

狗冬季消化道形态特征及食物颗粒分布

王力军¹ 洪美玲^{1,2} 肖向红³ 马建章^{3*}

(1 海南师范大学生物系, 海口, 571158) (2 华东师范大学生命科学院, 上海, 200062)

(3 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨, 150040)

摘要: 1999年1月在黑龙江省通河县小东林场猎杀14只狗, 应用解剖学方法和湿筛法分别对狗冬季消化道形态特征及消化道内食物颗粒分布进行了研究。结果表明, 狗复胃中瘤胃比例最大, 占 $71.3 \pm 2.6\%$, 其次为皱胃($11.5 \pm 2.2\%$)、瓣胃($9.7 \pm 2.3\%$)、网胃($7.6 \pm 0.9\%$); 瘤胃粘膜中, 瘤胃前庭区(ACF)是最重要的消化和吸收部位之一, 具有最大的乳突密度、乳突长度和粘膜表面扩张系数, 显著高于其它区域($P < 0.05$), 后背盲囊区(DBF)次之; 网瓣口在狗食物颗粒流通中起到了重要的调节作用, 消化道食物颗粒分布中, 大颗粒食物(> 1.00 mm)在瘤胃中的比例为 $35.06 \pm 10.76\%$, 显著高于其在瓣胃、皱胃及其它消化道内的比例($P < 0.05$), 而小于 1.00 mm的食物颗粒在瓣胃以下消化道中有明显的增加($P < 0.05$), 1.00 mm为冬季通过网瓣口的临界食物颗粒大小。狗为适应冬季食物营养质量下降, 通过增加瘤胃容量、缩小网瓣口来改变消化道形态而增加食物颗粒在瘤胃内的滞留时间, 使富含纤维素的食物充分发酵和分解以获得更多的能量, 从而产生营养适应性的季节变化。

关键词: 狗; 消化道; 形态; 食物颗粒分布; 冬季; 营养适应

中图分类号: Q954.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2005)04-0361-06

Morphology and Food Particles Distribution of the Digestive Tract of Roe Deer during Winter

WANG Lijun¹ HONG Meiling^{1,2} XIAO Xianghong³ MA Jianzhang^{3*}

(1 Department of Biology, Hainan Normal University, Haikou, 571158, China)

(2 College of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

(3 College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China)

Abstract: 14 roe deer (*Capreolus capreolus*) were shot in Xiaodong Forest Region of Tonghe County, Heilongjiang Province during winter season of 1999. Morphological and structural features of digestive tracts were measured by anatomical methods, and food particles distribution in the digestive tracts were analyzed by a wet-sieving procedure. The rumen tissue weight accounted for $71.3 \pm 2.6\%$ of total stomach, followed by abomasum ($11.5 \pm 2.2\%$), omasum ($9.7 \pm 2.3\%$) and reticulum ($7.6 \pm 0.9\%$). The most numerous, best developed and largest papillae were found in the cranioventral floor of the atrium of the rumen, and the papillary surface enlargement factor was significantly higher than other sampling sites ($P < 0.05$), the cranioventral floor of the atrium of the rumen is the one of most important digestive and absorptive sites. The reticulo-omasal orifice had an important role in controlling the food particles passing on to the lower digestive tract. The large-sized particles were reduced in size by rumination and microbial fermentation in the reticulo-rumen, the smaller particles produced eventually passed through the reticulo-omasal orifice. The proportion of large-sized particles (> 1.00 mm) was highest in reticulo-rumen ($35.06 \pm 10.76\%$), which declined quickly in the lower digestive tract. The small-sized particles (< 1.00 mm) increased significantly in omasum, abomasum and other lower digestive tract. 1.00 mm is the critical particle size for roe deer during winter. Roe deer is adapted to poor quality food nutrients during the winter season and the morphology of its digestive tract is geared to an adaptive strategy that increases capacity of food particles in reticulorumen and narrowed reticulo-omasal orifice to increase the retention time of fibrous digesta particles in the reticulorumen with a greater time for fermentation and comminution to better satisfy the seasonal energy requirement.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39770123)

