

研究ノート

ウマにおける消化管内飼料片の粒度分布と繊維成分含量

上田宏一郎・宮地 慎・小林 泰男・秦 寛・近藤 誠司・大久保正彦
北海道大学大学院農学研究科, 札幌市 060-8589

Size distribution and fiber contents of particles
in digestive tract of an equine

Koichiro UEDA, Makoto MIYAJI, Yasuo KOBAYASHI, Hiroshi HATA,
Seiji KONDO and Masahiko OKUBO

Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589

キーワード: 飼料片粒度, 繊維消化, 消化管, ウマ

Key words: particle size, fiber digestion, digestive tract, equine

要 約

ウマ(北海道和種, 去勢, 1才齢, 体重208kg)1頭を供試し, ウマの消化管内の飼料片粒度分布および粒度画分ごとの繊維成分含量について消化管部位別に検討した。供試ウマを屠殺し, 胃, 小腸, 盲腸, 腹側結腸, 背側結腸, および小結腸に分割し, 各部位の内容物のサンプルを採取した。内容物サンプルは, 湿式篩い分けにより4粒度に分割し, 乾物の粒度分布を測定した。それぞれの粒度画分について繊維成分含量を測定した。小腸を除く消化管部位では, LP(Large particle, 5.6mm篩残留物)が最も多い粒度分布を示した(36~67%)。LP割合が盲腸から背側結腸の間で増加し, SP(Small particle, 0.6+0.3mm篩残留物)割合は減少した。背側結腸と小結腸の間では, LP割合は減少し, SP割合は増加した。セルロース含量は, 下方の消化管ほど低くなり, この低下の程度は粒度が小さいほど大きかった。一方, 酸性デタージェントリグニン含量は, 下方の消化管ほど高くなり, この増加の程度はFP(Fine particle, 0.3+0.047mm篩残留物)で大きかった。

緒 言

ウマは, 盲結腸に生息する微生物の働きにより粗飼料の繊維質を利用できることは知られているが, 繊維消化のメカニズムの詳細は明らかではない。とくに, 飼料片の消化管内動態は, 繊維消化に大きな関わりを

もつと思われるが, これに関するウマでの研究報告はほとんどない。反芻動物では, 反芻胃の飼料片は粒度が小さいほど第3胃への通過は速まる(POPPI *et al.*, 1981)。飼料片粒度が小さくなると重量あたりの表面積が大きくなるので, 反芻胃内微生物による発酵が促進される(ELLIS *et al.*, 1984)。CORK *et al.* (1999)は, 盲結腸発酵を行う動物(ウサギ, フクロネズミ)では, 小粒度の飼料片は中粒度の飼料片より消化管内平均滞留時間が長いことを示しており, これは, 結腸に流入した飼料片のうち小粒度のものだけが, 選択的に盲腸へ送り返されるためと推察している。従って, 草食動物における消化管内飼料片の粒度は, 消化管内の飼料の通過を規制し, それにより繊維消化率が左右されると考えられるので, 非常に重要である。ウマにおいても消化管内の飼料片が粒度によって通過動態が異なる可能性は, いくつかの研究(ARGENZIO *et al.*, 1974; DROGOUL *et al.*, 2000)において示唆されているが, メカニズムの詳細は不明である。消化管内の飼料片粒度分布や粒度ごとの繊維成分は, 草食動物の飼料片の通過動態や繊維質の発酵動態の様相を知る上で, 有用な情報となりうるが(SEKINE *et al.*, 1992; UEDA *et al.*, 2001), ウマにおいてそれらを測定した例は見当たらない。そこで, 本研究ではウマの消化管を6部位(胃, 小腸, 盲腸, 腹側結腸, 背側結腸, および小結腸)にわけ, 各部位の内容物の飼料片粒度分布, および粒度画分ごとの繊維含量を部位間で比較した。

材料および方法

試験には, 去勢ウマ1頭を用いた(北海道和種, 体

重：208 kg, 1歳齢)。供試ウマは、5月上旬からイネ科牧草放牧地で昼夜放牧されていた。放牧開始から約2週間後、供試ウマを放牧地から厩舎内のペンに収容し、同じ放牧地から刈り取った牧草を給与した。給与量は、残食が十分出る量とした。翌日の9:00に、同様に牧草を給与した後、13:00に屠殺した。屠殺後、食道から肛門までのすべての消化管をとりだし、胃、小腸、盲腸、腹側結腸、背側結腸、および小結腸の6部位に分割し、各部位の上端と末端を糸で結紮した。それぞれの消化管部位の内容物をすべて取り出し、内容物の原物重量を測定した。内容物をコンテナ内でよく攪拌し、代表サンプルを約500 gずつ採取した。各部位の内容物サンプルは、ホルマリンを約10 mL滴下した後、後の分析まで4°Cで冷蔵保存した。

