肉 の 消 化 に 関 す る 研 究

Studies on the Digestion of Meat

(1) 肉のすじの消化について

On the Digestibility of Connective Tissue in Horseflesh

(昭和 34 年 7 月 28 日受理)

佐々木 林治郎*
(Rinjiroh Sasaki)

大 高 文 男**
(Humio Ohtaka)

The digestibility of connective tissue prepared from horseflesh was investigated *in vitro*. The proteins in connective tissue were digested at pH 9.0 and 44°C. by pancreatin, and at pH 1.4, 38°C. by pepsin, and the digestibility was 84.3 and 75.4%, respectively.

Of the proteins in connective tissue, the protein gelatinized by boiling, (collagenous protein), was digested to a lesser extent than the others by these enzymes, namely, the digestibility of collagenous protein was 65.9% by pancreatin and 26.6% by pepsin, and the others 90.0% by pancreatin and 90.4% by pepsin.

The protein of horse hide was digested, under similar conditions of digestion, but its digestibility was lower than that of connective tissue.

肉の消化については既に多くの研究がなされているが、肉の所謂「すじ」の部分の消化については余り報告されてないようである。

肉の「すじ」はおもにコラーゲンおよびエラスチンより成っているが、コラーゲンは水と長く熱するとゼラチンに変化し、ゼラチンはトリプシンおよびペプシンにより容易に消化される。しかし、コラーゲンは稀酸、稀アルカリおよび蛋白分解酵素により徐々に作用されるにすぎないという。¹⁾

本研究においては、肉の「すじ」の蛋白消化性について実験し、更にその中に含まれる成分の中で加熱によりとけてゼラチンを生ずるものを以つてコラーゲン性蛋白質とみなし、この成分およびこれ以外の蛋白質のパンクレアチンならびにペプシンによる加水分解について実験したので、その結果について報告する。

実 験 の 方 法

1) 実験材料

この実験に用いた試料は肉の筋繊維を包み、または接合している結締組織の部分、すなわち所謂肉の「すじ」の部分を馬肉から集め、これを 0.2% NaOH 溶液、1% HCl 溶液および水にて順次洗つてから乾燥したものである。その化学的組成は水分 12.48%、全窒素 13.75%、蛋白態窒素 13.60%および灰分 0.516%である。

2) パンクレアチンによる消化試験

消化試験は大島、板谷²⁾ および富山、石川³⁾ らの方法を参考にして行つた。すなわち、試料 2g を 300cc 容の三角フラスコにとり、これにパンクレアチン 0.5g, 0.05 N NaOH 溶液および水を加えて全容を 200cc となし、防腐のためトルオール 1 cc を加えて 40°C に 24 時間消化する。消化後中和し、10% CCl₃COOH 溶液 30cc を加え、なお水にて全容を 250cc としたる後、乾燥濾紙で濾過し、濾液の一定量をとつて Kjeldahl 法によつて窒素を定量する(この窒素量を a とする)。別に試料 2g に水 220cc および 10% CCl₃COOH 溶液 30cc を加えて直ちに濾過したものについて消化前の可溶性窒素を定量し(b), また、パンクレアチンの窒素は消化試験に用いたものと同量を 0.5g をとり、これに 0.05 N NaOH 溶液および水を加えて全容を 200cc とし、次にこれを中和してから 10% CCl₃COOH 溶液 30cc を加え、さらに水にて全容を 250cc となし、この濾液の一定量について窒素を定量する(c), 消化率は $\frac{a-(b+c)}{(\text{試料の全窒素})-b} \times 100$ により算出した。本実験に用いたパンクレアチンは効力 80 単位のものであるが、その 1 単位は 1% カゼイン溶液 1 cc を 1 時間に消化しうる力量を表わす。

3) ペプシンによる消化試験

試料 2g を 300cc 容の三角フラスコにとりこれに 2% ペプシン溶液 25cc, 0.2N HCl 溶液および水を加えて全容を 200cc となし、38°C に 24 時間おく。この間時々振盪して消化後これを中和してから 10% CCl₃COOH 溶液

