

哺乳动物消化道内食物滞留时间的影响因素

裴艳新 王德华* *

(中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100080)

关键词 哺乳动物 滞留时间 标记物 消化道

中图分类号 :Q48 文献标识码 :A 文章编号 :0250-3263(2000)05-50-04

Factors Influencing the Retention Time of Digesta in Mammals

PEI Yan-Xin WANG De-Hua

(Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080, China)

Key words :Mammals ; Retention time ; Marker ; Gut

食物通过消化道的速率是消化道功能的一个重要量度。影响通过率的因素很多,往往是许多因素相互作用以控制通过率,同时通过率又影响消化道的许多功能。通过率是指单位消化道内容物经混合、消化、发酵和吸收等过程后滞留在消化道中的时间量度,所以通常用平均滞留时间(mean retention time, MRT)来描述食物在整个消化道或每个器官中的通过率(passage rate)。所谓平均滞留时间是指消化道内容物在消化道的可吸收部位开始消化到残渣排出所需要的时间^[1]。Blaxter等^[2]提出用如下公式计算平均滞留时间:

$$MRT = \frac{\sum_{i=1}^n m_i t_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

其中 m_i 是动物摄入标记物之后在 t_i 时刻第 i 次排便时所排出标记物的数量; n 为排便的总次数。采取不同消化策略的动物,食物在消化道内的滞留时间可能不同。研究表明,滞留时间在动物的消化策略、营养平衡以及消化生理等定量研究中具有重要影响。影响滞留时间的因素很多,本文主要对以下几个方面进行简述。

1 食物对滞留时间的影响

因为食物在动物消化道内的消化、吸收、流动是同时进行的,所以不可能对滞留时间进行直接测定,只能采用适当的标记物进行间接测定。这些标记物应该是不易消化的、不能被动物体吸收的物质,并且在消化道

中与其内容物的主要组分具有相同的运动方式。食物的主要组分包括液体物质和颗粒物质,所以一般把标记物也分为液相标记物和颗粒标记物。现在通常采用的液相标记物为钴-乙二胺四乙酸(cobalt-ethylenediaminetetra-acetic acid, Co-EDTA),颗粒标记物为染色到细胞壁上的铬(chromium mordanted onto cell wall constituents, Cr-CWC)。

1.1 液相标记物和颗粒标记物 在前肠发酵(foregut fermentation)的食草动物如绵羊和大袋鼠消化道内,液相标记物的总滞留时间比颗粒标记物短。分室分析结果表明,在消化道的各主要器官中液相与颗粒标记物的滞留时间均不同。在反刍动物的研究中发现液相与颗粒标记物在瘤胃和皱胃中开始分离^[3],但把标记物注入哺乳期羊羔的皱胃中,并没有发现标记物分离^[4]。在猪、狗、鸡、大鼠、兔子和绵羊等动物体内,液相标记物均比颗粒标记物流出胃的速度快。

在猪的盲肠中,液相标记物比颗粒标记物滞留时间短,但是狗的情况与之相反。在猪和狗的结肠中,液相标记物比颗粒标记物运动慢。某些条件下,液相标

* 国家自然科学基金资助项目(No. 39770122);

* * 通讯作者 :wangdh@panda. ioz. ac. cn

第一作者介绍 裴艳新,女,29岁,硕士,研究方向:生理生态学;

收稿日期:1999-01-12,修回日期:2000-04-25

记物通过消化道各器官可能均比颗粒标记物慢。在野兔和旅鼠中,颗粒标记物可被有选择地分离出盲肠^[5],由此导致在这些动物的盲肠中液相标记物比颗粒标记物滞留时间长。

在野兔的前结肠中,液相标记物和颗粒标记物发生分离^[6]。在澳大利亚特有动物考拉(*Phascolarctos cinereus*)身上发现液相标记物相对颗粒标记物的总平均滞留时间长,这可能是标记物在前结肠的分离机制造成的^[7]。因为这些动物的盲肠和前结肠可能形成一个混合分室,该分室比胃或后结肠含有较少的大颗粒。延长液相标记物滞留时间的动物一般为后肠发酵(hindgut ferment)的食草动物和杂食性动物,但也包括一些非严格的食肉动物和非前肠发酵的食草动物。