作者简介: 王力军 (1974 -), 男, 硕士, 主要从事有蹄类营养生态学。

收稿日期: 2004-11-04; **修回日期:** 2005-03-20

* 通讯作者, correspondence author

Key words: Digestive tract; Food particles distribution; Morphology; Nutritional adaptation; Roe deer (*Capreolus capreolus*); Winter

反刍动物是食草动物中一个特殊的群体,在生存进化中,其消化道形态结构和功能对食物产生了不同适应,因而进化出不同的营养适应对策(Hofmann, 1973)。Hofmann 根据非洲 29 种反刍动物的食性和消化道的形态结构,将反刍动物划分为精饲者(concentrate selector)、粗饲者(roughage feeder)和混饲者(mixed feeder) 3 种营养适应对策类型,食物中可消化物质含量存在差异,致使反刍动物的消化器官产生了不同的形态结构和生理机能(Hofmann, 1973, 1988, 1989)。关于反刍动物营养适应对策划分的争论,目前主要集中于反刍动物的体型大小、相对的能量需求、瘤网胃容纳食物的能力和食物在消化道内的流通率上(Hofmann, 1989; Illius and Gordon, 1991, 1992)。消化道内食物颗粒的大小是影响反刍动物食物流通率的重要因素(Smith *et al.*, 1983; Pearce, 1967),因而对消化道内及粪便食物颗粒大小的研究报道日趋增多(Poppi *et al.*, 1980; Nygren and Hofmann, 1990; Clauss *et al.*, 2001, 2002)。纤维性食物在瘤网胃的移动速率主要是由经消化后的食物颗粒大小决定的,小颗粒食物通过瘤网胃的时间相对快一些,而大颗粒食物,滞留在瘤网胃中的时间就相对长一些,这些大的食物颗粒经过动物的咀嚼和反刍及瘤网胃内微生物的发酵作用逐渐变成可通过网瓣口的食物颗粒(Pearce, 1967)。许多研究发现,食物颗粒大于某一尺度时便很难通过网瓣口而进入瓣胃,于是就产生了临界颗粒理论(critical particle size)(Poppi *et al.*, 1980; Clauss and Lechner-Doll, 2001; Sutherland, 1988)。

狍(*Capreolus capreolus*)隶属偶蹄目鹿科,是北方常见的中小型反刍动物,具有较高的经济和生态价值。在黑龙江省,狍主要分布于森林和平原两种类型栖息地中。冬季是狍十分关键的生理时期,由于食物营养质量明显下降,食物可利用性降低,外源蛋白质和能量摄入的不足而引起狍大量消耗体脂肪,严重影响狍的生存和繁殖(陈化鹏和萧前柱, 1991; 马建章等, 1996; 王力军等, 2003)。本文通过研究 1999 年冬季狍的消化道形态和消化道内食物颗粒的分布,试图了解和掌握狍在这一时期的营养适应对策,对于进一步开展狍种群营养生态学提供基础研究基础。

万方数据

1 研究地区自然概况

小东林场位于黑龙江省通河县兴隆林业局施业区东部,北靠朗乡林业局,东与清河林业局及本局六道河林场为界,南与和平经营所接壤,西邻凤山、东方林场,地理坐标为 128°20'23" ~ 128°44'41" E, 46°10'03" ~ 46°19'46" N。主要为低山丘陵区,境内最高海拔 1 127 m,平均海拔 438.8 m,气候属于湿润性季风气候,年平均气温 0.8℃,积温 2 200℃,降水量 720 mm,无霜期为 110 d。林区原生植被是小兴安岭—老岭岭植被区,小兴安岭—张广才岭亚区。代表性植被为红松阔叶混交林,乔木分针阔混交林、阔叶混交林、杨桦林 3 个大的类型。

2 材料与方法

1999 年 1 月,在黑龙江省通河县小东林场雇佣当地猎人猎杀 14 只狍,上午捕获后立即运回林场基地进行外形体尺测量及消化道器官取样测量工作,以防止野外结冻引起消化道部分器官变形。依据狍个体大小和第一下门齿白质切片判定狍的年龄,将其划分为幼体(0~11 个月)、亚成体(12~23 个月)和成体(24 个月以上)3 个年龄段(Hewison *et al.*, 1996)。本研究猎取的狍属于亚成体(4 只)和成体(10 只),由于狍幼体在出生后 2 周便可以采食植物性食物,各胃室比例及形态结构在亚成体阶段基本与成体一致,故将其作为一组进行分析(Hofmann, 1987)。

