

# 饥饿驯化对树麻雀消化道长度和重量的影响

杨志宏 柳劲松 邵淑丽 \*

( 齐齐哈尔大学生命科学与工程学院 齐齐哈尔 161006; 温州大学生命与环境科学学院 温州 325027)

**摘要:** 鸟类消化系统的形态结构与能量摄入密切相关。本文以相同环境中进食量充足的树麻雀 (*Passer montanus*) 为对照组, 与 4 种处于相同饥饿环境但不同饥饿天数 (1D、3D、5D、7D 组) 树麻雀的各消化器官的长度及重量进行比较。结果显示, 饥饿驯化各组树麻雀的体重和体脂含量均低于对照组; 1D 组树麻雀的消化器官胃、小肠、直肠长度显著增长, 重量显著增加; 3D、5D、7D 组各消化器官的长度和重量表现出波动的变化趋势, 摄食量的限制是胃干重没有发生显著变化的原因。结论是, 摄能需求的不同引起树麻雀消化器官长度和重量发生显著变化, 这种变化可对摄食量及消化吸收率产生直接的影响, 同时这种适应性变化应当是快速、可逆和可重复的, 是消化器官形态结构与功能能力及器官自身能耗之间能量预算的结果, 也是个体与环境及适合度之间能量预算的结果。

**关键词:** 树麻雀; 饥饿; 驯化; 消化道

**中图分类号:** Q954, Q495 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)06-130-07

## Effect of Starvation on Length and Weight of Digestive Tract in *Passer montanus*

YANG Zhi-Hong LIU Jin-Song SHAO Shu-Li \*

( College of Life Science and Engineering, Qiqihaer University, Qiqihaer 161006;  
School of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou 325027, China)

**Abstract:** The morphological structure of avian digestive system is closely related to the energy intake. This essay takes the tree sparrows with full food-intake in the same environment to be the control group and compares it with four groups of Tree Sparrows (*Passer montanus*) that are in same conditions and at different time of starvation (1, 3, 5, 7 day) in terms of the length and weight of digestive organs. The results showed that the body weight and body fat were decreased in four groups acclimation birds, the length and weight of digestive organs were increased obviously in *P. monanus* of one day starvated, the tracts showed increase-decrease-increase pattern in four team birds of hunger days add, food-intake and stomach dry weight was significantly correlated. The conclusion is that different requirements for food-intake result in the great changes in the length and weight of avian digestive organs and the changes involve such aspects as the length, the capacity and the biological structure. These changes may have direct effects on the food-intake and the digestibility. Meanwhile, this kind of adaptive change should be fast, reversible and repeatable. It is the result of energy budget between the morphological structure and function and the energy expenditure of the organs themselves and also between the individual and environmental and fitness.

**Key words:** Tree Sparrow (*Passer monanus*); Starvation; Acclimation; Digestive tract

**基金项目** 黑龙江省自然科学基金项目 (No. C200624), 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (No. 11511447);

\*通讯作者, E-mail: shshl32@163.com;

**第一作者介绍** 杨志宏, 男, 硕士; 研究方向: 动物生理生态学; E-mail: yzh0452@163.com。

**收稿日期:** 2009-05-25, **修回日期:** 2009-08-31

动物能量的获得和利用效率是能量生态学研究的重要环节,也是深入研究动物能量动态的基础<sup>[1]</sup>。能量摄入的消化道各器官的形态结构和功能能力是限制其能量收支的关键<sup>[2]</sup>。Veasey 等<sup>[3]</sup>提出动物不同的形态、结构设计或行为方式都会带来“代价-收益”结果。食物能量的摄入可能会受行为和形态的影响<sup>[4]</sup>,行为方式能影响觅食成功率<sup>[5]</sup>,而肠的适应能力决定了消化和同化食物的最大速率<sup>[6]</sup>。因此,用收益和代价最适化原理来描述消化道形态特征的差异,是能量生态学研究的方法之一<sup>[7]</sup>。

动物消化道的形态结构与多种因素密切相关。Karasov<sup>[8]</sup>研究认为食性的不同是消化道形态特征存在种间差异的主要原因之一。McWillimas 等<sup>[9]</sup>比较鸟类消化道长度与食性关系时发现植食性鸟类小肠长度大于杂食性鸟类,以昆虫为食的鸟类消化道总长度最短。植食性鸟类的食物质量相对较差,摄食量的增加会缩短食物在消化道内的滞留时间,从而导致消化率降低<sup>[10]</sup>。因此,较长的消化道很可能使消化吸收率增加<sup>[11]</sup>。李铭等<sup>[12]</sup>通过比较 4 种雀形目鸟类消化道特征发现,鸟类不同的食性特征塑造了不同的消化道适应对策。我国有关消化道形态特征的研究以小型哺乳动物为主<sup>[13,14]</sup>,而对于鸟类消化道形态特征的报道相对较少<sup>[15-17]</sup>。通过对鸟类消化道形态的比较研究有利于加深对鸟类生态学特征的理解<sup>[18]</sup>。