所以,即使是同时测定,不同的标记物也可能具有不同的滞留时间。因此标记物的选择是很重要的。液相标记物,应考虑是否与固体食物尤其是和其中的部分有联系;颗粒标记物,则应考虑标记是否安全和可逆,其物理性质是否和食物中主要组分的物理性质相同等等。

1.2 颗粒大小 颗粒大小对食物的通过率有一定的影响,比重也是影响通过率的一个重要因素,但缺乏颗粒大小和比重之间相互关系的参数。一般情况下,小颗粒比大颗粒滞留时间短,但是 King 和 Moor^[8]发现体积在 20 mm³ 左右的粗糙球形颗粒,在母牛的消化道中的滞留时间最短,滞留时间相对较长的最小颗粒,是在咀嚼和反刍过程中通过把大颗粒弄碎形成的,所以它们通过消化道的路径和大颗粒通过的路径可能不同。Clements 和 Stevens^[9]发现在袋鼠的消化道中,2 mm×5 mm 或 2 mm×10 mm 的塑料管比 2 mm×2 mm 或 2 mm×20 mm 的塑料管具有更短的滞留时间。直径 0.5 mm 左右的颗粒比直径 1.5 mm 的颗粒从口到回肠之间的滞留时间稍短一些^[10],但这种方法已被淘汰。现在通常采用不同大小的 Cr-CWC 颗粒来测定颗粒大小对滞留时间的影响。

在反刍动物的许多实验中也证明磨碎的干草比粗糙的干草通过率快。然而,Stielaf^[11]发现在以磨碎程度不同的苜蓿草为食的绵羊中,颗粒大小没有影响。而食物磨碎则可以加速马消化道中内容物的通过率。磨碎的小食物颗粒在野兔的消化道中平均滞留时间为 30.3 小时,同样的食物在粗糙状态下滞留时间为 24 小时,也许是小食物颗粒滞留在盲肠中的缘故。

1.3 比重 Hoelzel^[12]首次证明比重大的物质比比重小的物质滞留在消化道中的时间长,滞留的主要部位是在胃和盲肠。他用铝、玻璃、银、金等做为标记物测

定一定范围的比重。比重在 1.1~1.2^[13]范围内,牛的消化道内容物通过率最快;比重在 1.02~1.4 范围内,在牛的瘤胃中滞留时间随着比重的下降而下降,而在后肠中的滞留时间则随着比重的下降而上升,从而使总滞留时间变化不大。

1.4 食物量 动物的消化道通常是含有大量的内容物,如反刍动物。食物量的增加需要增大消化道容量或加速通过率。因为消化率的降低和食物量的增加有关,所以减少滞留时间适合于消化道的每个器官,尤其是后肠。而在白尾鹿^[14]和牛^[15]的研究中发现食物量的变化对滞留时间没有影响,但是在这两个实验中动物体内或动物个体间的滞留时间差异较大。而猪和大袋鼠食物量增加,滞留时间减少。

1.5 纤维食物 食物中的纤维包含许多组分,不同的组分以不同方式作用于滞留时间,并且多数纤维都能引起平均滞留时间的减少。多数研究表明食物中高质量的食物数量增加,可延长平均滞留时间,从而影响了消化道每个器官的形态。Eng 等^[16]分别把混合食物中的玉米和干草做上标记,干草的滞留时间随着食物中玉米比例的增大而急速增加,当食物中玉米和干草的比例为 3:1 时,干草的滞留时间慢慢达到最长,纯玉米食物滞留时间较短。所以,高纤维食物使得通过率加快,但是控制机制尚不十分清楚,也许消化道壁通过纤维食物的物理刺激提高了运动能力,从而提高了消化物的通过率。

1.6 其它 一些研究表明,把尿素加到粗饲料中,可降低绵羊和母牛消化道内容物的滞留时间,而 Campling 等^[17]则证明该结果并不是由于尿素使得食物摄入量的增加而引起的。阿托品可加速液相标记物和颗粒标记物的通过,吗啡则可加速液相标记物的通过而减慢颗粒标记物的通过。甲状腺蛋白也影响反刍动物的滞留时间,如果牛的甲状腺被辐射损伤,其消化道内容物的滞留时间尤其是在瘤胃中的滞留时间显著延长。当给它们喂甲状腺蛋白时,滞留时间又恢复正常。另外,组分不同的食物在动物的消化道中滞留时间也可能不同,不同组分的食物滞留时间差异很大,但各组分并不是完全独立的,而是互相影响。