2.1 消化道形态特征测量

应用解剖学方法剖开狍体腔,取出其消化道各器官使其处于自然伸展状态,从贲门(cardia)和幽门(pylorus)处分离孢复胃,在瘤-网口(rumino-reticular orifice)、网-瓣口(reticulo-omasal orifice)、瓣-皱口(omaso-abomasal orifice)处将孢各胃室分离(Holand, 1992),测量孢瘤-网口、网-瓣口、瓣-皱胃口的直径,精确到 0.1 cm;去除各胃室内容及胃表面结缔组织,测量各胃组织重量,精确到 0.1 g;测量大肠和小肠长度时,将其处于自然伸展状态,用剪刀剪开肠系膜,精确到 0.1 cm。

2.2 瘤胃粘膜表面扩张系数(surface enlargement

factor, SEF) 取样及测量

分别在瘤胃 (rumen) 的瘤胃前庭区 (cranioventral floor of atrium, ACF)、瘤胃背壁 (dorsal wall, DW)、腹壁 (ventral wall, VW)、瘤胃后背盲囊区 (floor of dorsocaudal blindsac, DBF) 4 个部位取 6 cm × 8 cm 的样本, 将其固定在 10% 的福尔马林溶液中, 野外防止冷冻。在实验室内, 取各部位的胃壁 1 cm × 2 cm 大小样本, 在立体显微镜下计算乳突的数量, 用游标卡尺测量乳突的长度和中间的宽度, 精确到 0.01 cm。表面扩张系数 (SEF) 计算如下 (李文军和 Hofmann, 1991):

$$SEF = \frac{2 \times \text{乳突表面积 (papillary surface)}}{\text{基面积 (base surface)}} + \frac{\text{基面积 (base surface)}}{\text{基面积 (base surface)}}$$

乳突表面积 (papillary surface) = 乳突长度 (length of papillae) × 乳突中间宽度 (mid-level width of papillae)

2.3 消化道食物颗粒分布的测定

分别从瘤胃网 (reticulo-rumen)、瓣胃 (omasum)、皱胃 (abomasum)、小肠 (small intestine) 和大肠的盲肠 (caecum) 内取均质内容物适量, 并用密封袋冷冻保存直至分析。采用湿筛法 (wet-sieving procedure) 进行分析消化道不同部位的食物颗粒分布 (Poppi *et al.*, 1980; Nygren and Hofmann, 1990; Clauss and Lechner-Doll, 2001; 李俊生等,

2001)。分析时食物颗粒规格分 5 个等级: 2.0 mm、1.0 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.106 mm 的日本产铜质筛屛。依筛屛孔隙从大到小放置, 样品置于上方在流水中冲洗 20~30 min, 使其在各筛屛中充分均匀分布, 之后将不同筛屛中的样品进行编号, 在 80℃ 烘箱中烘至不再减轻重量为止, 用精确度为 0.001 g 的电子天平进行称重, 并计算各自所占的百分含量。

2.4 数据处理

应用非参数 Mann-Whitney U 检验对数据进行差异显著性检验, 显著水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。所有数据处理过程均在 Excel 2000 和 SPSS10.0 上进行。

3 结果

3.1 瘤消化道形态特征参数

14 只狗的复胃组织重量为 569.2 ± 152.3 g, 瘤胃占复胃组织总重量的 71.3 ± 2.6%, 最高值 75.3%、最低值 66.9%; 其次为皱胃, 11.5 ± 2.2%, 最高值 16.5%、最低值 9.2%; 瓣胃较网胃占比稍大, 9.7 ± 2.3%, 其最高值 14.5%、最低值 4.7%; 网胃占比例最小, 为 7.6 ± 0.9%, 最高值 9.3%、最低值 6.0%。

瘤各胃之间的食物通道直径大小依次为, 瓣皱口 > 瘤网口 > 网瓣口, 分别为 5.27 ± 1.12 cm, 5.04 ± 0.82 cm, 2.56 ± 0.54 cm。