30ccを加え、さらに水にて全容を 250cc としたる後、乾燥濾紙で濾過し、濾液の一定量について Kjeldahl 法により窒素を定量する。別にパンクレアチンによる消化試験の場合と同様にして消化前可溶性窒素およびペプシン窒素を定量して消化率を算出する。なお、本実験に用いたペプシンは効力12単位のものであるが、その1単位は1%カゼイン溶液1ccを1時間に消化しうる力量を表わす。

4) コラーゲン態窒素の定量法

コラーゲンを加圧蒸熱してゼラチンに変えて定量する H. C. Spencer⁴⁾の方法により行つた。

試料 100mg を水 4 cc と共に 15cc 容沈殿管に入れ、15~20lbs のオートクレーフ中で 2 時間加圧蒸熱する。冷後、遠心分離し、上澄液を 50cc 容沈殿管に移し、さらに沈殿を熱湯で 3 回洗つて、洗液を合する。これを微酸性としてから 5% タンニン酸溶液 5cc を加え、氷中に 1 時間おいてゼラチンを沈殿させる。これを遠心分離して上澄液を除き、沈殿は 2 N NaOH 溶液 1 cc を加え、静かに加熱してとかし、5~10cc の水を用いて小ケルダールフラスコに移す。2 N H₂SO₄ 溶液 1 cc を入れて中和後、1:1 硫酸 2 cc および過酸化水素を用いて分解する。分解液は 100cc 容となし、この一定量についてネスラー試薬⁵⁾による比色法を用いて窒素量を定量する。

実験の結果

1) 肉「すじ」のパンクレアチンによる消化

前述の方法により馬肉の所謂「すじ」について消化試験を行つたが、その結果は第1表の通りである。なお、添加するアルカリの量を加減して最初の pH を 6.8~9.4 の間で実験したが、この場合、緩衝液は使用しなかつたので、消化後の pH は異なつて来る。

第1表 肉「すじ」のパンクレアチンによる消化

実 験	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6.8	7.2	7.6	8.0	8.2	8.6	9.0	9.4
消化率 (%)	67.3	72.5	73.0	79.3	81.0	83.5	84.3	84.0

これによると、肉の「すじ」の蛋白質はパンクレアチンにより 84.3% 消化されることが分つた。

2) 肉「すじ」のペプシンによる消化

この場合も添加する酸量を加減して pH 1.2~2.0 の間で

第2表 肉「すじ」のペプシンによる消化

実 験	1	2	3	4	5
pH	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
消化率 (%)	70.5	75.4	69.3	51.5	37.0

実験したが、その結果は第2表の通りである。

これによると pH 1.4 附近で最もよく消化されることを示している。

3) 肉「すじ」に含まれるコラーゲン性蛋白質の消化

肉の「すじ」に含まれる蛋白成分の中で加熱によりとけてゼラチンを生ずるものを以つてコラーゲン性蛋白質としたが、これを定量するには水と共に加圧蒸熱してゼラチンに変え、タンニン酸で沈殿して窒素を定量した。この定量法によればゼラチンを直接に、または加圧蒸熱したものを確実に定量出来、また、既知ゼラチン含量の筋肉粉末にゼラチンを加えた場合、あるいはゼラチン溶液にクレアチニン、尿酸または尿素などを加えた場合にも定量することが出来るという。しかし、この方法により肉「すじ」のコラーゲンを定量する場合、他の蛋白質が加圧蒸熱により可溶となつて来ることも考えられるのでこれについて次のように検討した。

