

成長ステージが異なるラットの 栄養吸収に対する盲腸の役割

黒澤 亮*・池田周平**・祐森誠司**・栗原良雄**

(平成 17 年 2 月 22 日受付/平成 17 年 6 月 10 日受理)

要約: 本試験は栄養素の消化・吸収に対する盲腸の役割を成長ステージの異なるラットで比較することを目的として行った。盲腸を摘出したラット(盲腸摘出区)と疑似開腹のラット(対照区)を、成長期(6-13週齢時)と維持期(14-22週齢時)にわたる16週間の成長試験と、成長期終了時(13週齢時)と維持期終了時(22週齢時)に全糞採取法による消化試験を実施した。成長期の増体量は対照区と盲腸摘出区で差が認められなかったが、維持期は、盲腸摘出区が有意($P < 0.05$)に低かった。飼料摂取量は、成長期に盲腸摘出区が有意($P < 0.05$)に高かったが、維持期は両区間に差は認められなかった。飼料効率も、試験期間を通じて、盲腸摘出区が有意($P < 0.05$)に低く、維持期ではその差は飼料効率との相対比が30から40%と大きかった。糞重量は、逆に試験期間を通じて盲腸摘出区が有意($P < 0.05$)に高かった。結腸容積は、成長期に盲腸摘出区が有意($P < 0.05$)に大きくなったが、維持期には差が認められなくなった。CP、ADFならびにエネルギー消化率は、成長期では、盲腸摘出区で有意($P < 0.05$)に低くなった。維持期では、CPの消化率は、両区間の差は認められなかったが、ADFならびにエネルギーの消化率は、盲腸摘出区で有意($P < 0.05$)に低くなった。以上の結果から、盲腸は繊維を発酵分解する微生物の棲息場所として重要で、これによる栄養素の消化・吸収にも影響を及ぼすことが示唆された。また、維持期の飼料効率に関して試験区間の数値的な差は成長期と同等であったが、その差は飼料効率に相対して大きくなり、盲腸は栄養素の利用に消化・吸収に先駆けて関係していると推察された。

キーワード: ラット, 盲腸, 成長, 消化率, 吸収

緒 言

結腸, 盲腸, 直腸により構成される大腸部は, 一般的に消化酵素の分泌はほとんどなく, 水分吸収が主な働きと考えられてきた。ラットを含むゲツ歯目動物やウサギ, ウマは, 特異的に発達した大腸部を持ち, そこに棲息している微生物の発酵分解で得られる有機酸や水溶性ビタミンをある程度吸収していることが明らかにされており, ウシやメンヨウ, ヤギの様な反芻動物と区分して, 後腸発酵動物と呼ばれている(坂口 2004)。特に小型の後腸発酵動物には共通して食糞行動が認められる。食糞行動により摂取される糞(ウサギ: 軟糞 [平林・平山 1960], ラット: 含水糞 [KURIHARA ら 1997])の成分として, ビタミン B_{12} と葉酸が通常にみられる糞(ウサギ: 硬糞 [平林・平山 1960], ラット: 普通糞 [KURIHARA ら 1997])に比べ多いことは既に知られている(SUKEMORI ら 2003, KULWICH ら 1953)。ラットは実験動物, 殊に人の代替動物として汎用されてきたが, 近年豚の代替動物として利用される機会が多くなっている。代替試験を行う上で, 対象種間で異なる点を明らかにすることは必要不可欠であることから, ラットの特異

的行動である食糞行動について, 著者らは, これまで試験を行ってきた。含水糞が盲腸内容物の排泄型であることは, 過去の報告(池田ら 2004, 萩原ら 2004, TAKAHASHI and SAKAGUCHI 2000)から明らかであり, 食糞行動の阻止方法として盲腸の摘出処理の有効性を検討したところ, 含水糞の排泄はなくなるが, 食糞行動は継続して行われた(KUROSAWA ら 2003)。また, 盲腸を切除してから4週間飼育したラットから採取した排泄糞は先に述べた普通糞, 含水糞とは異なる性状であり, 水分が多く, CPは若干少なかった。さらに結腸部が膨大していた。これは, 盲腸摘出に対しラットが生体的に順応した結果であり, 対照区のラットとの差異は盲腸の役割を示唆すると考えられた。そこで本試験では, 生後6週齢で盲腸を切除したラットを16週間飼育し, 6-13週齢を成長期, 14-22週齢を維持期として, その間の成長およびCP, ADF, エネルギーの消化率を対照(疑似開腹処理)ラットの値と比較し, 栄養素の消化・吸収に対する盲腸の役割について検討することを目的とした。

