

# 太行山猕猴下颌的生物力学研究<sup>\*</sup>

路纪琪 吕九全 薛德明 瞿文元

(河南师范大学生命科学学院, 新乡, 453002)

**摘要:** 采用定点方法, 对太行山猕猴下颌骨有关变量作了测量、统计和分析。通过对太行山猕猴下颌生物力学、异速生长的研究表明, 雄性下颌相对较长, 与此有关的生物力学特点是下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长和下颌支高等阻力臂减小, 而下颌髁长、下颌髁宽、下颌体高、下颌体宽、下颌联合长等变量则增强, 使咀嚼力增加。这些特点均与其生态对策密切相关。研究结果还与有关材料进行了比较, 表明太行山猕猴与国内其他地区的猕猴存在着明显差异。

**关键词:** 太行山猕猴; 下颌; 生物力学; 异速生长

**中图分类号:** Q954.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000 - 1050 (2001) 02 - 0088 - 06

下颌是哺乳动物头骨的重要组成部分, 并与上颌共同构成面颅, 与颞骨组成颞 - 下颌关节, 同时与咀嚼肌群相连。所以, 下颌对于面颅的形态构成尤其是对食物的咀嚼、吞咽过程都有着非常重要的作用。有作者对部分灵长类的下颌进行了研究<sup>[1~3]</sup>, 试图探讨不同种类的食性差异及其面颅形态的趋异程度等。有关研究在太行山猕猴 (*Macaca mulatta*) 尚未见有报道。

太行山猕猴目前仅分布于豫、晋两省交界的太行山南段和中条山一带。初步研究表明<sup>[4~6]</sup>, 太行山猕猴在形态、行为、食性、骨学等方面均有其特殊性。本文试图通过对太行山猕猴下颌的研究, 分析其下颌的生物力学特点, 同时与有关材料进行比较, 以讨论和分析其差异性和适应性, 并为其形态学和保护生物学研究积累资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

本文所用材料为采自河南境内太行山区的济源、辉县两地的猕猴头骨标本, 均为成体, 共 12 例 (雄 6, 雌 6), 标本现存于河南师范大学生命科学学院生物多样性保护研究室, 比较资料引自有关参考文献。

### 1.2 方法

采用邵象清的定点方法<sup>[7]</sup>, 用国产游标卡尺和弯角规 (精确到 0.05 mm) 对下颌的 9 项变量进行精确测量、统计、处理, 对称部位的测量均选左侧。

利用异速生长来分析两变量之间的相互关系及其比例, 公式为  $Y = aX^b$ , 其中 X 为

<sup>\*</sup> 基金项目: 河南省教委自然科学基金项目 (1999180018); 河南省动物学重点学科经费资助

作者简介: 路纪琪 (1964 - ), 男, 硕士, 副教授, 主要从事兽类区系、生态及保护生物学研究。

收稿日期: 1999 - 11 - 29; 修回日期: 2000 - 06 - 08

自变量，Y 为依赖变量，a 为异速生长常数，b 为异速生长指数。当  $b = 1.00$  时，Y 与 X 间为等速生长，当  $b > 1.00$  或  $b < 1.00$  时，Y 对 X 分别为正或负的异速生长。本文把下颌骨长定义为自变量 (X)，其余变量则分别作为依赖变量。

## 2 结果

### 2.1 太行山猕猴下颌变量的基本统计值 (表 1)

表 1 太行山猕猴下颌变量的基本统计值 (单位: mm)

Table 1 Measurement of mandibular variables of *Macaca mulatta* in Taihang Mountains (Unit: mm)