a) コラーゲン態窒素定量法の検討

本実験に用いた試料は馬肉の「すじ」の部分の前述のごとく処理したものであるからコラーゲンおよびエラスチンが主で、その他のものは少ないと思われる。試料を水で浸出した液についてタンニン酸による沈殿反応、Xanthoprotein 反応、Adamkiewicz 反応および Millon 反応などを検したが、何れも反応を示さなかつたので水溶性の蛋白質は存在しないと思われる。なお、試料を 1% HCl 溶液で浸出すると可溶性窒素が全窒素中 4.2% あつたが、同様にして 0.5% NaOH 溶液可溶性窒素 30.2%、10% NaCl 溶液可溶性窒素 1.7% が含まれていて、これらの溶液はタンニン酸、ピクリン酸および黄血塩による沈殿反応、Adamkiewicz 反応および Millon 反応を示した。

肉を水と共に加熱すればコラーゲンはとけてゼラチンを生ずるが、エラスチンは 120°C に 4~5 時間加熱してもとけてこないし、他のミオシン、ミオゲンなどは 50~60°C にして凝固するものと思われる。いま、試料を水と共に 15~20 lbs の圧をかけて 2 時間加熱して生ずる溶液について Xanthoprotein 反応、Adamkiewicz 反応、Millon 反応および 10% K₄[Fe(CU)₆] 溶液による沈殿反応を検したが、何れもこれを示さなかつた。よつて加熱により生じた溶液中にはゼラチン以外の蛋白質は存在しないものと思われる（ゼラチンは前記の反応を示さない⁶⁾）。なお、この溶液に塩酸または酢酸の少量を加えるとわずかに白濁するが、そのままタンニン酸を加えてゼラチンを沈殿させても、あるいはこの白濁物を除いてからゼラチンを沈殿させても窒素定量の結果には差を認めなかつた。これらの結果より、本実験においてこの定量法を用いてさしつかえないものと認められた。

b) 肉「すじ」に含まれるコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質のパンクレアチンによる消化

試料中のコラーゲン態窒素は全窒素中 23.5% で、また蛋白質消化率は第 1 表よりすると 84.3% であつたのでコラーゲンも消化されてるものと思われる。なお、第 1 表における消化試験の不消化物を温湯でよく洗つて分解物を除き、次にこの不消化蛋白質をアルコールおよびエーテルで順次脱水してから乾燥したものについてコラーゲン態窒素を定量したところ第 3 表のような結果を得た。

第 3 表 肉の「すじ」および不消化物中のコラーゲン態窒素 (試料 100mg 中)

実 験	コラーゲン態窒素	コラーゲン態窒素以外の蛋白質態窒素	コラーゲン態 N × 100 全蛋白 N
試 料	mg	mg	
不消化物 1 (pH 6.8)	3.2	10.4	23.5
〃 2 (pH 7.2)	3.9	7.0	35.8
〃 3 (pH 7.6)	4.2	6.7	38.5
〃 4 (pH 8.0)	4.5	6.7	40.2
〃 5 (pH 8.2)	5.1	5.5	48.1
〃 6 (pH 8.6)	4.6	5.9	43.8
〃 7 (pH 9.0)	5.6	5.8	49.1
〃 8 (pH 9.4)	5.8	5.6	50.9
〃	5.2	4.7	52.5

この結果と第 1 表の消化率により、肉「すじ」の蛋白質をコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質にわけてその消化率を算出し、パンクレアチンの作用 pH とともに示すと第 4 表の通りである。

第 4 表 肉「すじ」中のコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質のパンクレアチンによる消化

pH	6.8	7.2	7.6	8.0	8.2	8.6	9.0	9.4
コラーゲン性蛋白質の消化率 (%)	50.3	55.0	54.1	57.5	64.7	65.6	65.9	64.4
コラーゲン性蛋白質以外の蛋白質の消化率 (%)	72.5	77.9	78.8	86.0	86.1	89.0	89.9	90.0