* 東京農業大学大学院農学研究科畜産学専攻

** 東京農業大学農学部畜産学科

材料および方法

供試動物および供試飼料

日本クレア(株)より購入した5週齢のSD系雄性ラット10匹を平均体重(150.1±1.1g)が等しくなるように対照区(6匹)、盲腸摘出区(4匹)に区分した。飼育環境は、金属製ケージに1匹ずつ単飼し、明暗周期を12時間とし、室温25±2℃の調温室で飼育した。飼料は、日本クレア(株)より購入した飼育繁殖用飼料(CE-2・ペレット)(Table 1)とし、飲水とともに自由摂取させた。試験期間は、盲腸摘出から16週間(6-22週齢)とした。

盲腸摘出手術

手術は、ネンブタール(ペントバルビタールナトリウム50 mg/ml・日本薬局方)を体重1 kg当たり40 mg投与し、十分な麻酔を施してから実施した。まず、腹部の中心からやや左側を極力小さく切開し、盲腸を取り出した。盲腸は、回腸ならびに結腸と盲腸の結合部分を縫合糸で結紮した後に切断した。切除部は、70%エタノールで十分消毒した後、腹腔に戻した。切開した腹部は、縫合した後、希ヨードチンキ(日本薬局方)で消毒した。

測定項目および方法

測定項目として、体重は毎週、飼料摂取量・糞重量は毎日測定した。また、増体量、飼料摂取量から飼料効率を求めた。これらの値は、6-13週齢を成長期として、14-22週齢を維持期として2期に区分しまとめた。消化試験は、成長期終了時(13週齢時)と維持期終了時(22週齢時)に、

Table 1 Chemical composition of test feed

Moisture	(%FM)	8.91
Crude protein	(%DM)	27.66
ADF	(%DM)	6.94
Energy	(kcal/g FM)	4.22

6日間の全糞採取法(石橋2000)で実施し、CP, ADF, エネルギーについて消化率を求めた。飼料および糞の一般成分(水分, CP, ADF)については、常法(石橋2000)で実施し、エネルギーは、カロリーメーター(CA-4PJ)(島津理科学機器, 京都)で測定した。結腸容積の測定は、飼育試験終了後、ジエチルエーテルで屠殺し、大腸部を採取し、生理的食塩水(NaCl 0.85%)を満たし、その容量を測定した。

統計処理

統計処理は、各期に各測定項目において一元配置分散分析(Excel統計 株式会社社会情報サービス, 東京)により5%水準で実施した。

試験結果

成長試験

増体量、飼料摂取量、飼料効率、糞重量および結腸容積の成績はTable 2に示した。成長期の増体量は対照区と盲腸摘出区で差が認められなかったが、維持期は、盲腸摘出区が有意(P<0.05)に低かった。飼料摂取量は、成長期に盲腸摘出区が有意(P<0.05)に高かったが、維持期は、両区間に差は認められなかった。飼料効率は、成長期ならびに維持期で、盲腸摘出区が有意(P<0.05)に低かった。糞重量は、逆に成長期および維持期に盲腸摘出区が有意(P<0.05)に高かった。結腸容積は、維持期(22週齢時)には、両区間に差が認められなかった。

消化試験

糞中成分含量のうち水分ならびにエネルギー含量は原物、その他の成分は乾物表示し、これらの値はTable 3に示した。これらの値から算出された摂取成分量、排泄成分量ならびに消化率は、Table 4に示した。CP, ADF, エネルギーそれぞれの摂取量に、成長期と維持期のいずれにおいても有意差は認められなかった。成長期のCPおよびエネルギー排泄量は、盲腸摘出区が有意(P<0.05)に高くなった。ADF排泄量には、両区間の差は認められなかった。CP消化率、ADF消化率ならびにエネルギーの消化率は、盲腸摘出区が有意(P<0.05)に低くなった。維持期の

Table 2 Result of growth test

	The growth period(6-13weeks-old)		The maintenance period(14-22weeks-old)	
	Control	Caecectomized	Control	Caecectomized
Body weight gain(g/d)	5.68±0.20	5.71±0.13	1.94±0.12 ^a	1.28±0.20 ^b
Feed intake (g/d FM)	25.4±0.6 ^a	27.8±0.4 ^b	27.8±0.7	27.4±1.3
Feed efficiency	22.4±0.5 ^a	20.5±0.5 ^b	6.96±0.30 ^a	4.59±0.59 ^b
Feces (g/d FM)	11.6±0.6 ^a	25.8±2.0 ^b	12.0±0.6 ^a	21.7±3.0 ^b
Capacity of colon(ml)			23.6±1.3	19.8±1.7

Value is mean±SE. Control : n=6, Caecectomized : n=4.