表 1 瘤胃内壁 4 个代表性部位的特征参数

Table 1 Characteristic parameter at four representative site of the rumen wall of roe deer (n = 14)

部位 Site	表面扩张系数 Value of SEF	乳突密度 (个/2cm ²) Density of papillae	乳突长度 (cm) Length of papillae	乳突中间宽度 (cm) Mid-level width of papillae
背壁 Dorsal wall (DW)	6.28 ± 1.26 ^a	155 ± 45 ^a	0.352 ± 0.052 ^a	0.098 ± 0.013 ^a
腹壁 Ventral wall (VW)	7.33 ± 1.28 ^{ab}	160 ± 50 ^a	0.368 ± 0.073 ^a	0.109 ± 0.011 ^{ab}
后背盲囊区 Floor of dorsocaudal blindsac (DBF)	8.38 ± 2.68 ^b	183 ± 53 ^a	0.390 ± 0.089 ^a	0.108 ± 0.018 ^b
前庭区 Cranioventral floor of atrium (ACF)	13.18 ± 2.69 ^c	234 ± 65 ^b	0.482 ± 0.098 ^b	0.111 ± 0.024 ^b

同一列上标具有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)
the same superscript in a row means no significant difference ($P > 0.05$)

在瘤胃粘膜取样的 4 个区域中 (表 1), ACF 区乳突最为密集, 234 ± 65 个/2cm² (n = 14), 其它区域之间乳突密度差异不显著 ($P > 0.05$), DBF 区密度为 183 ± 53 个/2cm², VW 和 DW 区分别为 160 ± 50 个/2cm²、155 ± 45 个/2cm²; 在乳突长度上, ACF 区最大, 0.482 ± 0.098 cm (n = 14), 其它

区域乳突长度差异不显著 ($P > 0.05$), DBF、VW 和 DW 区乳突长度相近, 分别为 0.390 ± 0.089 cm、0.368 ± 0.073 cm 和 0.352 ± 0.052 cm; 乳突中间宽度上, ACF、DBF 和 VW 区值相对高一些, 三者之间差异不显著 ($P > 0.05$), ¹j DW 区域乳突中间宽度差异显著; 瘤胃粘膜表面扩张系数 (SEF)

上, 瘤胃 ACF 区最大, 13.18 ± 2.69 ($n = 14$), 最高值为 19.25、最低值为 8.51, 与其它区域粘膜表面扩张系数差异显著 ($P < 0.05$), 和 VW 之间差异不显著, 相对 DW 区具有较高的粘膜表面扩张系数, DBF、VW 和 DW 粘膜表面扩张系数分别为 8.38 ± 2.68 、 7.33 ± 1.28 、 6.28 ± 1.26 , 整体瘤胃粘膜表面扩张系数为 8.63 ± 3.40 。

抱小肠长度为 10.42 ± 1.26 m, 大肠长度为 6.78 ± 0.87 m ($n = 14$)。

3.2 抱消化道内食物颗粒分布

2.00 mm 以上的大颗粒食物, 在瘤胃中的比例为 $17.19 \pm 9.22\%$ ($n = 14$), 明显高于消化道其它部位, 而在瓣胃 ($0.23 \pm 0.25\%$) 和皱胃 (2.30

$\pm 4.79\%$) 之间差异不显著 ($P > 0.05$), 小肠和大肠中未见大于 2.00 mm 的大颗粒食物分布。大颗粒食物在 1.00 ~ 2.00 mm 水平上, 瘤胃具有较高的比例, 为 $17.87 \pm 4.83\%$ ($n = 14$), 其它部位之间差异不显著 ($P > 0.05$)。0.50 ~ 1.00 mm 的中等食物颗粒在消化道各部位分布差异不显著 ($P > 0.05$), 而瘤胃 ($31.37 \pm 6.15\%$)、瓣胃、皱胃、小肠和大肠中中等食物颗粒比例要明显高于大颗粒食物的比例 (表 2)。小颗粒食物在 0.25 ~ 0.50 mm 水平上, 瘤胃中的比例明显低于消化道其它部位 ($P < 0.05$), 其它部位之间差异不显著 ($P > 0.05$); 等级在 0.106 ~ 0.25 mm 水平上, 瘤胃中的比例亦显著低于消化道其它部位。