採取した各部位の内容物のうち約100 gを、通風乾燥機で乾燥(60°C, 78時間)した。残りの内容物サンプルは、異なる目開きの7つの篩(5.6, 2.36, 1.18, 0.60, 0.30, 0.15, 0.047 mm)を用い、湿式篩い分けにより4つの粒度画分に分割した(上田ら, 1995)。粒度画分の分割方法は、上田ら(1995)に従い、LP (large particle, 5.6 mm 篩残留物), MP (medium particle, 2.36+1.18 mm 篩残留物), SP (Small Particle, 0.6+0.3 mm 篩残留物), FP (fine particle, 0.3+0.047 mm 篩残留物)とした。各画分の飼料片を通風乾燥機で乾燥(60°C, 78時間)した。総内容物およびそれぞれの粒度画分の乾燥物は、1 mmスクリーンを通るように粉碎し、乾物含量を測定した(135°C, 2時間)。各消化管部位の飼料片の粒度分布割合を、飼料片総乾物重量あたりの各粒度画分の乾物重量として求めた。中性デタージェント繊維(NDF), 酸性デタージェント繊維(ADF), および酸性デタージェントリグニン(ADL)含量を、VAN SOEST *et al.* (1992)の方法により測定した。NDF含量からADF含量を差し引いた値をヘミセルロース含量, ADF含量からADL含量を差し引いた値をセルロース含量とした。

結果および考察

各消化管部位における内容物の乾物含量, 原物重量, および乾物重量をTable 1に示した。乾物含量は、胃ではすべての部位の中でも最も高い値であった。胃から小腸, 小腸から盲腸の間で乾物含量は減少した。しかし、盲腸から腹側結腸, 腹側結腸から背側結腸の間では、乾物含量は増加し、小結腸では再び減少した。

ARGENTIO *et al.* (1974)は、盲結腸における腸管壁での水分の吸収と流入の交換を調べ、盲腸での水分吸収は流入の15倍程度と著しく、腹側結腸でも水分吸収が多いことを示した。本研究の結腸における乾物含量の増加は、彼らの結果に即したものである。乾物内容量は、胃, 小腸, および小結腸では、200~300 g程度と少なかった。背側結腸および腹側結腸では、約1 kgの乾物が存在し、両者をあわせると全消化管内容物の63%であり、摂取飼料は消化管の中でもこの部位で最も長く滞留することが推察される。盲腸の乾物内容量は、背側結腸および腹側結腸より少なく約半量であり、結腸の滞留時間は盲腸に比べても長いものと考えられる。DROGOUL *et al.* (2000)は、細切乾草を給与したポニーにおける飼料片の平均滞留時間は、結腸(20~30 h)では盲腸(2~5 h)と比べ顕著に長い結果を示している。

各消化管部位における内容物の粒度分布をFigure 1に示した。小腸を除く消化管部位では、LPが最も多い分布を示した。盲腸以降の内容物では、LP割合が盲腸から背側結腸の間で増加し、SP割合は減少した。背側結腸と小結腸の間では、LP割合は減少し、SP割合は増加した。小腸の粒度分布は、LP割合が非常に低く、明らかに他の部位と異なった。小腸と胃の内容物の粒度分布が大きく異なることは考えにくい。本試験では小腸内容物を外側からしごいて採取したため、LPが腸管壁に付着し残留したことが、粒度分布が小腸と胃で異なる原因となったかもしれない。

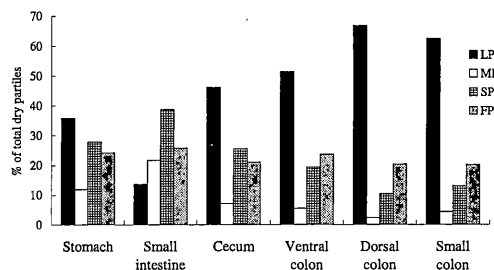


Figure 1 Particle size distribution of digesta in six sections of digestive tract of a Hokkaido native pony. LP: large particle fraction (retained on 5.6 mm sieve), MP: medium particle fraction (retained on 2.36 and 1.18 mm sieves), SP: small particle fraction (retained on 0.6 and 0.3 mm sieves), FP: fine particle fraction (retained on 0.3 and 0.047 mm sieves)

Table 1 Dry matter content, fresh weight, and dry weight of digesta in six sections of digestive tract of a Hokkaido native pony