2 动物年龄、个体大小、环境等对滞留时间的影响

2.1 年龄 在哺乳动物的断奶期可以看到通过率的主要变化,可惜还没发现完全令人满意的可用于所有哺乳期动物的标记物。普通的颗粒标记物很明显是不合适的,普通的液相标记物和颗粒标记物在固体和液

体消化物之间呈不规则分布^[18,49],对这一结果很难解释。

哺乳期羊羔的主要滞留部位是前结肠。在哺乳期牛犊中发现结肠中的滞留时间比成年牛大得多,总滞留时间比成年牛短。相反,以高质量食物混合牛奶为食的牛犊和成年牛具有相似的滞留时间。

2.2 个体大小(body size) 如果代谢率决定能量需求,消化道大小则决定把食物加工成营养的能力。那么,代谢作用的非线性反应和消化道大小的近似线性反应就会使得代谢作用与加工能力在小型动物中比大型动物的大,即个体较小的动物其代谢需求(metabolic requirements)与消化道容量(gut capacity)之比较大。Demment^[20]提出了一个简单的关于这种关系的动力学模型,食物的滞留时间和体重的关系式为:

$$Tr = 0.589DW^{0.28}$$

其中, Tr 是食物的平均滞留时间, D 是食物的消化率, W 是体重(kg)。该公式表明,在相同的代谢条件下,动物以相同的食物为食时,小动物比大动物的滞留时间短,即滞留时间随着个体大小的增大而延长。

2.3 激素水平 甲状腺中激素浓度的提高可降低牛和绵羊消化道内容物的滞留时间和消化率,这可能是甲状腺对温度的一种反应,该温度使滞留时间和消化率发生变化。

2.4 环境温度及其他 降低环境温度可降低牛和绵羊消化道内容物的滞留时间和消化率,主要是瘤胃的滞留时间和消化率降低。标记物摄入时间对滞留时间也产生影响,如在禁止食软便的动物中,软便形成之前摄入标记物,其中颗粒标记物的滞留时间长于软便形成之后摄入标记物的滞留时间。

3 滞留时间和消化道功能之间的相互关系

滞留时间和消化道的许多功能有关,如消化率、微生物活动及粪便的含水量等,但很难确定滞留时间与消化率之间的因果关系。例如是滞留时间的改变引起消化率的变化,还是消化率的改变引起滞留时间的变化?或两者都是由于其它生理变化导致的结果?主要问题在于消化道的不同器官以不同的方式影响消化道内容物或者被内容物所影响,而测定消化道某一器官的滞留时间,尤其是该器官只是管状器官的一部分,比测定总滞留时间要困难得多,所以各器官中的滞留时间似乎和消化道功能之间没有直接关系,多数研究都是把消化道某一器官或各个器官的功能和总滞留时间相联系起来。而滞留时间和粪便的含水量之间存在一

定的因果关系。消化道内容物在消化道中的滞留时间越长,粪便的含水量越少,但滞留时间和粪便含水量之间的关系没有确定的参数。

滞留时间延长可提高食物的消化率,这一假说已经在许多食草动物,尤其在反刍动物中得到了验证。而在以定量食物为食的绵羊、母牛、大袋鼠等的研究中没有发现滞留时间和消化率之间有明显的关系。

不管食物中是否含有纤维,滞留时间和粪便量之间都近似于对数形式的直线关系^[21],滞留时间缩短,粪便量增加。但粪便量的增加并不一定是未消化的食物数量的增加,可能是细菌细胞数量增加的缘故。在某些情况下,滞留时间的缩短和结肠中细菌的活动增强有关,细菌的代谢作用一般随着食物的滞留时间的延长而增强。粪氨和尿酚都是结肠中细菌活动的指示物,它们的含量随着滞留时间的延长而增加。

总之,影响滞留时间的因素很多,这些因素不是单独作用的,而是几个因素共同作用,使得食物的通过率发生改变。

参 考 文 献

[1] Sibly, R. M. Strategies of digestion and defecation. In : " Townsend, C. R. , P. Calow eds. *Physiological Ecology*. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1981. 109 ~ 139. "

[2] Blaxter, K. L. , N. M. Graham , F. W. Waiman. Some observations on the digestibility of food by sheep , and on related problems. *British Journal of Nutrition* , 1956 , **10** : 69~91.