表 2 抱消化道不同部位食物颗粒分布

Table 2 Distribution of food particles with different size in the digestive tract of roe deer ($n = 14$)

部位 Site	不同等级的食物颗粒分布 (%) The weight contributions of food particles in different standards				
	0.106 ~ 0.25 mm	0.25 ~ 0.50 mm	0.50 ~ 1.00 mm	1.00 ~ 2.00 mm	> 2.00 mm
瘤胃 Reticulo-rumen	12.22 \pm 3.37 ^a	21.35 \pm 4.67 ^a	31.37 \pm 6.15 ^a	17.87 \pm 4.83 ^a	17.19 \pm 9.22 ^a
瓣胃 Omasum	28.90 \pm 5.62 ^b	37.30 \pm 4.88 ^b	29.30 \pm 8.10 ^a	4.27 \pm 2.97 ^b	0.23 \pm 0.25 ^b
皱胃 Abomasum	25.83 \pm 6.92 ^b	37.51 \pm 7.05 ^b	28.29 \pm 7.46 ^a	6.08 \pm 5.41 ^b	2.30 \pm 4.79 ^b
小肠 Small intestine	43.32 \pm 15.63 ^b	28.75 \pm 16.23 ^{ab}	25.94 \pm 0.03 ^a	2.00 \pm 0.57 ^b	0 ^c
盲肠 Caecum	30.67 \pm 3.58 ^a	36.32 \pm 5.60 ^b	29.76 \pm 4.91 ^a	3.25 \pm 2.67 ^b	0 ^c

同一列上标字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)

the same superscript in a row means no significant difference ($P > 0.05$)

瘤胃中中等食物颗粒 (0.50 ~ 1.00 mm) 显著高于其它等级食物颗粒 ($P < 0.05$), 小颗粒食物 0.106 ~ 0.25 mm 比例最小 ($P < 0.05$), 分别为 $31.37 \pm 6.15\%$ 和 $12.22 \pm 3.37\%$, 其它水平之间差异不显著, 大颗粒食物比例为 $35.06 \pm 10.76\%$; 瓣胃中大颗粒食物比例最小, 中等和小食物颗粒比例占较大的比例 (为 $95.50 \pm 2.93\%$); 皱胃中大颗粒食物比例最低, 而小颗粒食物 0.25 ~ 0.50 mm 最高 ($P < 0.05$), 为 $37.51 \pm 7.05\%$; 小肠和大肠中大颗粒食物与其他水平颗粒食物比例之间差异显著 ($P < 0.05$), 而中等与小颗粒水平间差异不显著。

4 讨论

反刍动物在长期的进化过程中, 逐渐形成了不同的食物生态位 (dietary niches) 和复杂多变的食性, 从而在消化系统结构上产生了相适应的变化, 以满足其生理功能、新陈代谢对能量的需求 (Hofmann, 1973, 1988, 1989)。

研究发现小东林场地区 1999 年冬季抱胃组织重的大小顺序为瘤胃 > 皱胃 > 瓣胃 > 网胃 ($n = 14$), 抱瘤胃占反胃组织总重量的 $71.3 \pm 2.6\%$, 与混饲者黄羊 (*Procapra gutturosa*) (75.74%) (马建章等, 2001)、马鹿 (*Cervus elaphus*) (77%) (Prins and Gellenl, 1971) 和日本梅花鹿 (*Cervus nippon*) (75%) (Hofmann, 1989) 相比, 抱具有较小的瘤胃; 皱胃组织重占整个胃组织重的 $11.5 \pm 2.2\%$, 与欧洲抱 15.3% 相比较低一些, 瓣胃占全胃重的 $9.7 \pm 2.3\%$, 与欧洲抱 5.0% 相比稍高一些, 抱瘤胃占全胃比重为 $78.8 \pm 2.2\%$, 与欧洲抱具有相同的比例, 并接近鹿科动物瘤胃 80% 左右的比例 (Nagy and Regelin, 1975)。瘤胃的容量可以影响食物在瘤胃内的滞留时间, 较小瘤胃应具有较高的食物周转率才能保证自身营养的需求, 所以就要求其能在相对短的时间内将食物颗粒变成小颗粒, 而相对小的瓣胃对于抱来说又可以保证让较小颗粒的食物充分进入到相对大的皱胃中 (Nagy and