	Stomach	Small intestine	Cecum	Ventral colon	Dorsal colon	Small colon
Dry matter content, %	24.3	12.6	9.3	12.1	21.4	17.9
Digesta weight, kg fresh	1.00	2.20	4.50	9.10	4.60	0.95
g dry matter	243	278	418	1,103	983	170

本研究における LP 割合の盲腸から背側結腸の間での増加は、これらの消化管の間で LP が選択的に滞留した結果かもしれない。幾つかの研究によって、盲腸 (DROGOUL *et al.*, 2000; SELLERS *et al.*, 1982)、背側結腸 (DELLOW *et al.*, 1982)、腹側結腸と背側結腸の間の骨盤湾曲部 (ARGENZIO *et al.*, 1972)、において大粒度の飼料片が選択的に滞留することが推測されている。本研究の各消化管部位の粒度分布からは、大粒度の飼料片がいずれかの部位で選択的に滞留していることは言えるが、その部位を特定することは不可能である。一方、SPERBER *et al.* (1992) は、背側結腸と小結腸の間で小粒度の飼料片が選択的に滞留するメカニズムを提案している。本研究では、背側結腸と小結腸の間では SP 割合は増加したので、そのようなメカニズムは認められなかった。

各消化管部位における内容物の粒度画分ごとの NDF、セルロース、ヘミセルロースおよび ADL 含量を Figure 2 に示した。胃および小腸内容物の NDF 含量は、LP および MP に比べると SP で低く、さらに FP では SP より低い値を示した。いずれの粒度においても、NDF 含量は胃から盲腸の間で増加し、この増加は SP および FP で顕著であった。また、盲腸以降では、MP および SP の NDF 含量はほぼ一定であったが、LP および FP では背側結腸に至るまで減少した。胃から盲腸までの NDF 含量の増加は、分解されやすい細胞内容物が胃から盲腸の間で消化された結果であると考えられる。一般的に葉部は咀嚼時に破碎されやすく NDF 含量は低いことから、胃および小腸で NDF 含量が低かった小粒度の画分には、葉部由来の飼料片が多く含まれていた可能性がある。盲腸以降における粒度画分の NDF 含量の変動は、盲結腸の微生物による NDF の消化、細胞内容物消化による増加、および飼料片への微生物付着による減少、の総和であるため、粒度画分の NDF 含量の変動からは繊維消化を推察することは難しい。

各粒度画分の NDF 中のヘミセルロース含量は、胃から盲腸の間で若干増加し、盲腸以降ではほぼ一定であった。NDF 中のセルロース含量は、下部の消化管ほど低くなり、この低下の程度は粒度が小さいほど大きかった。一方、NDF 中の ADL 含量は、これとは逆の傾向にあり、下部の消化管ほど高くなった。特に、FP におけるセルロース含量の減少と ADL 含量の増加は、他の粒度と比較すると顕著であった。このようなセルロース含量の増加と ADL 含量の減少は、盲結腸での発酵の進行に伴うセルロースの消失により、不消化の繊維質である ADL が相対的に残留した結果と考えられる。これらのことから、ウマにおける摂取飼料の盲結腸でのセルロースの分解程度は、小さな粒度の飼料片ほど大きいことが示唆される。この原因としては、粒度が小さいものほど表面積が大きいため、盲結