肉「すじ」の蛋白質はパンクレアチンにより 84.3% 消化されたが、この蛋白質はコラーゲン態窒素 23.5% およびその他の蛋白質態窒素 76.5% より成つていて、コラーゲン性蛋白質の消化は pH 9.0 において 65.9% に達し、その他の蛋白質の消化は pH 9.4 において 90.0% を示した。コラーゲンはトリプシンにより消化されにくいとされているが、肉「すじ」の場合、水と共に加熱すると、とけてゼラチンを生ずる蛋白質のなかにはパンクレアチンにより消化されるもののあることを示している。

c) 肉「すじ」に含まれるコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質のペプシンによる消化

パンクレアチンの場合と同じく、第 2 表に示した実験における不消化物中のコラーゲン態窒素を定量した結果は第 5 表の通りである。

第 5 表 肉「すじ」および不消化物中のコラーゲン態窒素 (試料 100mg 中)

実 験	コラーゲン態窒素	コラーゲン態窒素以外の蛋白質態窒素	コラーゲン態 N × 100 全蛋白 N
試 料	mg	mg	
不消化物 1 (pH 1.2)	3.2	10.4	23.5
〃 2 (pH 1.4)	9.0	4.0	69.2
〃 3 (pH 1.6)	9.2	3.9	70.2
〃 4 (pH 1.8)	8.7	4.1	68.0
〃 5 (pH 2.0)	5.5	7.4	42.6
〃	3.5	7.6	31.5

この結果と第 2 表の消化率とより、肉「すじ」中のコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質の消化率を算出し、ペプシンの作用 pH とともに示すと第 6 表の通りである。

第 6 表 肉「すじ」中のコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質のペプシンによる消化

pH	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
コラーゲン性蛋白質の消化率 (%)	13.4	26.6	11.3	12.2	15.6
コラーゲン性蛋白質以外の蛋白質の消化率 (%)	88.1	90.4	87.1	63.4	43.6

肉「すじ」の蛋白質はペプシンにより pH 1.4 において 75.4% 消化されたが、この蛋白質は窒素としてコラーゲン態窒素 23.5% およびその他の蛋白質態窒素 76.5% よりなつていて、コラーゲン性蛋白質は pH 1.4 において 26.6%、その他の蛋白質は 90.4% 消化されている。

第 4 表及び第 6 表よりすると、肉「すじ」の蛋白質の中、コラーゲン性蛋白質以外の蛋白質はパンクレアチンあるいはペプシンにより殆んど同程度に消化されているが、コラーゲン性蛋白質の消化の場合には著しい差が認められた。これは、パンクレアチンによる消化試験の場合には消化液がアルカリ性で消化温度も高かつたので、コラーゲン性蛋白質の一部がゼラチン化して消化されやすくなつたことが一つの原因と思われる。

4) 馬皮蛋白質のパンクレアチンおよびペプシンによる消化

肉「すじ」中のコラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質はパンクレアチンまたはペプシンによりかなり消化されることが分つたが、一般にコラーゲンは酵素の作用を受けにくいとされているので、参考のために馬皮を用

いて同様の消化試験を行つた。消化液の pH は肉の「すじ」が最もよく消化された pH, 即ちパンクレアチンの場合は pH 9.0, ペプシンの場合は pH 1.4 のみについて行つたが, その他は肉の「すじ」の消化試験と全く同じである。その結果は第7表および第8表に示す通りである。

第7表 馬皮および不消化物中のコラーゲン態窒素 (試料100mg中)

実 験	コラーゲン 態窒素	コラーゲン 態窒素以外の蛋白 態窒素	コラーゲン 態 N × 100 全蛋白 N
馬 皮	9.8 mg	4.7 mg	67.6
パンクレアチン不消化物	10.4	3.7	73.8
ペプシン不消化物	11.1	3.3	77.1

第8表 馬皮蛋白質の消化率 (%)

種 類	全蛋白質	コラーゲン 性蛋白質	コラーゲン 性蛋白質以外 の蛋白質
パンクレアチン消化	40.3	34.8	51.7
ペプシン消化	21.8	11.1	44.9