There is a significant (P<0.05) difference in different letters.

Table 3 Chemical composition of feces

	The growth period(13weeks-old)		The maintenance period(22weeks-old)	
	Control	Caecectomized	Control	Caecectomized
Moisture (%FM)	48.5±3.2	60.4±4.2	39.6±2.6	53.8±4.1
CP (%DM)	25.0±0.2	21.4±0.4	23.1±0.7	20.7±0.9
ADF (%DM)	21.1±0.2	19.8±0.7	21.4±0.3	19.9±0.9
Energy (kcal/gFM)	2.15±0.14	1.63±2.71	2.50±0.11	1.93±0.17

Value is mean±SE. Control : n=6, Caecectomized : n=4.

Table 4 Results of Digestibility test in each period

		The growth period(13weeks-old)		The maintenance period(22weeks-old)	
		Control	Caecectomized	Control	Caecectomized
CP	Intake(g)	47.1±0.9	48.9±1.0	50.0±1.4	48.7±1.9
	Excretion(g)	9.73±0.20 ^a	11.4±0.7 ^b	10.4±0.4	11.6±1.3
	Digestibility(%)	79.1±0.5 ^a	76.7±0.9 ^b	79.3±0.5	76.5±2.0
ADF	Intake(g)	11.8±0.2	12.3±0.2	12.5±0.4	12.2±0.5
	Excretion(g)	8.24±0.26	10.5±0.4	9.70±0.35	10.9±0.4
	Digestibility(%)	29.4±2.0 ^a	14.6±1.0 ^b	23.4±1.6 ^a	11.4±2.3 ^b
Energy	Intake(kcal)	789.6±15.6	819.3±16.0	838.0±24.0	814.9±32.0
	Excretion(kcal)	162.5±4.1 ^a	218.2±12.6 ^b	188.1±7.3 ^a	231.9±19.0 ^b
	Digestibility(%)	79.1±0.4 ^a	73.1±1.0 ^b	77.5±0.6 ^a	72.0±1.7 ^b

Value is mean±SE. Control : n=6, Caecectomized : n=4.

There is a significant (P<0.05) difference in different letters.

CP ならびに ADF 排泄量には、両区間の差は認められなかったが、エネルギー排泄量は、盲腸摘出区で有意 (P<0.05) に高くなった。CP の消化率は、両区間の差は認められなかったが、ADF ならびにエネルギーの消化率は、盲腸摘出区が有意 (P<0.05) に低くなった。

考 察

本試験では、生後 6 週間で盲腸を切除したラットを 16 週間飼育し、その間の成長および CP, ADF, エネルギーの消化率を対照 (疑似開腹処理) ラットの値と比較し、栄養素の消化・吸収に対する盲腸の役割について検討することを目的とした。

増体量と飼料摂取量の関係から、成長期 (1-8 週目) では盲腸摘出により飼料摂取量が増加し、増体量に差は認められなかったが、維持期 (9-16 週目) では、飼料摂取量は、盲腸摘出による増加が認められず、増体量は低下した。そのため、飼料効率は、両試験期間とも盲腸摘出により低下し、成長期と維持期の何れの時期も対照区と盲腸切除区の差は 2 程度であるが、維持期の差は飼料効率に相対して約 30 から 40% に相当し、大きく低下していた。成長期のラットは、1 日あたり 10-15 回の食糞行動がみられるが、成長期を過ぎた 12 週齢以降においては 1 日あたり 1-5 回に少なくなることが確認されている (IKEDA ら 2000)。先の試験において、盲腸摘出ラットは、含水糞を排泄しないことを確認した (KUROSAWA ら 2003)。また、成長期であった盲腸摘出ラットは含水糞を摂取できない状態では、