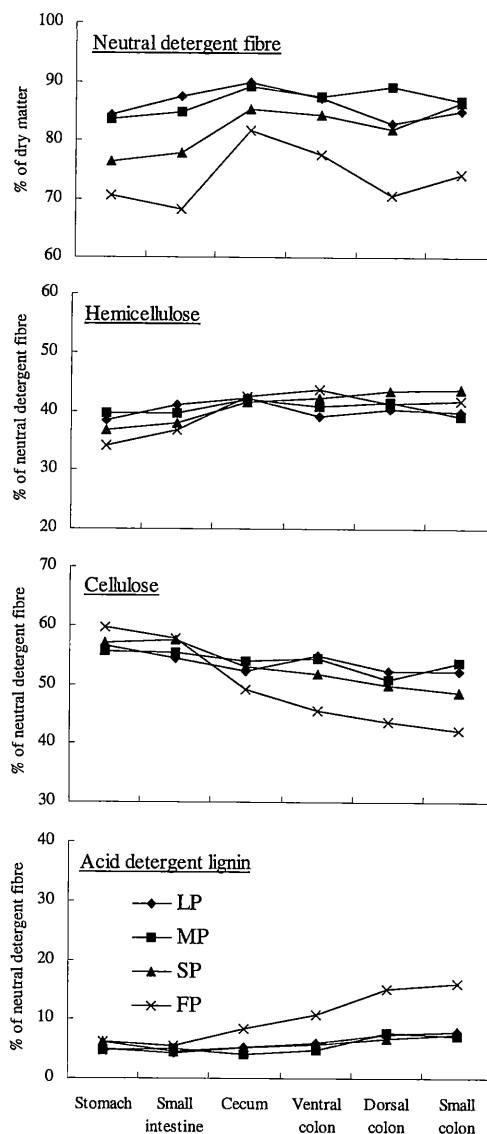


Figure 2 Fiber constituent contents of digesta particulate fractions in six sections of digestive tract of a Hokkaido native pony. LP: large particle fraction (retained on 5.6 mm sieve), MP: medium particle fraction (retained on 2.36 and 1.18 mm sieves), SP: small particle fraction (retained on 0.6 and 0.3 mm sieves), FP: fine particle fraction (retained on 0.3 and 0.047 mm sieves)

腸での微生物発酵が促進されたことが考えられる。あるいは、小粒度の画分ほど、葉部に由来する易消化性繊維が多く含まれ、基質自体の消化性が高かったのかもしれない。

以上の結果から、ウマの消化管内での消化および通過動態は消化管内の飼料片の粒度によって異なる可能性が示唆された。盲結腸での繊維質とくにセルロースの発酵の程度は微細な飼料片ほど大きいことが示され、ウマによる繊維質消化には、盲結腸での飼料片粒度と消化・通過動態の関係が重要と考えられた。

文 献

- ARGENZIO, R. A., J. E. LOWE, D. W. PICKARD and C. E. STEVENS (1974) Digesta passage and water exchange in the equine large intestine. *Am. J. Physiol.*, **226**, 1035-1042.
- CORK, S. J., I. D. HUME and G. J. FAICHNEY (1999) Digestive strategies of nonruminant herbivores: The role of the hindgut. in Nutritional ecology of herbivores. (JUNG, H. G. and G. C. FAHEY, Jr., eds.) 210-260. American Society of Animal Science. Savoy, USA.
- DELLOW, D. W., J. V. NOLMAN and I. D. HUME (1983) Studies on the nutrition of macropodine marsupials. V. Microbial fermentation in the forestomach of *Thylogale thetis* and *Macropus eugenii*. *Aust. J. Zool.*, **31**, 433-443.
- DROGOUL, C., C. PONCET and J. L. TISSERAND (2000) Feeding ground and pelleted hay rather than chopped hay to ponies 1. Consequence for in vivo digestibility and rate of passage of digesta. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **87**, 117-130.
- ELLIS, W. C., J. H. MATIS, K. R. POND and M. MAHLOOJI (1984) Physical chemical digestion of forage fragments with emphasis on stochastic, heterogeneous rate models. in Modeling ruminant digestion and metabolism. (BALDWIN, R. L. and A. C. BYWATER eds.) 34-42. University of California. Davis, USA.
- 上田宏一郎・一戸俊義・田村 忠・大久保正彦・朝日田康司 (1995) 刈取り時期の異なるオーチャードグラス乾草およびアルファルファ乾草を給与しためん羊における反芻胃内容物粒度別飼料片の繊維成分含量. 日畜会報, **66**, 949-956.
- UEDA, K., T. ICHINOHE, T. TAMURA, M. OKUBO and Y. ASAHIDA (2001) The influence of fiber fermentation, size reduction and passage of ruminal particles on fiber digestibility in sheep fed hays. *Anim. Sci. J.*, **72**, 198-208. 2001.
- POPPI, D. P., B. W. NORTON, D. J. MINSON and R. E. HENDRICKSEN (1980) The validity of the critical size theory for particle leaving the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.*, **94**, 275-280.
- SEKINE, J., T. FUJIKURA, R. OURA and Y. ASAHIDA (1992) The distribution of digesta particles and mean particle size of digesta obtained from the diverse parts of the gastrointestinal tract of ruminants. *AJAS*, **5**, 13-18.
- SELLERS A. F., J. E. LOWE, C. J. DROST, V. T. RENDANO, J. R. GEORGI. and M. C. ROBERTS (1982) Retropulsion-propulsion in equine large colon. *Am. J. Vet. Res.*, **43**, 390-396.
- SPERBER, I., G. BJÖRNHAG and K. HOLTENIUS (1992) A separation mechanism and fluid flow in the large intestine of the equine. in Proceedings of the Europäische Konferenz über die Ernährung des pferdes. Physiologie und Pathologie des Verdauungskanal - Konsequenzen für die Ernährung. 29-32. Hanovre.
- VAN SOEST, P. J., J. B. ROBERTSON and B. A. LEWIS (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3538-3597.