自然环境中鸟类的能量需求与多种生态因子有关,鸟类种间的食性差异和获能策略的不同是消化道形态特征存在较大差异的主要原因。鸟类种内能量的获得又因个体及个体生存环境的不同而产生差异。本研究是在实验室条件下,观察和比较处于相同饥饿环境但不同饥饿时间状态下树麻雀(*Passer monanus*)的获能器官消化道形态特征的适应性变化,并进一步分析形态结构与功能能力的适应性变化对其个体能量预算的影响,探讨小型鸟类个体的能量需求与获能对策之间的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物 树麻雀于 2008 年 1 月捕自中

国北方黑龙江省齐齐哈尔市(47°29'N,124°02'E),在齐齐哈尔大学动物饲养室饲养。适应 3 d 后分为对照组和 4 个实验组,组间体重比较,差异不显著。室温,自由进食和饮水,食物相同(碎稻米)。对照组为正常饲喂组,食物充足;实验组则以适应阶段测得的单只树麻雀平均食量的半数饲喂,以饥饿时间的长短依次设为饥饿 1 d、3 d、5 d 和 7 d,即 1D、3D、5D、7D 4 个实验组。各实验组取材时,对照组的 2 或 3 只树麻雀与之同步取材,以缩小误差。

**1.2 体重和体脂含量** 用电子天平称量树麻雀体重( $\pm 0.1$  g),用索氏抽提法测定树麻雀的体脂含量<sup>[19]</sup>。驯化结束,测得对照组 10 只(5,5)个体的平均体重为( $20.5 \pm 0.4$ ) g;1D 组 6 只(2,4)的平均体重为( $18.9 \pm 0.7$ ) g;3D 组 10 只(4,6)的平均体重为( $20.1 \pm 0.4$ ) g;5D 组 9 只(3,6)的平均体重为( $20.0 \pm 0.6$ ) g;7D 组 10 只(6,4)的平均体重为( $16.5 \pm 0.4$ ) g。7D 组饥饿至 7 d,有 1/3(3 只)死亡。

**1.3 消化道长度和重量** 分别将饥饿驯化结束的动物带到实验室,称重后进行解剖。取出完整的消化道,小心去除结缔组织和脂肪,分离出胃、小肠和直肠;各部分平展为自然状态下最大长度(不拉伸)<sup>[13]</sup>,用游标卡尺( $\pm 1$  mm)测量长度。然后用眼科手术专用剪刀将各器官纵剖开,小心地放在生理盐水中清洗以除去内容物,然后用滤纸轻轻吸干残留的生理盐水。用 BS210S 型电子天平( $\pm 0.1$  mg)称量各器官的去内含物重,即鲜重。将称量后各器官置于 75 鼓风干燥箱内烘干至恒重,记录各器官干重<sup>[14]</sup>。总消化道的各项指标均为胃、小肠、直肠的相加值。

**1.4 统计分析** 用 SPSS 16.0 软件包进行数据分析。为了消除消化道形态指标受体重的影响而导致分析结果出现误差,统计是在获得各消化道实测指标的基础上,采用体重为协变量的协方差分析(ANCOVA)比较总消化道及各消化器官长度和重量的组间差异,并用体重与消化道各数据间进行线性相关分析(Pearson)。文中

数据以平均值  $\pm$  标准误 (Mean  $\pm$  SE) 表示, 显著水平设为  $\alpha = 0.05$ ,  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结 果

**2.1 总消化道的变化** 消化道长度和重量的实测值(表 1)经协方差分析后(表 2)表明, 对照组与各实验组间的总消化道长度、消化道鲜组织总重量及消化道干组织总重量的差异均达到显著水平(分别为  $F_{(4,39)} = 6.749$ ,  $P = 0.000$ ;  $F_{(4,39)} = 8.997$ ,  $P = 0.000$ ;  $F_{(4,39)} = 2.118$ ,  $P = 0.097$ )。消化道鲜组织总重量、消化道干组织总重量与其对应体重均呈现出极显著的线性关系( $r = 0.503$ ,  $P = 0.000$ ;  $r = 0.615$ ,  $P = 0.000$ )。多重比较分析表明, 饥饿时间 1~7 d, 总消化道长度、消化道鲜组织总重量和消化道