含水糞中のビタミン B₁₂ や葉酸など飼料成分の有効利用や成長に必要な栄養分を飼料から摂取するために、飼料摂取量は増加したと考えられた。斎藤・安藤 (1986) は、成長期 (4-8 週齢) のラットで精製飼料と一般飼料の代謝エネルギー効率を比較すると、一般飼料は飼料効率が低く、精製飼料に比べタンパク質蓄積に多くの代謝エネルギーを要求すると報告している。PENNY ら (1987) は、成長期 (平均体重 103.5±0.9 g) のラットで高 CP の飼料を給与した場合タンパク質の蓄積は増加し、熱発生量は低下し、脂肪の蓄積は低下することを報告している。ITO ら (2002) は、維持期 (52-104 週齢) のラットでは、加齢に伴い CP の消化率は低下し、粗脂肪の消化率は高まることを報告している。これらのことから、成長期のラットは、食下物を消化・吸収するための、エネルギー消費量が多く、維持期では、タンパク質の要求量が成長期に比べ低下するため飼料摂取量が低下し、増体量にも影響すると考えられた。

本試験の CP の消化率において、成長期では有意差が認められ、維持期では有意差が認められなかった。しかし、いずれの期間においても同様の成績を示し、盲腸摘出区が若干低い結果となった。これは、腸管内微生物が増殖しても内容物とともに排泄されることから、見かけの消化率として低くなったと考えられた。このことは、繊維分を十分に発酵分解する場が無いため ADF の消化率が低くなったことと一致する。前試験 (KUROSAWA ら 2003) において結腸部が膨大し、微生物の棲息場所が確保される可能性が示唆されたが、本試験の成績から結腸部の膨大は加齢に伴い

消失することも物理的に関係していると考えられた。さらに、糞中水分含量に関して HELLER ら (1980) と SMITH ら (1981) は、糞中の繊維の径と保水力は、飼料中の繊維源が難消化性食物繊維の場合、正の相関を示し、繊維含量が多いと水分は高くなると報告している。したがって、本試験の成績で、盲腸摘出区の水分含量が高くなったのは糞中の ADF 含量が多くなったことにより水分含量が高まったと考えられる。

SHINNICK ら (1990) は、食物繊維の摂取が、脂質代謝を抑制することを報告している。本試験では、難消化性繊維が大腸内に流入した際に、盲腸摘出区では、十分な発酵分解が行われず、脂質代謝を抑制することで、単にエネルギー排泄が増加し、エネルギー消化率が低くなる傾向にあったと考えられた。

以上の結果から、盲腸は繊維を発酵分解する微生物の棲息場所として重要であるとともに、これによる栄養素の消化吸収にも影響を及ぼすことが示唆された。成長期と維持期の何れの時期でも対照区と盲腸切除区の間で CP, ADF およびエネルギーの消化率の差は数値的に一定であったが、飼料効率においては加齢に伴い値が小さくなったにも関わらず、試験区間の差は一定であり、盲腸切除の影響は相対的に成長期で 10% 程度の低下であったが、維持期には約 30 から 40% の低下と考えられ、消化・吸収後の栄養素利用に盲腸内での作用が影響すると推察されたが、本試験ではその機構を明らかにできなかった。

謝辞：本実験の実施に当たりご協力賜りました、天野沙治子氏、萩原友子氏に深謝いたします。

引用文献

- 1) 坂口 英, 栄養研究における盲腸切除ラットの有用性, 日本食物繊維研究会報, **7** (1), 1-12.
- 2) 平林 忠・平山常雄, 1960. 喰糞阻止に依る家兎の栄養失調, 東京農業大学農学集報, **5** (4), 62-65.
- 3) KURIHARA, Y., IKEDA, S., SUKEMORI, S. and ITO, S., 1997. Hydrous feces Induced coprophagy in rat, *Jpn. J. Livest. Management* **32** (3), 91-98.
- 4) SUKEMORI, S., IKEDA, S., KURIHARA, Y. and ITO, S., 2003. Amino acid, mineral and vitamin levels in hydrous feces obtained from coprophagy-prevented rats, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **87**, 213-220.
- 5) KULWICH, R. STRUGALIA, L. and PEARSON, P.B., the effects