变量 Variables	雄 Male			雌 Female			雄+雌 Male+Female			t 检验 t-test
	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	
Y <sub>1</sub>	6.30	1.77	28.10	5.37	0.70	13.04	5.84	1.37	23.46	1.1973
Y <sub>2</sub>	13.71	1.63	11.89	13.08	0.82	6.27	13.40	1.27	9.48	2.1880
Y <sub>3</sub>	57.92	8.04	13.88	52.88	3.56	6.73	55.40	6.49	11.71	1.4041
Y <sub>4</sub>	42.34	6.90	16.30	38.38	3.84	10.00	40.54	5.83	14.38	1.2283
Y <sub>5</sub>	21.35	2.90	13.58	18.69	1.73	9.26	20.02	2.66	13.29	1.5078
Y <sub>6</sub>	8.90	1.46	16.40	8.87	0.35	3.95	8.88	1.01	11.37	0.3750
Y <sub>7</sub>	28.29	5.47	19.34	23.31	2.02	8.76	25.80	4.71	18.06	2.0920
Y <sub>8</sub>	44.20	3.88	8.78	40.31	2.61	6.47	42.25	3.75	8.88	3.5700 *
X	92.10	11.59	12.98	84.36	3.63	4.30	88.23	9.34	10.59	1.5180

注 Note: Y<sub>1</sub>: 下颌髁长 Length of mandibular condyle; Y<sub>2</sub>: 下颌髁宽 Width of mandibular condyle; Y<sub>3</sub>: 下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长 Length from posterior border of mandibular condyle to the central section of M<sub>1</sub>; Y<sub>4</sub>: 下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长 Length from posterior border of mandibular condyle to the under-minipeak of M<sub>3</sub>; Y<sub>5</sub>: 下颌体高 Height of the mandibular body; Y<sub>6</sub>: 下颌体宽 Width of the mandibular body; Y<sub>7</sub>: 下颌联合长 Symphysis length of mandible; Y<sub>8</sub>: 下颌支高 Height of the mandibular ramus; X: 下颌骨长 Length of the mandible

\* \* 差异性达到  $P < 0.01$  显著水平 Significant difference between the sex at  $P < 0.01$  level

由表 1 可见，所有变量测量值在同一性别的个体之间均有一定程度的变异，无论在雄性还是雌性，均以下颌髁长的变异范围最大，但 t 检验结果表明，除下颌支高外，其他变量的变异均未达显著或极显著水平，这一点与滇金丝猴 (*Rhinopithecus bieti*) 的情况极不相同<sup>[1]</sup>。在后者除下颌体宽外的所有变量在雌、雄性间的差异均达极显著水平。

### 2.2 下颌变量的异速生长分析与比较 (表 2, 表 3)

表 2 为太行山猕猴下颌有关变量对下颌骨长的异速生长分析结果。由表 2 可见，在雄性个体，下颌髁宽表现为明显的负异速增长，下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌体高均接近于等速生长，而下颌髁长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长、下颌髁宽、下颌联合高呈现出正的异速生长。就不同变量与下颌骨长的相关程度来看，下颌体高 达显著相关水平，而下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长、下颌体宽、下颌联合高则达极显著相关水平。

表 2 太行山猕猴下颌变量的异速生长分析结果

Table 2 Allometry analysis for mandibular variables of *Macaca mulatta* in Taihang mountains

变量 Variables	雄 Male			雌 Female		
	a	b	r	a	b	r
Y <sub>1</sub>	- 1. 7259	1. 2813	0. 6800	1. 1553	- 0. 2230	- 0. 0797
Y <sub>2</sub>	- 0. 1653	0. 6628	0. 7632	0. 0813	0. 0001	0. 081
Y <sub>3</sub>	- 0. 2961	1. 0479	0. 9733 **	0. 9346	1. 4483	0. 9346 *
Y <sub>4</sub>	- 0. 7238	1. 1958	0. 9408 **	- 2. 1365	1. 9280	0. 8446 *
Y <sub>5</sub>	- 0. 5149	0. 9386	0. 9042 *	0. 4879	0. 4061	0. 179
Y <sub>6</sub>	- 1. 4118	1. 2013	0. 9573 **	0. 8731	0. 0594	0. 0609
Y <sub>7</sub>	- 1. 3218	1. 4106	0. 9720 **	1. 0296	1. 2418	0. 5624
Y <sub>8</sub>	10. 5837	- 2. 1128	0. 3315	- 15. 7346	11. 3100	0. 7504

注 Note: 各变量含义同表 1 The meaning of the variables are the same as those in table 1  
\* P < 0. 05; \*\* P < 0. 01

