン酸、正酪酸である。この他に、イソ酪酸、イソ吉草酸、正吉草酸も認められた。このうち、最も多い分画は酢酸である。プロピオン酸、正酪酸がこれにつぐ。
3. 腸管内の揮発性脂肪酸は、盲腸に最も多く存在し、ついで結腸、小腸の順となる。
4. 盲腸内の固形物量、揮発性脂肪酸量ならびに pH は、左右両側の間に有意差が認められない。
5. 盲腸の基部を両側ともに結紮し、さらに一侧の盲腸に分布する血管を結紮して、両側の内容物を比較した。その結果、血管結紮側の揮発性脂肪酸量は増加した。また、血管結紮側は非結紮側に比べ、酢酸は減少するが、他の分画は増加した。

以上の成績は、(1) 腸管内で揮発性脂肪酸が生成され、とくに盲腸において著しい、(2) 生成された揮発性脂肪酸は、盲腸から吸収される、ことを示している。

稿を終えるに臨み、本研究に協力された広瀬正夫君に感謝する。なお、本研究の一部は、文部省機関研究によったことを付記し、謝意を表する。

本論文の要旨は、第66回日本獣医学会において発表された。

## 文 献

- 1) 安川正敏・長野慶一郎：鹿大農学術報告，**15**，67-73 (1964)
- 2) 田先威和夫：畜産の研究，**19**，204-210 (1965)
- 3) MANGOLD, E.: *Arch. F. Gaffgüelkunde*, **2**，321-324 (1928)
- 4) HENNING, H. J.: *Landw. Versuchs stat.*, **108**，253-286 (1929)
- 5) 中広義雄・一色泰・田先威和夫：日畜会報，**38** (増刊号)，5 (1967)
- 6) 勝木辰男・半杭邦雄・紺野 耕：日畜会報，**38** (増刊号)，5-6 (1967)
- 7) 窪田大作・森本宏：日本万国国家禽学会秋期大会誌，45-46 (1964)
- 8) THORNBURN, C. C. and J. S. WILLCOX: *Brit. Poult. Sci.*, **6**，23-31 (1965)
- 9) 渡部英一・千葉 亮：日畜会報，**39**，439-445 (1968)
- 10) WATANABE, E. and A. CHIBA: *Jap. J. Zootech. Sci.*, **40**，180-186 (1969)
- 11) ANNISON, E. F., K. J. HILL and R. KENWORTHY: *Brit. J. Nutr.*, **22**，207-216 (1968)



- 12) 高橋善弥太・田中圭・武藤武敏：ガスクロマトグラフィー，第2集，南江堂，東京（1964）
- 13) 東京大学農学部農芸化学教室：実験農芸化学（下巻），朝倉書店，東京（1956）
- 14) 丸山正生：医学のあゆみ，**50**，205-207（1964）
- 15) 渡辺昭一郎：*Jap. Anal.*，**15**，1291-1296（1966）
- 16) 武内次夫・高山雄二：入門ガスクロマトグラフィー，南江堂，東京（1965）
- 17) SHRIMPTON, D. H.: *J. Appl. Bact.*, **26**, i-ii (1963)
- 18) 白坂昭治：日細菌誌，**25**，355-361（1970）
- 19) STEWART, W. E., D. G. STEWART and L. H. SCHULTZ: *J. Anim. Sci.*, **17**，723-736（1958）
- 20) 梅津元昌：乳牛の科学，農山漁村文化協会，東京（1964）

### Summary

To clarify the role of the ceca in the digestive processes of fowls, contents of the intestinal canal were analyzed chemically in the previous study. No significant difference in the percentage of crude fiber was perceived between small intestine and ceca, and with regard to cellulose digestion we posed further inquiry on the significance of the ceca.

In the present experiment, the volatile fatty acids (VFAs) in the intestinal contents in fowls, were analyzed by the gaschromatography. The results obtained are summarized as follows.

1. In the pressed barley used for the diet, only acetic acid was recognized.
2. The VFAs were detected in the contents of the small intestine, ceca and colon, comprising mainly acetic, propionic and normal butyric acids. In addition to these VFAs, small amounts of other acids (iso butyric, iso valeric and normal valeric acids) were present. In these VFAs, acetic acid was present in the greatest proportion, followed by the propionic and normal butyric acids.
3. The cecal contents showed a concentration of VFAs much greater than that in the colon and the small intestine.
4. On the dry basis, VFA contents and *pH* values no significant differences were recognized between right cecum and left one.
5. Each cecum was ligated at its base, furthermore, all blood-vessels supplying one cecum were ligated. After the operation, contents in both ceca were compared. As a result, VFA concentration present in the cecum where blood-vessels were ligated, increased; while the percentage of acetic fraction decreased, showing an increase in other fractions.

The above-stated results show that VFAs are produced and absorbed in the intestinal canal, especially, in ceca.