Regelin, 1975)。

瘤胃乳突是瘤胃粘膜表面的突出物, 是反刍动物瘤胃主要吸收器官, 乳突的分布、大小及数量与动物的取食习性、饲料资源可利用性及饲料植物的消化率密切相关, 而且在相当程度上乳突上皮具有可变性 (Hofmann, 1987; 李文军和 Hofmann, 1991)。1999 年冬季 (1 月份) 小东林场猎杀的 14 只狍, 平均瘤胃粘膜表面扩张系数为 8.63 ± 3.40 , 显著高于混饲者梅花鹿 4.76 和马鹿 6.77 (Fraser, 1996), 狍具有相对发达的瘤胃粘膜乳突和较高的瘤胃粘膜表面扩张系数, 因而更适合消化富含细胞内容的植物性食物 (Hofmann, 1987)。狍冬季瘤胃粘膜表面扩张系数变化范围为 $3.5 \sim 9.5$ (Hofmann *et al.*, 1988), 由于冬季食物可获得性下降、食物营养质量的降低而使狍瘤胃形态产生适应性的变化, 瘤胃粘膜表面扩张系数从夏季和秋季到冬季减少 36% (Hofmann, 1985; Koenig *et al.*, 1976), 而产生这种变化的原因主要是由于狍冬季纤维性食物比例相对增加, 而导致瘤胃内乙酸比例升高, 丁酸和丙酸比例降低, 引起狍瘤胃粘膜乳突发育受到限制 (Hofmann, 1987)。

反刍动物各分胃之间通道孔径的大小随着季节和食物质量的改变而发生适应性的调节, 也是动物营养适应的方式之一 (马建章等, 2001)。植物性饲料中大约 70% ~ 80% 的可消化干物质和 50% 的粗纤维在瘤胃内消化, 剩下的食物颗粒则由网瓣口排到皱胃内, 在排空过程中, 网瓣口起着重要的调节作用 (Hofmann, 1973, 1988, 1989)。冬季狍的食物营养质量下降, 植物性食物中纤维和木质素含量增高, 为保证能量的需要, 因此网—瓣口相对变小使食物在瘤胃内充分发酵分解 (马建章等, 1996)。狍冬季各胃之间食物通道瓣皱口 > 瘤网口 > 网瓣口, 直径分别为 5.27 ± 1.12 cm, 5.04 ± 0.82 cm, 2.56 ± 0.54 cm, 较大的瘤网口对食物大颗粒在一定程度上起了初级过滤作用, 网胃在靠近瘤网口附近的食物与瘤胃内的食物颗粒非常接近, 只有底部颗粒具有减小的趋势。瘤网瓣口周围密布角质状乳突, 从而使精细食物颗粒与大颗粒食物分离, 并由瓣胃叶上的乳突引导进入瓣胃叶间, 使食物流的一些营养 (水分、短链的脂肪酸和其它可溶成分) 得以在瓣胃中吸收, 大颗粒食物得以保存在瘤胃内, 在物理及瘤胃微生物的发酵作用下逐渐变成可通过网瓣口的小食物颗粒 (Nagy and Regelin, 1975)。

瘤网胃中食物颗粒的大小影响瘤网胃中的纤维性食物的移动速率, 影响着反刍动物对大颗粒食物的反刍和发酵作用 (Pearce, 1967; Smith *et al.*, 1983)。而某一尺度食物颗粒从瘤网胃进入瓣胃后, 食物颗粒的大小就不再发生变化 (Poppi *et al.*, 1980), 因而临界食物颗粒的大小对瘤网胃食物的排出具有重要的作用 (Poppi *et al.*, 1980; Sutherland, 1988; Clauss and Lechner-Doll, 2001)。在对 1999 年 1 月份小东林场地区 14 只狍消化道各部位食物颗粒分析中我们发现, 2 mm 以上的食物颗粒瘤网胃中占 17.19%, 而瓣胃中的比例为 0.23%; 1.00 ~ 2.00 mm 的食物颗粒, 瘤网胃中比例为 17.87%, 瓣胃为 4.27%; 0.50 ~ 1.00 mm 的食物颗粒, 瘤网胃占 31.37%, 瓣胃占 29.30%, 这就证明了网瓣口在瘤网胃中食物颗粒的排出方面起着重要的作用 (表 2)。可见食物颗粒小于 1.00 mm 能够顺利地通过网瓣口, 进入瓣胃得以继续消化和吸收, 因而食物颗粒在 1.00 mm 是决定其能否通过狍瘤网胃进入瓣胃和皱胃的临界食物颗粒大小。Ulyatt (1976) 等研究绵羊时也发现 1.00 mm 是通过瘤网胃的临界食物颗粒。