試料の馬皮は馬乾皮を一夜水漬後石灰乳につけて10日間処理してから清水でよく洗い, 次にこれを1% HCl 溶液中で中和し, さらに水洗して乾燥後粉末としたものである。試料中の蛋白態窒素は14.5%であるが, コラーゲン態窒素を前述の方法で測定した結果, 蛋白態窒素の67.6%はコラーゲン態窒素であつた。

コラーゲンは低温ではトリプシンにより分解されにくい, 温度を高くして作用させれば消化されるといふ⁷⁾。この場合も肉の「すじ」および馬皮中のコラーゲ

ン性蛋白質がパンクレアチンまたはペプシンにより分解されることを示している。しかし, 肉の「すじ」の蛋白質の方が消化されやすく, コラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質ともに, その消化率は馬皮中のものよりも高い値を示した。

要 約

馬肉から調製した所謂肉の「すじ」の蛋白質の消化試験を行つたが, パンクレアチンにより pH 9.0, 44°C において84.3%, またペプシンにより pH 1.4, 38°C において75.4%が消化された。この肉の「すじ」を構成する蛋白質の中コラーゲン性蛋白質以外の蛋白質の消化率はパンクレアチンおよびペプシンいずれの場合もそれぞれ90.0および90.4%と大差なかつたが, 加熱によりとけてゼラチンを生ずる蛋白質の消化はパンクレアチンにより65.9%, またペプシンにより26.6%とかなりの差が認められた。なお, 同様の条件で消化した馬皮蛋白質の消化率は, コラーゲン性蛋白質およびその他の蛋白質ともに肉「すじ」の蛋白質の場合よりも低い値を示した。

文 献

- 1) F. Haurowitz: Chemistry and Biology of Proteins p. 180 (1950)
- 2) 大島, 板谷: 農化 14, 507 (1938)
- 3) 富山, 石川: 農化 14, 989 (1938)
- 4) H. C. Spencer, S. Morgulis, and M. W. Viol: J. Biol. Chem. 120, 257 (1937)
- 5) Peters and Van Slyke: Quantitative Clinical Chemistry Vol. II, p. 532 (1932)
- 6) 赤堀: アミノ酸及蛋白質 p. 604 (1944)
- 7) A. W. Thomas and F. L. Seymour-Jones: J. Am. Chem. Soc. 45, 1515 (1923)

(*: 東京大学, **: 茨城大学農学部)

豚の S³⁵ 代謝とビタミン A

ビタミン A と S³⁵ の代謝の関係を検討するために2種の実験を行つた。一つは初体重平均 4.5Kg の仔豚を用い, Na₂ S³⁵ O₄ を腹腔内注射した所, 血液及び肺組織では9時間後, 耳の軟骨及び肋骨の接合部には17時間後に, S³⁵ の蓄積が最高濃度に達した。もう一つは種々のレベルのビタミン A をあたえた仔豚を腹腔内注射17時間後に殺して, S³⁵ の蓄積をしらべた実験で, 飼料中のビタミン A が O—3000 I.U./Lb の場合は A 欠乏がはげしい程 S³⁵ の組織中の蓄積は高まり, 特に肋骨接合部に著しいが, A を補うとこの傾向は減少する, A の量を著しく大きくした場合は又逆に S³⁵ の蓄積を増加した。脊髄液

圧は A の量がよくなる程降下した。S³⁵ の蓄積, 成長, 脊髄液圧の以上の関係から骨の生長帯の S³⁵ 代謝は, 主に骨の成長及び A 欠乏時の脊髄液圧の病理的な下降に関係ある事が考えられた。甲状腺の色調は, A 量に影響され, A 量が充分の場合は暗色を帯びた。

Relationship of vitamin A to S³⁵ metabolism in the baby pig.

by D. L. Frape, R. S. Allen, V. C. Speer, V. W. Hays, and D. V. Catron *J. Nutri.* 68, 189 (1959)

(馬場)