[3] Faichney , G. J. , D. A. Griffiths. Behavior of solute and particle markers in the stomach of sheep given a concentrate diet. *British Journal of Nutrition* , 1978 , **40** : 71~82.

[4] Faichney G. J. , J. L. Black. Passage of markers through the gastrointestinal tract of the milk fed lamb. *Proceedings of the Australian Physiological and Pharmacological Society* , 1974 **5** : 57~68.

[5] Bjornhag G. , I. Sperber. Transport of various food components through the digestive tract of turkeys , geese and guinea fowl. *Swedish Journal of Agricultural Research* , 1977 **7** : 57~66.

[6] Hornicke H. , G. Bjornhag. Coprophagy and related strategies for digesta utilization. In : " Ruckebusch. Y. , P. Thivend eds. *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. Lancaster, England : MTP Press , 1980. 707 ~ 730. "

[7] Cork , S. J. , A. C. I. Warner , C. J. F. Harrop. Pre-

- liminary study of the rate of passage of digesta through the gut of the koala. *Bulletin of the Australian Mammal Society*, 1977, **4**: 24.
- [8] King, K. W., W. E. C. Moore. Density and size as factors affecting passage rate of ingesta in the bovine and human digestive tracts. *Journal of Dairy Science*, 1957, **40**: 528~536.
- [9] Clemens, E. T., C. E. Stevens. A comparison of gastrointestinal transit time in ten species of mammal. *Journal of Agricultural Science*, 1980, **94**: 735~737.
- [10] Bechgaard H. K. Ladefoged. Distribution of pellets in the gastrointestinal tract: The influence on transit time exerted by the density or diameter of pellets. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 1978, **30**: 690~692.
- [11] Stielau, W. J. The rate of passage of food particles through the digestive tract of sheep. *South African Journal of Agricultural Science*, 1967, **10**: 753~760.
- [12] Hoelzel, F. The rate of passage of inert materials through the digestive tract. *American Journal of Physiology*, 1930, **92**: 466~497.
- [13] Campling, R. C., M. Freer. The effect of specific gravity and size on the mean time of retention of inert particles in the alimentary tract of the cow. *British Journal of Nutrition*, 1962, **16**: 507~518.
- [14] Mautz, M. W., G. A. Petrides. Food passage rate in the white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management*, 1971, **35**: 723~731.
- [15] Kumar, B. A., G. V. Raghavan. Effect of level of intake on the rate of passage of food and its effect on the digestibility of nutrient in Murrah buffaloes and Hariana cattle. *Indian Journal of Animal Science*, 1974, **44**: 953~958.
- [16] Eng, K. S., M. E. Riewe, J. H. Craig *et al.* Rate of passage of concentrate and roughage through the digestive tract of sheep. *Journal of Animal Science*, 1964, **23**: 129~131.
- [17] Campling, R. C., M. Freer, C. C. Balch. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. The effect of urea on the voluntary intake of oat straw. *British Journal of Nutrition*, 1962, **16**: 115~124.
- [18] Miller, J. K., S. C. Perry, P. T. Chandler *et al.* Evaluation of radiocerium as a non-absorbed reference material for determining gastrointestinal sites of nutrient absorption and excretion in cattle. *Journal of Dairy Science*, 1967, **50**: 355~361.
- [19] Faichney, G. J. The use of markers to partition digestion within the gastrointestinal tract of ruminants. In: "McDonald, I. W., A. C. I. Warner eds. Digestion and Metabolism in the Ruminant. Armidale Australia: University of New England Publishing Unit., 1975. 277~291."
- [20] Demment, M. W., P. J. Van Soest. Body Size, Digestive Capacity and Feeding Strategies of Herbivores. Morrilton, AK Winrock, 1983. 1~66.
- [21] Findlay, J. M., A. N. Smith, W. D. Mitchell *et al.* Effects of unprocessed bran on colon function in normal subjects and in diverticular disease. *Lancet*, 1974, **1**: 146~149.