狍冬季食物中纤维素含量明显升高, 食物营养质量、可获得性降低和消化率降低, 而使外源蛋白质和能量摄入不足引起狍大量消耗体脂肪 (陈化鹏和萧前柱, 1991; 马建章等, 1996; 王力军等, 2003, 2004)。狍为获得外界蛋白质和能量而在消化道形态和营养适应上产生相应的变化, 通过延缓食物颗粒在消化道内的流速, 而更加充分地利用食物中的有效营养成分, 使食物中的纤维素和木质素在瘤网胃内得以充分地发酵和分解来获得能量 (Chen *et al.*, 1998)。Holand 研究欧洲狍时表明食物营养质量季节性的变化而使狍消化道形态上产生了适应性的变化, 在食物营养质量较低的冬季, 狍瘤网胃和盲肠的容量有明显增加, 瘤网胃中干物质比夏季增加了 60% (Holand, 1992)。作为补偿, 反刍动物增加瘤胃的容量, 从而增加共生微生物与食物的滞留时间, 同时主动摄食和蛋白质摄入量下降 (Kennedy and Doyle, 1993), 这与狍在植物生长期时每天摄食 8 ~ 12 次转变为冬季的 4 ~ 6 次相一致 (李文军和 Hofmann, 1991)。狍冬季消化道中大颗粒食物显著低于中、小食物颗粒, 这说明网瓣口相对变小, 对控制瘤网胃大颗粒食物排出起到积极的限制作用, 增加了对富含纤维素和消化率低的食物反刍作用, 而使消化道中的大食物颗粒变小, 同

时食物摄入量相对减少,并伴随着瘤胃粘膜乳突面积的减少(Hofmann, 1987; Nygren and Hofmann, 1990)。

参考文献:

- Chen H P, Ma J Z, Sun Z W, Li F, Wang H, Luo L Y, Li F. 1998. In vitro digestibility of seasonal forages used by wapiti and roe deer in north-eastern China. *Ecography*, **21**: 11 - 17.
- Clauss M, Lechner-Doll M. 2001. Differences in selective reticulo-ruminal particle retention as a key factor in ruminant diversification. *Oecologia*, **129**: 321 - 327.
- Clauss M, Lechner-Doll M, Streich W J. 2002. Faecal particle size distribution in captive wild ruminants: an approach to the browser/grazer dichotomy from the other end. *Oecologia*, **131**: 343 - 349.
- Fraser K W. 1996. Comparative rumen morphology of sympatric sika deer (*Cervus nippon*) and red deer (*Cervus elaphus scoticus*) in the Ahimawana and Kaweka ranges, central North Island, New Zealand. *Oecologia*, **105**: 160 - 166.
- Hewison A J M, Angbault J M, Boutin J, Bideau E, Vincent J P, Sempéré A. 1996. Annual variation in body composition of roe deer (*Capreolus capreolus*) in moderate environmental conditions. *Can J Zool*, **74** (2): 245 - 253.
- Hofmann R R. 1973. The ruminant stomach (stomach structure and feeding habits of East African game ruminants). *East Afr Monog Biol*, **2**: 1 - 364.
- Hofmann R R. 1985. Digestive physiology of the deer: their morphophysiological specialization and adaptation. *Bull R Soc NZ*, **22**: 393 - 407.
- Hofmann R R. 1987. Anatomy of the gastro-intestinal tract. In: Church D C ed. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 14 - 43.
- Hofmann R R. 1988. Morphophysiological evolutionary adaptations of the ruminant digestive system. In: Dobson A, Dobson M J eds. *Aspects of digestive physiology in ruminants*. Ithaca: Cornell University Press, 1 - 20.
- Hofmann R R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia*, **78**: 443 - 457.
- Hofmann R R, Suher A S, Piowski Z, Frazinski B. 1988. Comparative morphological investigations of forest and field ecotypes of roe deer in Poland. *Acta Theriol*, **33**: 103 - 114.
- Holund Q. 1992. Winter digestive strategy of a concentrate selector in Norway: the European roe deer. *Can J Zool*, **70**: 1331 - 1335.
- Illius A W, Gordon I J. 1991. Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and characteristics. *J Agric Sci*, **116**: 145 - 157.
- Illius A W, Gordon I J. 1992. Modelling the nutritional ecology of ungulate herbivores: evolution of body size and competitive interactions. *Oecologia*, **89**: 428 - 434.
- Kennedy P M, Doyle P T. 1993. Particle-size reduction by ruminants-Effects of cell wall composition and structure. In: Segoe R D ed. *Forage cell wall structure and digestibility*. New York: Elsevier Sci. Publ. Co., 499 - 505.
- König R, Hofmann R R, Geiger G. 1976. Differentiell-morphologische Untersuchung der resorbierenden Schleimhautoberfläche des Pansens beim Rehwild (*Capreolus capreolus*, Linnaeus 1758) im Sommer und Winter. *Z Jagd wiss*, **22**: 191 - 196.
- Nagy U G, Regelin W I. 1975. Comparison of digestive organ size of three deer species. *J Wildl Manage*, **39**: 621 - 624.
- Nygren K, Hofmann R R. 1990. Seasonal variations of food particle size in moose. *Alces*, **26**: 44 - 50.
- Pearce G R. 1967. Changes in particle size in the reticulorumen of sheep. *Aust J Agric Res*, **18**: 119 - 125.
- Poppi D P, Norton B W, Minson D J, Hendricksen R E. 1980. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J Agric Sci*, **94**: 275 - 280.
- Prins R A, Gellen M J H. 1971. Rumen characteristics of red deer, fallow deer and roe deer. *J Wildl Manage*, **35** (2): 670 - 680.
- Smith L W, Weinland B T, Waldo D R. 1983. Rate of plant cell wall particle size reduction in the rumen. *J Dairy Sci*, **66**: 2124 - 2136.
- Sutherland T M. 1988. Particle separation in the forestomach of sheep. In: Dobson A, Dobson M J eds. *Aspects of digestive physiology in ruminants*. Ithaca: Cornell University Press, 43 - 73.
- Ulyatt M J, Baldwin R L, Koong L J. 1976. The basis of nutritive value: a modelling approach. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, **36**: 140 - 149.
- 马建章, 陈化鹏, 孙仲武, 李枫, 王槐, 李飞, 杜永欣, 李杰. 1996. 马鹿和麝饲料植物的营养质量. *生态学报*, **16** (3): 269 - 276.
- 马建章, 李俊生, 姜兆文, 王文. 2001. 黄羊消化道形态和结构的特征. *兽类学报*, **21** (1): 14 - 22.
- 王力军, 马建章, 洪美玲, 肖向红. 2003. 应用雪层分析技术评价不同类型栖息地中越冬黄羊的营养状况. *兽类学报*, **23** (2): 110 - 114.
- 王力军, 洪美玲, 肖向红, 马建章. 2004. 应用骨髓脂肪指数评价越冬黄羊的营养状况. *兽类学报*, **24** (4): 353 - 356.
- 李文军, Hofmann R R. 1991. 用胃壁标本评估中国黄羊和欧洲黄羊 (*Capreolus capreolus*) 的营养状况. *动物学报*, **37** (2): 193 - 197.
- 李俊生, 姜兆文. 2001. 黄羊消化道内不同大小食物颗粒的分布. *动物学报*, **47** (5): 488 - 494.
- 陈化鹏, 萧前柱. 1991. 带岭林区马鹿和越冬黄羊营养对策的比较. *生态学报*, **11** (4): 349 - 354.