干组织总重量均出现升降升的趋势。1D 组总消化道长度最长, 比对照组长度增加 12.4%; 1D、3D、5D 组总消化道长度逐渐缩短, 5D 组总消化道长度恢复至对照组水平; 7D 组总消化道长度再次显著增长, 比对照组长度增加 11.0%; 1D、3D、7D 实验组较对照组总消化道长度增长, 达到极显著水平。3D 组消化道鲜组织总重量最重, 比对照组重量增加 25.0%; 5D 组消化道鲜组织总重量恢复至对照组水平; 7D 组, 再次比对照组增加 19.8%, 1D、3D、7D 实验组较对照组消化道鲜组织总重量增重极显著。1D 组消化道干组织总重量最重, 5D 组最低; 1D、3D、5D、7D 实验组消化道干组织总重量较对照组分别增重 19.4%、8.0%、- 5.6% 和 4.2%(表 2)。

表 1 饥饿驯化树麻雀消化道长度及重量的实测值

Table 1 The length and mass of digestive tracts in tree sparrows *Passer montanus* under different periods of starvation acclimation (Mean  $\pm$  SE)

项目 Item	对照组 Control	1D	3D	5D	7D
样本数 Sample size	10	6	10	9	10
初体重 Initial body mass(g)	20.1 $\pm$ 0.3	19.5 $\pm$ 0.4	20.1 $\pm$ 0.5	20.7 $\pm$ 0.3	19.6 $\pm$ 0.3
终体重 Final body mass(g)	20.5 $\pm$ 0.4	18.9 $\pm$ 0.7	20.1 $\pm$ 0.4	20.0 $\pm$ 0.6	16.5 $\pm$ 0.4
体重变化 Body mass change(g)	+0.4	-0.6	-0.1	-0.7	-3.1
终体脂含量 Final body fat (%)	9.2 $\pm$ 0.5	3.9 $\pm$ 0.3	7.4 $\pm$ 0.7	6.3 $\pm$ 1.0	4.0 $\pm$ 0.4
总消化道长 Total digestive tract length(mm)	158.8 $\pm$ 3.2	169.3 $\pm$ 5.6	170.5 $\pm$ 2.7	155.5 $\pm$ 4.2	165.9 $\pm$ 2.2
消化道鲜组织总重量(mg) Weight of total digestive tract	1 253.7 $\pm$ 56.8	1 337.0 $\pm$ 114.1	1 557.7 $\pm$ 67.1	1 181.1 $\pm$ 51.6	1 263.2 $\pm$ 14.9
消化道干组织总重量(mg) Dry weight of total digestive tract	393.1 $\pm$ 19.9	385.0 $\pm$ 43.3	426.5 $\pm$ 22.4	349.3 $\pm$ 22.7	330.0 $\pm$ 8.4
胃长 Stomach length(mm)	12.4 $\pm$ 0.2	12.8 $\pm$ 0.4	13.8 $\pm$ 0.4	12.9 $\pm$ 0.3	11.7 $\pm$ 0.3
胃组织鲜重 Weight of stomach(mg)	491.9 $\pm$ 16.4	570.8 $\pm$ 35.4	538.1 $\pm$ 20.0	474.1 $\pm$ 29.8	438.4 $\pm$ 11.5
胃组织干重 Dry weight of stomach(mg)	171.9 $\pm$ 5.5	181.5 $\pm$ 20.5	184.7 $\pm$ 10.6	157.9 $\pm$ 15.2	129.4 $\pm$ 4.9
小肠长 Small intestine length(mm)	136.6 $\pm$ 2.9	143.6 $\pm$ 5.2	144.3 $\pm$ 2.6	132.5 $\pm$ 3.6	143.5 $\pm$ 2.0
小肠组织鲜重 Weight of small intestine(mg)	637.0 $\pm$ 33.1	622.8 $\pm$ 74.4	742.0 $\pm$ 40.0	578.7 $\pm$ 28.4	671.8 $\pm$ 9.5
小肠组织干重 Dry weight of intestine(mg)	210.9 $\pm$ 14.4	192.5 $\pm$ 22.7	227.0 $\pm$ 12.1	187.9 $\pm$ 11.9	192.0 $\pm$ 4.2
直肠长 Rectum length(mm)	9.8 $\pm$ 0.4	12.8 $\pm$ 0.6	12.9 $\pm$ 0.7	10.0 $\pm$ 0.6	10.7 $\pm$ 0.3
直肠组织鲜重 Weight of rectum(mg)	32.4 $\pm$ 2.7	44.5 $\pm$ 6.3	42.1 $\pm$ 4.1	24.9 $\pm$ 3.0	25.6 $\pm$ 1.8
直肠组织干重 Dry weight of rectum(mg)	10.3 $\pm$ 1.6	11.0 $\pm$ 2.1	13.9 $\pm$ 2.0	7.6 $\pm$ 1.4	7.0 $\pm$ 0.4