与雄性相比，雌性个体的情况可截然分为两种类型，有关变量与下颌骨长之间要么表现为明显的负异速生长，如下颌髁长、宽、下颌体高、宽；要么表现为明显的正异速生长，如下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长、下颌联合高。相关程度除下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长达显著水平，下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长达极显著水平外，其余变量均未达显著或极显著水平。

表 3 下颌变量异速生长结果与有关材料的比较

Table 3 Comparison of the allometric analysis for mandibular variables between *Macaca mulatta* in Taihang mountains and the others

雄 + 雌 Male + Female	项目 Item	变量 Variables						
		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
本文	a	- 1. 6410	- 0. 1913	- 0. 3582	- 0. 7861	- 0. 6535	- 0. 8105	- 1. 6507
Present paper	b	1. 2339	0. 6772	1. 0800	1. 2417	1. 0041	0. 9038	1. 5714
n = 12	r	0. 6327	0. 7754	0. 9686	0. 9211	0. 8073	0. 8054	0. 9358
潘汝亮 (1991)	a	- 2. 52	- 0. 29	0. 01	- 0. 32	- 0. 15	- 1. 65	- 1. 80
PAN R (1991)	b	1. 72	0. 71	0. 91	0. 98	0. 91	1. 32	1. 68
n = 12	r	0. 73	0. 59	0. 96	0. 80	0. 65	0. 67	0. 83

注 Note: 各变量含义同表 1 The meaning of the variables are the same as those in table 1

将雄、雌结合起来进行异速生长分析可见，下颌髁长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长和下颌联合高表现出明显的正异速生长，下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌体高和下颌体宽接近于等速生长，只有下颌髁宽表现为明显的负异速生长。就与下颌骨长的相关程度来看，所有变量均达极显著水平。与潘汝亮<sup>[1]</sup>材料的比较表明，所有变量的变化在二者之间具有类似的趋势。但本文的下颌髁长、下颌髁宽、下颌体宽和下颌联合高的异速生长速度小于潘汝亮材料；而下颌髁后缘至 M<sub>1</sub> 近中侧长、下颌髁后缘至 M<sub>3</sub> 下次小尖长和下颌体高的异速生长速度则大于潘汝亮材料。

2. 3 下颌有关变量与其他亚种<sup>[8]</sup>的比较

表 4 太行山猕猴下颌有关变量与其他亚种的比较 (单位: mm)

Table 4 Comparison for mandibular variables between *Macaca mulatta* in Taihang mountains and other subspecies

变量 Variables	太行山猕猴 (No. 1)		湘鄂猕猴 (No. 2)		闽粤猕猴 (No. 3)		t 检验 <i>t</i> -test		
	平均值 Means	标准差 SD	平均值 Means	标准差 SD	平均值 Means	标准差 SD	$t_{12}$	$t_{13}$	$t_{23}$
X <sub>5</sub> 雄 Male	21.35	2.90	20.5	2.5	19.5	1.9	0.5886	1.2195	0.7627
雌 Female	18.69	1.73	19.1	2.7	17.8	1.4	-0.3276	1.0263	1.1530
Y <sub>6</sub> 雄 Male	8.90	1.46	8.5	1.0	8.2	0.6	0.6106	0.9970	0.6008
雌 Female	8.87	0.35	8.1	0.9	8.7	1.0	1.9779	0.3941	-1.2610
Y <sub>7</sub> 雄 Male	28.29	5.47	29.1	4.8	27.5	4.3	-0.2947	0.2618	0.6069
雌 Female	23.31	2.02	25.0	2.0	23.7	3.7	-1.5971	-0.2960	0.9034
Y <sub>8</sub> 雄 Male	44.20	3.88	40.1	4.1	39.5	2.4	1.8933	2.3484 *	0.2943
雌 Female	40.31	2.61	40.1	4.2	40.1	7.9	0.10850	0.0619	0.0000

注 Note: 各变量含义同表 1 The meaning of the variables are the same as table 1

太行山猕猴 (No. 1) *M. mulatta* in Taihang mountains; 湘鄂猕猴 (No. 2) *M. mulatta* in Hunan and Hubei Provinces; 闽粤猕猴 (No. 3) *M. mulatta* in Fujian and Guangdong Provinces

\*  $t_{0.05}(12) = 2.179$ ;  $t_{0.01}(12) = 3.056$ ;  $t_{0.05}(9) = 2.262$ ;  $t_{0.01}(9) = 3.250$ ;  $t_{0.05}(13) = 2.160$ ,  $t_{0.01}(11) = 2.201$

由表 4 可见, 所列变量在雄性方面, 太行山猕猴与湘鄂猕猴的差异均小于它与闽粤猕猴的差异。除下颌体高、下颌联合高外, 其余变量在湘鄂猕猴与闽粤猕猴的差异为最小。在雌性方面, 除下颌体高外, 太行山猕猴与湘鄂猕猴的差异均小于它与闽粤猕猴的差异, 而湘鄂猕猴与闽粤猕猴的差异在下颌体高、下颌联合高表现为最大, 在其他变量上则居于最小或中间水平。

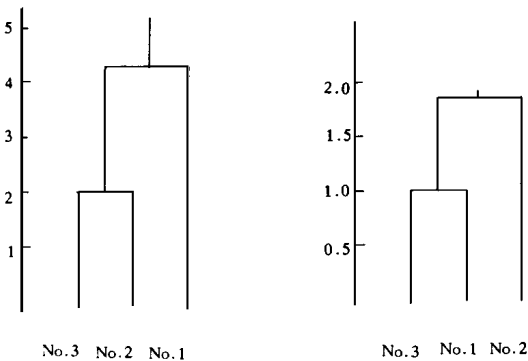


图 1 表 4 聚类图 (左: 雄性; 右: 雌性)

Fig. 1 Cluster figure about table 4

(Left: Male; Right: Female)

对表 4 中数据进行聚类分析 (图 1), 3 个类群相互之间的欧氏距离, 在雄性分别为:  $d_{12} = 4.28$ ,  $d_{13} = 5.16$ ,  $d_{23} = 2.00$ ; 在雌性分别为:  $d_{12} = 1.91$ ,  $d_{13} = 1.01$ ,  $d_{23} = 1.93$ 。表明在雄性, 湘鄂猕猴与闽粤猕猴距离较近, 而太行山猕猴与两者距离均较远; 在雌性则表现为太行山猕猴与闽粤猕猴距离较近。

### 3 讨论

3.1 研究表明, 成年太行山猕猴雄性具有比雌性更为凸出的面颅。因为其下颌骨相对较长, 在  $Y = aX^b$  中,  $Y$  的增长速度小于  $X$ , 即与  $Y$  相比,  $X$  相对更长一些。这样, 当咀嚼肌 (群) 收缩时, 就产生了较大的阻力, 从而影响对食物的有效摄取利用及一系列相关的行为。为了弥补和克服上述不利影响, 需要减小其他阻力譬如下颌髁后缘至  $M_1$  近中侧长、下颌髁后缘至  $M_3$  次小尖长和下颌支高。表 2 中这三项变量的异速生长指数在雄性均小于雌性。同时, 还通过加强下颌的牢固性 (下颌体宽)、增加咀嚼肌 (群) 的附着面积 (下颌体高), 使咀嚼力得

以有效地增加。已有的研究也表明<sup>[9]</sup>，下颌体的增高和加宽有助于提高下颌骨的抗疲劳作用，特别是较大的下颌体宽作为抵消下颌颊舌侧向的扭转力和弯曲力具有重要作用。

太行山猕猴下颌联合高的异速生长指数在雄性 ( $b = 1.4106$ ) 大于雌性 ( $b = 1.2418$ )，使其下颌骨更加坚实，既可承受来自背腹侧向的扭转力（由于下颌体中轴与颊齿列中轴发生较大偏差所致），又可承受下颌体向外或向内翻转的弯曲力（由于下颌体上咬肌和翼内、外肌产生的合力不均匀地分布于下颌支两侧所致）。而下颌髁长和宽的异速生长指数在雄性均大于雌性，或者说，雄性比雌性有更大的下颌髁面积，这样一方面可以增加颞-下颌关节的牢固性，同时也可抵抗由于咀嚼、咬啮等产生的更大的反作用力。考究太行山猕猴雌雄两性出现上述趋异的原因，就生物力学的观点来看，在于面颅形态的性二型，但这似乎只是表面的现象，根本的原因，可能还在于自然选择和进化的压力导致其生态对策的差异。在猕猴社群内，雄性比雌性面临着更大的、来自性选择、食物、栖息地、防卫等方面的竞争压力，而雌性则处于相对被动和保守的地位<sup>[4,6]</sup>。