- of coprophagy on the excretion of B vitamins by the rabbit, *J Nutr.* **49** (4), 639-645.
- 6) 池田周平・黒澤 亮・萩原友子・祐森誠司・栗原良雄, 2004. ラットにおける食糞行動と栄養摂取について, 栄養生理研究会報, **48** (1), 63-75.
- 7) 萩原友子・黒澤 亮・祐森誠司・池田周平・稲元民夫・栗原良雄, 2004. ラット普通糞と含水糞中の微生物叢, 東京農業大学農学集報, **48** (4), 169-172.
- 8) TAKAHASHI, T. and SAKAGUCHI, E., 2000. Role of the furrow of the proximal colon in the production of soft and hard feces in nutrias, *Mycastor coypus*, *Journal of Comparative Physiology*, B, **170**, 531-535.
- 9) KUROSAWA, A., IKEDA, S., SUKEMORI, S. and KURIHARA, Y., 2003. Evaluation of caecectomy as a means of coprophagy prevention in rats, *Japanese Journal of Livestock Management*. **39** (3), 97-104.
- 10) 石橋 晃, 2001. 新版動物栄養試験法, 勝俣昌也・古谷修, 6.3.2 消化試験, 全糞採取法, pp.184-185. 養賢堂, 東京.
- 11) 石橋 晃, 2001, 新版動物栄養試験法, 阿部 亮, 20 章 栄養試験のための分析法, pp. 455-466. 養賢堂, 東京.
- 12) IKEDA, S., SUKEMORI, S., KURIHARA, Y. and ITO, S., 2000. Frequency of Coprophagy in Aged Rats, *Journal of Agricultural Science, Tokyo Nogyo Daigaku*, **45** (2), 165-168.
- 13) 斎藤 守, 安藤幹男, 1986. 成長中のラットにおける蛋白質および脂肪蓄積に要する代謝エネルギー量と利用効率, 畜産試験場報告, **44**, 69-76.
- 14) PENNY, A.C., RIVERS, J.P.W. and MILLWARD, D.J., 1987. the effects of dietary protein and energy restriction on heat production and growth costs in the young rat, *British Journal of Nutrition*, **58**, 73-85.
- 15) ITOH, H., KANEKO, M., OHSHIMA, S., SHUMIYA, S. and SAKAGUCHI, E., 2002. Effect of low protein and low energy diet on physiological status and digestibility of F344 Rats, *Exp. Anim.*, **51** (5), 485-491.
- 16) HELLER, S.N., HACKLER, L.R., RIVERS, J.M., VAN SOEST, P.J. and ROE, D.A., 1980. Dietary fiber : the effect of particle size of wheat bran on colonic function in young adult men. *Am J Clin Nutr.* **33** (8), 1734-1744.
- 17) SMITH, A.N., DRUMMOND, E. and EASTWOOD, M.A., 1981. The effect of coarse and fine Canadian Red Spring Wheat and French Soft Wheat bran on colonic motility in patients with diverticular disease. *Am J Clin Nutr.* **34** (11), 2460-2463.
- 18) SHINNICK, F.L., INK, S.L. and MARLETT, J.A., 1990. Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol-fed rats. *J Nutr.* **120** (6), 561-568.

Role of the Caecum in Nutrition Absorption during the Different Growth Stages of Rats

By

Akira KUROSAWA*, Shuhei IKEDA**, Seizi SUKEMORI** and Yoshio KURIHARA**

(Received February 22, 2005/Accepted June 10, 2005)

Summary : This study aimed to examine the role of the caecum in nutrition absorption during the different growth stages of rats. Four caeectomized rats and 6 sham-operating rats were used in this study. Feeding period was 16 weeks, which was divided into the growth stage (6–13 weeks old) and the maintenance stage (14–22 weeks old). Digestive tests using the total faeces collection method were conducted twice at 13 weeks old and 22 weeks old. In the present results, body weight gain showed no significant difference during the growth period. But caeectomy significantly reduced body weight gain during the maintenance period. Feed intake significantly increased with caeectomy during the growth period, but no significant difference was shown during the maintenance period. Feed efficiency was significantly reduced by caeectomy in both test periods, with the difference in the maintenance period relatively large. Feces amount significantly increased with caeectomy in both test periods. But there was no significant difference in the maintenance period. Digestibilities of CP, ADF, and energy were significantly reduced by caeectomy during the growth period, and significant differences appeared in ADF and energy digestibilities during the maintenance period. These results suggested that the caecum plays an important role as a fermentation site for digestive matter, and has an effect on nutrition digestibility. While the numerical differences for feed efficiency were the same when those of different growth stages were compared, relative differences for feed efficiency in the maintenance stage were larger than those in the growth stage. Therefore the caecum is related to the utilization of nutrition prior to their digestibility.

Key words : Rat, Caecum, Growth, Digestibility, Absorptio

* Department of Animal Science, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

** Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture