

豚の消化管内揮発性脂肪酸，乳酸，グルコース と揮発性脂肪酸の動静脈差

渡 辺 泰 邦・村 井 秀 夫

信州大学農学部 家畜衛生学研究室

緒 言

豚に牧草を放牧あるいは青刈などの方法によつて給与すると、草を相当程度消化して有効に利用することが知られている。豚が草類を有効に利用するためには、草のセルロースなど繊維質の消化管内微生物による発酵、分解の過程が推定される。その結果はセルロースその他高分子炭水化物の消化管内微生物による分解産物の揮発性脂肪酸（VFA）、乳酸など有機酸の存在と、このような有機酸が消化管粘膜より吸収、利用されることが推定される。

反芻動物の第一胃内に存在するVFAとその栄養生理的意義に関しては、多く注目され数多くの研究が行なわれている。しかしながら単胃の動物に関しては比較的注目されることが少なく、その研究も限られている。Elsden ら³⁾は各種の動物の消化管内VFAを比較して豚においてもその存在を認めており、Barcroft ら¹⁾は豚の盲腸、結腸からのVFAの吸収を認めている。また Friend ら^{5,6)}は豚消化管各部位のVFA、乳酸について報告している。反芻動物と比較して豚の消化管には第一胃のような特徴的微生物発酵の場は認識されていないが、現在までの知見は豚の栄養生理においての、VFAの意義についての研究の必要性を示唆するものを含んでいる。

本報告では豚の消化管各部位でのVFA、乳酸の産生と、これらと比較して消化管内のグルコース量とを2種の飼料を給与して比較検討を行なつた。またそのさいに消化管各部位を還流する血液の動静脈差法によつて、VFAの吸収とその部位について検討した。

実 験 方 法

1 実験動物 実験に使用した動物は中ヨークシャーおよびランドレースの一代雑種の同腹の去勢雄4頭である。生後60日齢より実験飼料を70日間給与し、130日齢前後で実験に供した。

2 実験飼料および給与法 実験飼料はトモロコシおよびフスマを主なる構成とした対照区飼料、およびフスマを除きアルファルファペレットを加えたアルファルファ区の2区に分け、各区2頭づつ給与した。実験飼料の配合割合は第1表に示すとおりである。アルファルファペレットは等量の水に12時間以上浸し吸湿させて他の構成飼料と給与直前に混合して給与した。

給与飼料の化学組成は第2表に示すようにアルファルファ区は粗繊維含量が対照区のほぼ倍量となつている。他の構成成分はできるだけ両区とも同一に近くなるように配合した。

Table 1. Composition of experimental diets for pig

| Ingredient | Alfalfa diet | Control diet |
|-------------------|--------------|--------------|
| Alfalfa pellet | 30 (%) | — |
| Yellow corn | 45 | 40 |
| Wheat bran | — | 30 |
| Soybean oil meal | 6 | 7 |
| Fish meal | 5 | 5 |
| Rice bran | 11 | 15 |
| Calcium carbonate | 2 | 2 |
| Sodium chloride | 1 | 1 |

Table 2. Chemical composition of experimental diets

| | Alfalfa diet | Control diet |
|---------------|--------------|--------------|
| Moisture | 13.4 (%) | 13.2 |
| Crude protein | 13.1 | 14.9 |
| Crude fat | 5.3 | 6.8 |
| Crude fiber | 9.1 | 4.8 |
| N. F. E. | 49.9 | 52.0 |
| Crude ash | 9.2 | 8.3 |

飼料の給与量は両実験区とも生後60日齢より70日間、日量体重の5%を給与した。給与方法は1日量を半量ずつ午前9時および午後5時の2回に分けて給与した。

3 採血および消化管内容の採取 約70日間の実験飼料給与期間をおき、午前の飼料給与後、3または5時間後に動物を手術台上に保定しラボナールを体重1kg当り12mgを伏在静脈より注入し深麻酔とした。麻酔下で右腹部を開腹し、消化管各部位すなわち胃、小腸、盲腸、結腸の各静脈、門脈および頸動脈血をそれぞれ採血した。全部位の採血には約30分間を要した。採血終了後頸動脈より放血して屠殺し、消化管をとり出し胃、小腸、盲腸、結腸の4部位についてその内容全量を採取し、秤量した。採取した内容はその一部をとつてガーゼろ過し分析に供した。

4 定量方法 採取した消化管内容は総VFA量をFriedemann⁴⁾の水蒸気蒸溜法、乳酸はBarker & Summerson法¹⁴⁾、還元糖はSomogiの比色法⁷⁾によつて測定した。血液の総VFAはConwayの微量拡散法²⁾によつて測定した。

実験結果

消化管内VFA 消化管各部位内のVFAは第3表に示すように、両実験区においていずれも盲腸および結腸に130mM/l以上の高濃度に存在した。胃においても60mM/l以上存在し、小腸では胃よりやや低濃度であるがVFAが認められた。

このようなVFAの濃度は反芻動物第一胃内のそれに相当する量が存在している。飼料組成

Table 3. Quantities of volatile fatty acid in sections of the alimentary tract from each of the four pigs in experiments

| Time after feeding (hr.) | Alfalfa diet | | Control diet | |
|--------------------------|--------------|-----|--------------|-----|
| | 3 | 5 | 3 | 5 |
| Stomach | 65 | 60 | 62 | 78 |
| Small intestine | 64 | 47 | 34 | 55 |
| Caecum | 168 | 133 | 131 | 149 |
| Colon | 147 | 141 | 143 | 156 |

としてアルファルファの供給によつて粗繊維含量が4.8%より9.1%に増加しているが、両区にVFA濃度の著しい差はなかつた。両区のVFA濃度の時間的变化を比較すると、消化管各部位ともアルファルファ区では採食3時間後が高く、対照区では5時間後に高い値を示した。

消化管内乳酸 消化管内にはVFAと同様に消化管内微生物による発酵の結果として、乳酸の産生が考えられる。消化管内乳酸濃度は第4表に示すとおりである。

Table 4. Quantities of lactic acid in sections of the alimentary tract from each of the four pigs in experiments

| Time after feeding (hr.) | Alfalfa diet | | Control diet | |
|--------------------------|--------------|----|--------------|----|
| | 3 | 5 | 3 | 5 |
| Stomach | 38 | 21 | 88 | 45 |
| Small intestine | 30 | 84 | 63 | 81 |
| Caecum | 2 | 6 | 1 | 2 |
| Colon | 1 | 9 | 0 | 6 |

すなわちVFAとは逆に小腸および胃に高濃度に存在し、盲腸および結腸では著明にその濃度は低下している。特に盲腸および結腸では採食3時間後には両実験区とも乳酸はほとんど存在せず、5時間後にやや増加する傾向を見せている。小腸においても採食後経時的に増加する傾向がうかがわれる。一方胃では採食後3時間の乳酸濃度が高く、5時間後には低下の傾向を見せている。

飼料組成の相違による消化管内乳酸の濃度は、採食後3時間では対照区の胃、小腸に多く、採食5時間後には対照区の胃に多く小腸ではあまり差はなかつた。盲腸、結腸では採食5時間後に両区ともやや増加し、その濃度変化もほぼ同様の傾向を示すようである。全体として乳酸は対照区がアルファルファ区よりも高く、繊維質の少ない飼料では特に胃、小腸での多量の乳酸産生が観察された。

消化管内グルコース 消化管内の微生物による炭水化物などの発酵分解産物としてのVFA、乳酸とともに、動物のエネルギー物質としてグルコースは澱粉その他炭水化物の分泌消化酵素による分解産物として、また被吸収物質として主要な位置をしめている。グルコースの消化管内濃度は第5表に示すとおりである。

Table 5. Quantities of glucose in sections of the alimentary tract from each of the four pigs in experiments

| Time after feeding (hr.) | Alfalfa diet | | Control diet | |
|--------------------------|--------------|-----|--------------|-----|
| | 3 | 5 | 3 | 5 |
| Stomach | 184 | 119 | 157 | 135 |
| Small intestine | 329 | 227 | 518 | 313 |
| Caecum | 167 | 16 | 189 | 151 |
| Colon | 173 | 74 | 146 | 238 |

消化管内グルコースは両実験区とも小腸にもつとも高濃度に存在している。アルファルファ区では対照区と比較して一般にグルコース濃度は低く、また5時間後の減少も著しい。一方対照区ではグルコース濃度は比較的高く、これらの傾向は乳酸濃度とほぼ同様である。特にアルファルファ区において盲腸、結腸での、採食5時間後の減少が著明である。対照区では採食5時間後の結腸にも高濃度に存在している。

消化管内VFA, 乳酸, グルコースの総含有量 消化管各部位のVFA, 乳酸, グルコースの総含有量は第6表に示すとおりである。

Table 6. Total weight of VFA, lactic acid and glucose in sections of the alimentary tract from each of the four pigs in experiments (g)

| Time after feeding (hr.) | Alfalfa diet | | | | | | Control diet | | | | | |
|--------------------------|--------------|-------------|---------|-------|-------------|---------|--------------|-------------|---------|-------|-------------|---------|
| | 3 | | | 5 | | | 3 | | | 5 | | |
| | VFA | Lactic acid | Glucose | VFA | Lactic acid | Glucose | VFA | Lactic acid | Glucose | VFA | Lactic acid | Glucose |
| Stomach | 6.98 | 6.05 | 3.26 | 4.91 | 2.61 | 1.63 | 9.60 | 20.46 | 4.03 | 9.24 | 8.04 | 2.68 |
| Small intestine | 3.93 | 2.75 | 3.35 | 2.13 | 5.76 | 1.73 | 1.35 | 3.76 | 3.42 | 1.63 | 3.59 | 1.55 |
| Caecum | 1.18 | 0.02 | 0.20 | 1.26 | 0.09 | 0.03 | 1.47 | 0.01 | 0.35 | 2.26 | 0.05 | 0.38 |
| Colon | 15.10 | 0.17 | 2.97 | 13.66 | 1.37 | 1.18 | 12.81 | 0.00 | 2.17 | 13.09 | 0.77 | 3.32 |
| Total | 27.19 | 8.99 | 9.78 | 21.96 | 9.83 | 4.57 | 25.23 | 24.23 | 9.97 | 26.22 | 12.45 | 7.93 |

VFAに関しては各実験例とも結腸にほぼ50%存在している。次いで胃に多く、盲腸は濃度は高いが内容量が少ないため、小腸内と大差がない。両実験区のVFAを比較すると、アルファルファ区では結腸に多く5時間後にはやや減少している。一方対照区では胃にはアルファルファ区よりも多く、また結腸では5時間後にやや増加している。

乳酸は両区ともほとんど胃と小腸にみられ、盲腸、結腸には少ない。乳酸は両区とも胃、小腸で採食5時間後には著明に減少している。グルコースは胃、小腸以外に結腸においても相当量が存在している。グルコースはアルファルファ区では採食5時間後には約半量に減少しているが、対照区ではその減少が低い。

各実験例とも全消化管内にVFAはグルコースの3ないし5倍量存在している。アルファルファ区ではVFAと比較して乳酸の含量はその半量以下であるが、対照区では採食3時間後には全消化管にVFAとほぼ等量の乳酸がある。採食5時間後には減少しているが、アルファルファ区より多量の乳酸が認められる。

消化管各部位のVFAの動静脈差 消化管内にVFAが相当高濃度に存在することが認められたが、この場合の消化管各部位のVFAの動静脈差を測定した結果は第7表に示すとおりである。

消化管各静脈のVFAは結腸においてもつとも高く、3.5ないし10.5 mM/l 存在し、次いで盲腸静脈が高く、胃、小腸では比較的少ない。動脈血中のVFAは各実験例とも低く、対照区5時間例のみやや高い値を示したがほぼ0.3 mM/l 前後であつた。

消化管各部位のVFAの動静脈差はアルファルファ区採食5時間後の胃および小腸と、対

Table 7. Arterio-venous differences of volatile fatty acid in sections of the alimentary tract from each of the four pigs in experiments

| Time after feeding (hr.) | Alfalfa diet | | | | Control diet | | | |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 3 | | 5 | | 3 | | 5 | |
| | Conc. | (V-A) | Conc. | (V-A) | Conc. | (V-A) | Conc. | (V-A) |
| Carotid artery | 0.37 | — | 0.35 | — | 0.22 | — | 1.16 | — |
| Stomach vein | 1.42 | 1.05 | 0.27 | -0.08 | 1.48 | 1.26 | 2.58 | 1.42 |
| Small intestinal vein | 1.54 | 1.17 | 0.27 | -0.08 | 0.27 | 0.05 | 1.16 | 0.00 |
| Caecum vein | 2.50 | 2.13 | 2.44 | 2.09 | 5.29 | 5.07 | 8.21 | 7.05 |
| Colonial vein | 3.54 | 3.17 | 10.51 | 10.16 | 5.24 | 5.02 | 9.33 | 8.17 |
| Portal vein | 2.68 | 2.31 | 1.83 | 1.48 | 1.43 | 1.21 | 3.32 | 2.16 |

V-A : Arterio-venous difference

照区採食5時間後の小腸をのぞいていずれも各静脈に高く、特に盲腸および結腸においての動静脈差が大である。また胃においても1例を除いて静脈血中にVFAが増加している。門脈血のVFA濃度を比較すると各例とも動脈血より1.2ないし2.3 mM/l 増加している。門脈血中VFAはアルファルファ区では採食3時間後が5時間後よりも高く、対照区では5時間後が高い。この傾向は消化管内VFA総量の両区の経時変化の傾向と一致していることが注目される。

考 察

豚の消化管内に両実験区ともVFAが高濃度に存在している。この事実はアルファルファの給与によつて繊維質を多給した場合にも、消化管内微生物によるVFA産生が積極的に行なわれる事を示すものと云える。特に盲腸および結腸のVFA濃度は反芻動物第一胃に匹敵ないしこれを上まわる濃度に存在することは注目される^{9,12,13}。

両実験区を通じてVFAは各消化管部位、採食後時間とも大差はなかつたが、乳酸が明らかに対照区に大量に産生されている。飼料に繊維質が少ないと胃での乳酸産生が多く、さらに乳酸を基質としての胃および消化管後部でのVFA産生が推定される。盲腸および結腸での乳酸の採食5時間後の若干の増加は、胃での産生乳酸の流入が考えられる。Friendら⁵⁾の報告によると豚の消化管内乳酸の量は胃、小腸において総有機酸の51ないし85%であることが報告されている。本実験でも乳酸は胃、小腸に相当量存在し、Friendらの報告とほぼ同様の結果をえた。また彼らは盲腸、結腸にもwheyの給与によつて14ないし27%の乳酸の存在を認めているが、液状のwheyの消化管内の通過速度が速く、盲腸、結腸での蓄積が推定される。また彼らはフスマの給与によつて盲腸、結腸内に乳酸の存在を認めていないが、本実験では少量であるがアルファルファ給与区にも乳酸の存在を認めている。乳酸は第1胃内においても糖その他易発酵性の飼料を供給すると、蓄積することが知られている。本実験において特に対照区の胃における乳酸の多量の蓄積は、低繊維質飼料による乳酸産生の促進として第一胃と同様の現象が推定される。さらに消化管後部に乳酸がほとんど存在しないことは、乳酸を基質とするVFA産生が盲腸、結腸において行なわれることが考えられる。各実験例においてVFAは乳酸、グルコースよりも多量に全消化管内に存在している。この事実は被

吸収物質としてのVFAの意義に関して、グルコースと同様に主要な位置を示すものであることが考えられる。

消化管静脈血のVFA濃度は、消化管内のVFA濃度とほぼ比例して存在している。すなわち消化管各部位にVFAの吸収があることが認められた。特に結腸および盲腸を還流する血液には、反芻動物の第一胃静脈血以上のVFAが存在していることは注目される。反芻動物の第一胃静脈血のVFA濃度は梅津ら¹¹⁾、庄司ら¹⁰⁾の報告によると2ないし5mM/lであることが報告されている。本実験例においては門脈血においても1.2ないし2.3mM/l、結腸静脈においては3.2ないし10.2mM/lの動静脈差を示した。反芻動物においては第一胃の粘膜における吸収VFAの代謝が瀬戸ら⁸⁾、庄司ら¹⁰⁾によつて報告されており、吸収VFAの第一胃粘膜での利用が知られている。豚の消化管静脈および門脈にこのようにVFAが高濃度に存在することは、消化管粘膜においてのVFAの代謝の様相も関係するので、この観点からの追跡も必要とすることが考えられる。本実験において動脈血のVFA濃度が1例のみ1.16mM/lと高い値を示したが、本例は門脈血のVFA濃度も3.32mM/lと高い値を示している。このことは肝その他体組織でのVFA消費があるが、多量のVFAの吸収によつて動脈血のVFA濃度が上昇したことが推定される。消化管各部位のVFAの動静脈差は、アルファルファ区の盲腸の例のように必ずしも内容のVFA濃度と比例しない例も存在した。このような例は開腹して直接静脈血を採血しているため、消化管内容と接触不十分な消化管面を還流した血液を採血した可能性がある。

消化管内に存在する分解産生された吸収物質の量的関係は、それぞれの産生による増加と、分解および吸収による減少との結果の見かけの存在量である。VFAおよびグルコースが消化管各部位より吸収されることは明らかであるが、乳酸の吸収に関しては不明の点が多い。特に乳酸はグルコースの吸収に際して消化管粘膜において産生され、またグルコースは消費されるために、動静脈差法によつては解析が困難である。

本実験の結果よりVFAの豚消化管内での産生は結腸、盲腸に多く、また胃でも相当量が産生される。消化管内においてのVFAの存在量とその動静脈差から見て、VFAは相当量吸収を受け利用されていることが推定される。

要 約

豚2頭ずつ2群計4頭を供試し、これにアルファルファを添加した実験飼料と、その対照飼料とをそれぞれ生後60日齢より70日間給与した。採食3および5時間後に麻酔下で開腹し、消化管各静脈と門脈血のVFAを測定し、VFAの吸収を動静脈差によつて検討した。さらに消化管各部位内容のVFA、乳酸、グルコースの全量を測定した。その結果は次のように要約される。