**2.2 各消化器官的变化** 胃: 对照组与各实验组相比, 胃长度、胃组织鲜重和胃组织干重的差异显著( $F_{(4,39)} = 4.438$ ,  $P = 0.005$ ;  $F_{(4,39)} =$

10.248,  $P = 0.000$ ;  $F_{(4,39)} = 3.689$ ,  $P = 0.012$ )。胃长度、胃组织鲜重和胃组织干重与其对应体重均呈现出极显著的线性关系( $r = 0.539$ ,  $P =$

0.000;  $r = 0.540$ ,  $P = 0.000$ ;  $r = 0.627$ ,  $P = 0.000$ )。饥饿时间 1~7 d,胃长度、胃组织鲜重和胃组织干重均出现先升后降的变化趋势。3D 组胃长度最长,比对照组增加 10.9%;1D 组胃组织鲜重和胃组织干重最重,分别比对照组增加 35.1%和 29.2%,与对照组比较,差异极显著。1D、3D 实验组胃长度与对照组比较分别达到差异显著和极显著水平(表 2)。

小肠:对照组与各实验组比较,小肠长度、小肠组织鲜重的差异极显著 ( $F_{(4,39)} = 5.107$ ,  $P = 0.002$ ;  $F_{(4,39)} = 4.212$ ,  $P = 0.006$ ),而小肠组织干重的差异不显著 ( $F_{(4,39)} = 1.057$ ,  $P =$

0.391)。小肠组织鲜重、小肠组织干重与其对应体重分别呈现出显著和极显著的线性关系 ( $r = 0.326$ ,  $P = 0.029$ ;  $r = 0.505$ ,  $P = 0.000$ )。饥饿时间 1~7 d,小肠长度、小肠组织鲜重和小肠组织干重均出现升降升的变化趋势。7D 组小肠长度最长,1D、3D、5D、7D 实验组小肠长度较对照组长度分别增加 10.4%、5.4%、-1.25%、11.1%,且 1D、7D 实验组与对照组长度差异达到极显著水平。7D 组小肠组织鲜重最重,各实验组较对照组依次增重 18.8%、16.6%、-4.8%、22.3%,且 1D、3D、7D 实验组小肠组织鲜重比对照组显著增加(表 2)。

表 2 饥饿驯化树麻雀消化道长度及重量的调整平均值  
Table 2 Adjustment means of the length and mass of digestive tracts in *Passer montanus* under different periods of starvation acclimation (Mean ±SE)

项目 Item	对照组 Control	1D	3D	5D	7D	P 值 P-value
样本数 Sample size	10	6	10	9	10	
总消化道长(mm) Total digestive tract length	155.0 ±3.1 <sup>a</sup>	174.1 ±4.0 <sup>b</sup>	166.0 ±3.2 <sup>b</sup>	154.6 ±3.0 <sup>a</sup>	172.1 ±3.4 <sup>b</sup>	0.000
消化道鲜组织总重量(mg) Weight of total digestive tract	1 168.0 ±49.3 <sup>a</sup>	1 445.3 ±63.5 <sup>b</sup>	1 459.6 ±50.3 <sup>b</sup>	1 162.2 ±48.6 <sup>a</sup>	1 399.0 ±54.1 <sup>b</sup>	0.000
消化道干组织总重量(mg) Dry weight of total digestive tract	362.9 ±18.9 <sup>ab</sup>	433.2 ±24.4 <sup>b</sup>	391.9 ±19.3 <sup>ab</sup>	342.7 ±18.6 <sup>a</sup>	377.9 ±20.8 <sup>ab</sup>	0.000
胃长 Stomach length(mm)	12.1 ±0.3 <sup>ac</sup>	13.2 ±0.4 <sup>d</sup>	13.5 ±0.3 <sup>bd</sup>	12.9 ±0.3 <sup>abcd</sup>	12.2 ±0.3 <sup>c</sup>	0.005
胃组织鲜重 Weight of stomach(mg)	456.1 ±16.4 <sup>a</sup>	616.1 ±21.1 <sup>b</sup>	497.1 ±16.7 <sup>a</sup>	467.1 ±16.1 <sup>a</sup>	495.2 ±18.0 <sup>a</sup>	0.000
胃组织干重(mg) Dry weight of stomach	156.0 ±9.1 <sup>a</sup>	201.6 ±11.7 <sup>b</sup>	166.5 ±9.3 <sup>a</sup>	154.4 ±8.9 <sup>a</sup>	154.6 ±10.0 <sup>a</sup>	0.012
小肠长 Small intestine length(mm)	133.5 ±2.9 <sup>ab</sup>	147.5 ±3.8 <sup>c</sup>	140.8 ±3.0 <sup>bc</sup>	131.9 ±2.9 <sup>a</sup>	148.3 ±3.2 <sup>c</sup>	0.002
小肠组织鲜重(mg) Weight of small intestine	598.7 ±33.5 <sup>a</sup>	711.2 ±43.1 <sup>b</sup>	698.2 ±34.2 <sup>b</sup>	570.2 ±33.0 <sup>a</sup>	732.4 ±36.7 <sup>b</sup>	0.006
小肠组织干重(mg) Dry weight of intestine	197.1 ±11.7	210.0 ±15.1	211.9 ±12.0	184.8 ±11.6	213.9 ±12.9	0.391
直肠长 Rectum length(mm)	9.3 ±0.5 <sup>a</sup>	13.5 ±0.7 <sup>c</sup>	11.8 ±0.5 <sup>bc</sup>	9.9 ±0.5 <sup>a</sup>	11.6 ±0.6 <sup>b</sup>	0.000
直肠组织鲜重 Weight of rectum(mg)	29.0 ±3.4 <sup>a</sup>	48.7 ±4.3 <sup>c</sup>	38.3 ±3.4 <sup>bc</sup>	24.2 ±3.3 <sup>a</sup>	30.9 ±3.7 <sup>ab</sup>	0.000
直肠组织干重(mg) Dry weight of rectum	8.8 ±1.5 <sup>ab</sup>	12.9 ±1.9 <sup>b</sup>	12.2 ±1.5 <sup>b</sup>	7.2 ±1.4 <sup>a</sup>	9.4 ±1.6 <sup>ab</sup>	0.055

表中各消化道长度和重量的调整平均值系在实测值的基础上通过以体重为协变量进行协方差分析得到。同一行数据中上标字母不同代表差异显著 ( $P < 0.05$ )。

The value of length and weight was adjusted by analysis of covariance using body mass as the covariate. Values with different superscript letters in the same row are significantly different  $P < 0.05$ .

直肠:对照组与各实验组比较,直肠长度、直肠组织鲜重的差异极显著 ( $F_{(4,39)} = 8.323$ ,  $P = 0.000$ ;  $F_{(4,39)} = 6.730$ ,  $P = 0.000$ ),直肠组织

干重的差异不显著 ( $F_{(4,39)} = 2.548$ ,  $P = 0.055$ )。直肠组织鲜重、直肠组织干重与其对应体重均呈现出极显著的线性关系 ( $r = 0.349$ ,  $P =$

0.000;  $r = 0.475$ ,  $P = 0.001$ )。饥饿时间 1 ~ 7 d, 直肠长度、直肠组织鲜重和直肠组织干重均出现升降升的变化趋势。实验组直肠长度较对照组长度依次增加 45.4 %、26.6 %、6.3 %、24.2 %, 实验 1D、3D、7D 组直肠长度较对照组长度极显著增加; 实验组直肠组织鲜重较对照组重量依次增加 67.8 %、31.7 %、- 16.9 %、6.5 %, 实验 1D、3D 组直肠组织鲜重较对照组重量分别极显著和显著增加; 实验组直肠组织干重较对照组重量依次增加 46.2 %、38.5 %、- 17.9 %、6.2 % (表 2)。

### 3 讨 论

动物体重的变化可以反映其营养状态和随环境变化而进行的一些适应性调节<sup>[20]</sup>, 主要取决于能量摄入和能量支出的平衡<sup>[21, 22]</sup>。Rintamaki 等<sup>[23]</sup>的研究发现麻雀体重增加的同时伴随着体脂含量水平的提高。鸟类可以通过消耗体内储存的内源性脂肪而产生能量的方式维持代谢。脂肪是颤抖性产热的主要能源物质, 也可间接用作基础代谢的能源, 这对于鸟类夜晚维持体温意义重大<sup>[24]</sup>。结果显示, 驯化各组树麻雀的体重和体脂含量均低于对照组, 表明限制摄食量时树麻雀体内的能量储备参与了生存代谢, 体内能量储备的消耗很可能是引起体重降低的主要原因。体重的降低可使树麻雀个体的能耗总量相应降低。因此, 在饥饿环境中体重的降低相应提高了个体的适合度 (fitness)。饥饿时间延长, 出现 3D、5D 组树麻雀的体重和体脂含量高于 1D、7D 组, 表明 3D 和 5D 组树麻雀在饥饿过程中通过消化器官形态结构及功能能力的适应性调整提高了消化吸收率, 增加了有限食物的能量摄入, 使能量的摄入大于支出的结果。7D 组树麻雀的体脂含量处于较低水平, 体重降低更加显著, 因此, 体内能量储备的耗竭和消化器官能耗的增加很可能是该组树麻雀出现部分个体死亡的主要原因。1D、7D 组树麻雀的体重和体脂含量明显低于对照组, 但各消化器官的长度和重量 (除胃干重) 却显著高于对照组, 表明两驯化组树麻雀的摄

能需求和消化各器官的器官能耗水平显著增加。

消化道各器官长度、重量及生理结构的适应性变化与能量的摄入密切相关。相关研究表明消化道长度的增加可延长摄入食糜在消化道内的滞留时间 (retention time)<sup>[11]</sup>, 消化和吸收时间的延长很可能间接提高了食糜的消化吸收率。胃是容纳和初步消化食物的重要器官, 较大的胃容量意味着单次能够摄入较多的食物<sup>[25]</sup>。因此, 胃容量从一定意义上讲可间接反应动物不同的摄能需求, 而胃的长度和重量又是胃容量的决定因素, 胃器官的组织增生, 功能能力的增强, 器官的自身能耗也会随之增加, 当无法通过增加摄食量来获得更多能量时, 胃干重的降低意味着器官能耗相应降低。肠是食物消化和营养吸收的主要场所, 其形态学的变化往往与能量需求有关<sup>[8]</sup>。同时, 小肠长度的增加还可以加强肠道内壁的运输功能, 增加消化吸收率<sup>[26]</sup>。小肠重量的增加与器官黏膜层的显著增加一致, 小肠黏膜厚度的增加可以提高摄入食糜的消化吸收率<sup>[27, 28]</sup>。

结果显示, 不足的摄食量引起 1D 组树麻雀胃长度显著增长和鲜重、干重的显著增加, 胃容量的增大和组织的增生表明该组树麻雀摄能需求的增加, 同时也表明了胃是适应性变化较为迅速的器官。1D 组树麻雀胃干重显著增加, 而 3D、5D、7D 组变化不显著, 这很可能是摄食量限制的结果。饥饿初期胃容量迅速增大, 表明摄食需求增加, 当持续饥饿而又无法增加摄食的情况下, 通过代价-收益原则进行器官形态结构与功能能力和摄食量间的能量预算, 使胃的器官能耗降到最低, 这也是其长度和重量随饥饿时间的延长出现先升后降波动变化的原因。

增加摄食量和提高摄入食糜的消化吸收率是树麻雀增加能量摄入的两种有效策略, 当摄食量不足时, 在有限食物 (相同食物) 中增加能量摄入的惟一途径是提高摄入食糜的消化吸收率。1D 组树麻雀小肠、直肠均出现长度的显著增长和重量的显著增加, 并随饥饿时间的延长

出现升降的波动变化。表明肠也是应激反应较为迅速的器官,其长度和重量的变化反映出摄能需求和器官功能能力的变化。7D 组树麻雀个体的体重和体脂含量均为组间最低水平,而小肠、直肠长度和重量均为组间的最高水平,表明持续的饥饿引起摄能需求的进一步增加和器官消化及吸收能力的进一步增强,至于器官结构和功能能力是否达到上限还有待于进一步的验证。从进化生物学角度来讲,器官功能能力应与机体对该器官的要求相适应<sup>[29]</sup>。如果器官的功能能力过剩,那么剩余部分的器官及功能的维持就会白白消耗能量<sup>[30]</sup>,因此个体根据实际需求调整器官的功能能力<sup>[30~32]</sup>。这是各消化器官在整个的驯化过程中出现波动变化的原因,也是器官功能能力和器官自身能耗、个体与环境及适合度之间能量预算的结果。因此,树麻雀各消化器官长度及重量的适应性变化应当是快速、可逆和可重复的。