3.2 将太行山猕猴（雄+雌）的异速生长分析结果与有关材料进行比较后发现，下颌髁长、宽、下颌体宽和下颌联合高4个变量的异速生长指数在前者接近或小于后者，但前者却具有较大的下颌髁后缘至  $M_1$  近中侧长、下颌髁后缘至  $M_3$  下次小尖长和下颌体高。差异产生的原因应该是两个群体所生活的环境，尤其是食物条件的不同。太行山猕猴所生活的太行山区，山势陡峭险峻，单面山十分发育，食物资源较为匮乏，特别是严寒的冬季，树木叶、果凋落，取食条件更加恶劣。此期猕猴主要取食树根、嫩枝的皮<sup>[4]</sup>，纤维粗硬，需要反复咀嚼才能下咽，增大了下颌体区的压力，较高的下颌体则是对承受这种压力的适应性变化。而在南方类群中，同样取食一次，其咀嚼的次数要少许多<sup>[9]</sup>。

## 参考文献：

- [1] 潘汝亮, 彭燕章, 叶智彰, 王红. 滇金丝猴下颌的生物力学研究 [J]. 动物学报, 1991, 37 (4): 389—396.
- [2] Bouvier M A. Biomechanical scaling of mandibular dimensions in New World monkey [J]. *Inter J Primatol*, 1986, 7 (6): 551—567.
- [3] Bouvier M A. A Biomechanical analysis of mandibular scaling in Old World monkeys [J]. *Am J Phys Anthropol*, 1986, 69: 473—481.
- [4] 宋朝枢, 瞿文元. 太行山猕猴自然保护区科学考察集 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 16—111.
- [5] 赵晓进, 翟心慧, 张新胜, 张文学, 宛霞. 太行山猕猴颅骨变量的相关性研究 [J]. 解剖学杂志, 1999, 22 (2): 175—177.
- [6] 路纪琪, 吕九全, 薛德明, 张建军, 瞿文元. 太行山猕猴颅容量与颅骨其他变量的相关性研究 [J]. 动物学研究, 2000, 21 (1): 94—96.
- [7] 邵象清. 人体测量手册 [M]. 上海: 上海辞书出版社, 1985. 55—99.
- [8] 俞发宏, 彭燕章, 潘汝亮. 湘鄂与闽粤猕猴颅骨的多变量分析 [J]. 人类学学报, 1996, 15 (2): 151—158.
- [9] Hylander W L. The functional significance of primate mandibular form [J]. *J Morphol*, 1979, 106: 223—240.

## BIOMECHANICAL SCALING OF MANDIBULAR DIMENSIONS OF *MACACA MULATTA* IN TAIHANG MOUNTAINS

LU Jiqi L ǐJiuquan XUE Deming QU Wenyuan

( Department of Biology, Henan Normal University, Xinxiang, 453002)

**Abstract :** By using Shao Xiangqing's methods (1985), a measurement, statistics and analysis of some mandibular variables of *Macaca mulatta* in Taihang Mountains was made. Furthermore, biomechanical scaling and allometric analysis was carried out, and the results showed, on the one hand, the mandibular variables are highly sexual different. The length of mandible in male is longer than in female, and the length from posterior border of the mandibular condyle to the central section of  $M_1$  and to the under-minipeak of  $M_3$ , the height of the mandibular branch is relative smaller in male than in female. On the other hand, the length and width of mandibular condyle, the height and width of mandibular body and the union length of mandible are strengthened in male then in female, thus, the ruminant forces get increase. This is closely related with the ecological strategy in *macaca mulatta* in Taihang Mountains. There has a comparison among the results of this paper to the rhesus macaque in other area in China, and showed that there were evident differences among them.

**Key words :** *Macaca mulatta* in Taihang Mountains; Mandible; Biomechanical scaling; Allometry