1. 消化管内VFAは特に盲腸、結腸に高濃度に存在し、胃にも存在することが認められた。VFAは全消化管内に乳酸、グルコースよりも多量に存在した。

2. 乳酸は胃、小腸に多く、盲腸および結腸にはほとんど存在しなかつた。アルファルファの給与によつて乳酸産生は抑制される傾向を示した。グルコースは消化管各部位に存在するが、VFA、乳酸よりもその量は少なかつた。

3. 消化管各部位のVFAの動静脈差は盲腸および結腸においてもつとも高く、胃においてもVFAの吸収が認められた。門脈血のVFA濃度はいずれも動脈血よりも高く、VFAの吸収がありそのレベルは反芻動物に匹敵するものであることが観察された。

謝辞 本研究の実施にあたり有益なる御助言をいただいた本学松尾信一博士に心から感謝の意を表す。また実験動物の管理その他実験実施上多くの協力をいただいた本研究室元専攻生、池田直弥、田中宏幸、故宮嶋利行の諸氏に深く感謝の意を表す。

文 献

1. Barcroft, J., R.A. McAnally and A.T. Phillipson (1944) *J. Exptl. Biol.*, 20: 120-129.
2. Conway, E.J. (1957) 石坂音治訳・微量拡散分析及び誤差論・221-224. 南山堂, 東京.
3. Elsdon, S.R., M.W.S. Hitchcock, R.A. Marshall and A.T. Phillipson (1946) *J. Exptl. Biol.*, 22: 191-202.
4. Friedemann, T.E. (1938) *J. Biol. Chem.*, 123: 161-184.
5. Friend, D.W., H.M. Cunningham and J.W.G. Nicholson (1963) *Canad. J. of Anim. Sci.*, 43: 156-168.
6. Friend, D.W., H.M. Cunningham and J.W.G. Nicholson (1963) *Canad. J. Anim. Sci.*, 43: 174-181.
7. 藤井暢三 (1961) 生化学実験法, 定量篇. 396-397. 南山堂, 東京.
8. 瀬戸勝男, 津田恒之, 梅津元昌 (1955) 生化学, 27: 213-217.
9. 柴田章夫, 扇元敬司, 古坂澄石 (1961) 日畜会報, 31: 290-294.
10. Shoji, Y., K. Miyazaki and M. Umezu (1964) *Tohoku J. Agr. Res.*, 15: 91-97.
11. 梅津元昌, 津田恒之, 柴田章夫, 木村和彦, 津田純子, 安保佳一, 田中義夫 (1955) 生化学, 27: 218-223.
12. Watanabe, Y. and M. Umezu (1963) *Tohoku J. Agr. Res.*, 14: 29-37.
13. 渡辺泰邦 (1966) 信大農紀要, 4: 47-104.
14. 吉川春寿 (1962) 臨床医化学 I. 実験篇. 153-155. 協同医書, 東京.

**The Production of Volatile Fatty Acid, Lactic Acid and Glucose
and Arterio-Venous Differences of Volatile Fatty Acid
in Sections of the Alimentary Tract of Pig**

By **Yasukuni WATANABE** and **Hideo MURAI**

Laboratory of Animal Hygiene, Fac. Agric., Shinshu Univ.

Summary

The experiments were conducted to determine volatile fatty acid, lactic acid and glucose contents in the sections of alimentary tract of pig. Furthermore, arterio-venous differences of volatile fatty acid from sections of alimentary tract were determined. The animals had been fed either a alfalfa pellet supplemented or control diet before slaughter in 70 days. The results obtained were summarized as follows.

1) A high concentration and large quantity of volatile fatty acid characterized the colon of the pig. The concentration of volatile fatty acid in the caecum and colon of the pigs were nearly equal of that reported for the rumen of ruminants.

2) The lactic acid decreased progressively as the digesta passed along the alimentary tract. There was a tendency for the alfalfa fed pigs to have a less proportion of lactic acid in the digesta than the controls. The glucose was determined less quantity in the alimentary tract than organic acids.

3) A high arterio-venous differences of volatile fatty acid were observed in the caecum and colonic vein. The absorption of volatile fatty acid were observed in stomach vein as well as caecum and colonic vein. The concentrations of volatile fatty acids in the portal vein were higher than the carotid artery in every experiments. The absorption of volatile fatty acid were observed in control and alfalfa fed pigs equally. The concentration of volatile fatty acid in the portal vein of pigs were compared identically with those of ruminant animals.