总之,摄能需求不同引起树麻雀消化器官长度和重量发生显著变化,变化包括长度、容量和生理结构的改变,这种变化将对摄食量和消化吸收率产生直接的影响,同时这种适应性变化应当是快速、可逆和可重复的,是消化器官形态结构与功能能力及器官自身能耗之间能量预算的结果,也是个体与环境及适合度之间能量预算的结果。

## 参 考 文 献

- [1] Alexander R M. Energy of Animal Life. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- [2] Pierce B, McWilliams S R. Diet quality and food limitation affect the dynamics of body composition and digestive organs in a migratory songbird (*Zonotrichia albicollis*). *Physiol Biochem Zool*, 2004, **77**: 471 ~ 483.
- [3] Veasey J S, Metcalfe N B, Houston D C. A reassessment of the effect of body mass upon flight speed and predation risk in birds. *Anim Behav*, 1998, **56**: 883 ~ 889.
- [4] Kooyman GL, Cherel Y, Le Maho J P, et al. Diving behavior and energetics during foraging cycles in King penguins. *Ecol Monogr*, 1992, **62**: 143 ~ 163.
- [5] Kacelnik A, Cuthill I. Central place foraging in starlings (*Sturnus vulgaris*): . Food allocation to chicks. *J Anim Ecol*, 1990, **59**: 655 ~ 674.
- [6] Konarzewski M, Kozłowski J, Ziolkowski M. Optimal allocation of energy to growth of the alimentary tract in birds. *Funct Ecol*, 1989, **3**: 589 ~ 596.
- [7] 张晓爱, 赵亮. 鸟类生态能量学的几个基本问题. *动物学研究*, 2001, **22**(3): 231 ~ 238.
- [8] Karasov W H. Digestive plasticity in avian energetics and feeding ecology. In: Carey C ed. *Avian Energetics and Nutritional Ecology*. New York: Chapman and Hall, 1996, 61 ~ 84.
- [9] McWilliams S R, Karasov W H. Phenotypic flexibility in digestive system structure and function in migratory birds and its ecological significance. *Comp Biochem Physiol A*, 2001, **128**: 579 ~ 593.
- [10] Starck J M. Phenotypic flexibility of the avian gizzard: rapid, reversible and repeated changes of organ size in response to changes in dietary fiber content. *J Exp Biol*, 1999, **202**: 3 171 ~ 3 179.
- [11] Starck J M, Rahmaan G H A. Phenotypic flexibility of structure and function of the digestive system of Japanese quail. *J Exp Biol*, 2003, **206**: 1 887 ~ 1 897.
- [12] 李铭, 柳劲松. 4 种雀形目鸟类消化道形态特征. *动物学杂志*, 2008, **43**(1): 116 ~ 121.
- [13] 柳劲松, 孙儒泳, 王德华. 三种啮齿动物的消化道形态特征. *动物学杂志*, 2007, **42**(1): 8 ~ 13.
- [14] 王德华, 王祖望, 孙儒泳. 根田鼠消化道长度和重量的变化及其适应意义. *兽类学报*, 1995, **15**(1): 53 ~ 59.
- [15] 柳劲松, 宋春光, 王小恒等. 燕雀和麻雀代谢产热及消化道形态特征的比较. *动物学杂志*, 2004, **39**(3): 2 ~ 7.
- [16] 韩芬茹. 10 种鸟类消化系统的比较研究. *经济动物学报*, 2006, **10**(1): 35 ~ 38.
- [17] 柳劲松. 鸟类盲肠的类型及结构. *生物学通报*, 2004, **39**(5): 11 ~ 12.
- [18] Piersma T, Drent J. Phenotypic flexibility and the evolution of organismal design. *Trends Ecol Evol*, 2003, **18**: 228 ~ 233.
- [19] AL-Mansour M I. Seasonal variation in basal metabolic rate and body composition within individual sanderling bird *Calidris alba*. *J Bio Sci*, 2004, **4**(4): 564 ~ 567.
- [20] Ashton K G. Patterns of within-species body size variation of birds: strong evidence for Bergmann's rule. *Glob Ecol Biog*, 2002, **11**: 505 ~ 523.
- [21] Heldmaier G. Seasonal acclimatization of energy requirements in mammals: functional significance of body weight control, hypothermia, torpor and hibernation. In: Weiser W ed. *Energy Transformations in Cells and Organisms*. New York: Georg Thieme, 1989, 130 ~ 139.
- [22] Corp N, Gorman M L, Speakman J R. Seasonal variation in the

- resting metabolic rate of male wood mice *Apodemus sylvaticus* from two contrasting habitats 15km apart. *J Comp Physiol B*, 1997, **167**: 229 ~ 239.
- [23] Rintamaki P T, Stone J R, Lundberg S A. Seasonal and diurnal body-mass fluctuations for two nonhoarding species of *Parus* in Sweden modeled using path analysis. *Auk*, 2003, **120** (3): 658 ~ 670.
- [24] Swanson D L. Are summit metabolism and thermogenic endurance correlated in winter-acclimatized passerine birds? *J Comp Physiol B*, 2001, **171**: 475 ~ 481.
- [25] Dekinga A, Dietz M W, Koolhaas A, et al. Time course and reversibility of changes in the gizzards of red knots alternately eating hard and soft food. *J Exp Biol*, 2001, **204**: 2 167 ~ 2 173.
- [26] Caviedes-Vidal E, Afik D, Martinez del C, et al. Dietary modulation of intestinal enzymes of the house sparrow (*Passer domesticus*): testing an adaptive hypothesis. *Comp Biochem Physiol A*, 2000, **125**: 11 ~ 24.
- [27] Hammond K A, Szewczak J, Król E. Effects of altitude and temperature on organ phenotypic plasticity along an altitudinal gradient. *J Exp Biol*, 2001, **204**: 1 991 ~ 2 000.
- [28] Lee K A, Karasov W H, Caviedes-vidal E. Digestive response to restricted feeding in migratory yellow-rumped warblers. *Physiol Biochem Zool*, 2002, **75**: 314 ~ 323.
- [29] Daan S, Masman D, Groenewold A. Avian basal metabolic rates: their association with body composition and energy expenditure in nature. *Am J Physiol*, 1990, **259**: R333 ~ R340.
- [30] Weibel E R. Symmorphosis and optimization of biological design: introduction and questions. In: Weibel E R, Taylor C R, Bolis L eds. Principles of Animal Design. Cambridge: Cambridge University Press, 1998, 1 ~ 10.
- [31] Hammond K A, Wunder B A. The role of diet quality and energy of a small herbivore, *Microtus ochrogaster*. *Physiol Zool*, 1991, **64**: 541 ~ 567.
- [32] Stark J M, Beese K. Structural flexibility of the intestine of *Burmese python* in response to feeding. *J Exp Biol*, 2001, **204**: 325 ~ 335.

## 北京发现蓑羽鹤

2006年5月至2009年9月,北京市野生动物救护中心陆续救助4只蓑羽鹤(*Grus virgo*),接收具体时间及测量数据见表1。4只蓑羽鹤都具有如下特征:体型略小(105 cm)而优雅的蓝灰色鹤。头顶白色,白色丝状长羽的耳羽簇与偏黑色的头、颈及修长的胸羽成对比。三级飞羽形长但不浓密,不足覆盖尾部。胸部的黑色羽较灰鹤的更为长垂。虹膜雄鸟红色,雌鸟橘黄,喙黄绿,脚黑色;叫声如号角似灰鹤,但较尖而少起伏。

表1 北京地区救助的蓑羽鹤的测量数据(g, mm)

日期(年-月-日)	地点	地理坐标	伤情描述	体重	体长	翅长	喙长	尾长	跗跖
2006-05-23	延庆县永宁镇北关村	N:40°30' E:116°8'	腹泻, 精神不好	2 500	850	510	57	176	190
2007-04-2	大兴区瀛海镇	N:39°32' E:116°24'	外伤	2 000	730	480	55	180	160
2008-10-2	顺义区后沙峪镇	N:40°8' E:116°30'	左翅有伤	2 300	680	450	57	210	175
2009-09-28	通州区次渠镇水南村	N:39°32' E:116°30'	体弱、无外伤	1 800	856	465	46	168	150

据文献记载,蓑羽鹤分布于新疆、内蒙古、黑龙江、河北、北京、甘肃、青海、西藏。繁殖于中国东北、内蒙古西部的鄂尔多斯高原及西北,越冬在西藏南部。为高原、草原、沼泽、半荒漠及寒冷荒漠的鸟种,分布至海拔5 000 m。

上述4只蓑羽鹤是由市民发现的受困野生动物,均无人饲养迹象,因此认为它们是野生个体,是北京鸟类新记录。通过分析以上连续4年的救助数据,每年都能接收到一只蓑羽鹤,可以判断出它们是大概春季4、5月份、秋季9、10月份迁徙途经北京地区的旅鸟。

高峰 潘红 史洋 田恒玖  
(北京市野生动物救护中心 北京 100029)