

邛崃山系3种主食竹单宁及营养成分含量 对大熊猫取食选择性的影响

张智勇¹ 王强² 付强³ 韩建伟¹ 张志毅¹ 李颖岳¹

(1 北京林业大学林木育种国家工程实验室, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室)

2 内蒙古自治区林业监测规划院 3 四川省鞍子河自然保护区)

摘要: 为了研究单宁和营养成分含量在大熊猫取食时对不同竹种以及竹种不同部位选择的影响, 本文在野外实地调查的基础上, 对邛崃山系鞍子河自然保护区的冷箭竹、拐棍竹、白夹竹这3种大熊猫主食竹种的单宁、粗蛋白以及钙、镁、铜、锌等矿质元素含量进行测定对比, 综合分析了不同主食竹种、不同营养器官以及不同部位中单宁和营养成分含量与大熊猫取食选择的相关性。结果表明: 1) 3种竹种相比较, 冷箭竹的单宁含量最低, 拐棍竹含量最高; 3种竹种中, 全竿单宁平均含量高于茎部含量, 各竹种的中、上部含量明显低于下部含量。2) 冷箭竹粗蛋白含量最高, 拐棍竹含量最低; 不同竹种间矿质元素含量差异较大, 主食竹的粗蛋白含量和锌元素含量都与大熊猫取食的断桩高度呈负相关性。3) 大熊猫趋向于选择单宁含量低而粗蛋白含量高的竹种及部位, 单宁含量和粗蛋白含量可以共同作为大熊猫对主食竹种以及主食竹不同部位取食的重要影响因子。

关键词: 主食竹; 单宁; 营养成分; 取食; 大熊猫

中图分类号: S718.43; Q959.838 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)06-0042-05

ZHANG Zhi-yong¹; WANG Qiang²; FU Qiang³; HAN Jian-wei¹; ZHANG Zhi-yi¹; LI Ying-yue¹.

Effects of tannin and nutrient elements in three species of staple food bamboo on giant panda herbivory tendency. *Journal of Beijing Forestry University* (2012) 34(6) 42-46 [Ch, 29 ref.]

1 National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Forestry Monitoring of Inner Mongolia Autonomous Region Planning Institute, Hohhot, 010020, P. R. China;

3 Anzihe Nature Reserve, Chongzhou, Sichuan, 611239, P. R. China.

To study the effects of tannin and nutrient elements in bamboo species and different parts on giant panda herbivory tendency, after field survey, samples from three species of staple food bamboo *Bashania fangiana*, *Fargesia robusta*, and *Phyllostachys bissetii* for giant panda from Anzihe Nature Reserve in Qionglai Mountain, southwestern China were collected. The contents of tannin, crude protein and some mineral elements, such as Ca, Mg, Zn, Cu, were measured. The correlations between the tendency of herbivory and tannin and other nutrient elements among different species, varied vegetative organs and different parts were analyzed. The conclusions were as follows: 1) *B. fangiana* had the lowest tannin content while *F. robusta* had the highest, and the tannin content in stem was the lowest when compared with other parts for all of the three. 2) In terms of some nutrient elements, significant differences among these three species were identified, and the *B. fangiana* had the highest content of crude protein while *F. robusta* had the lowest; and the correlations between the content of crude protein and Zn and the average height of stumps of culms grazed by panda were negative. 3) Giant panda preferred to eat the

收稿日期: 2012-02-03

基金项目: 国家林业局大熊猫国际合作项目(SD0601)。

第一作者: 张智勇。主要研究方向: 林木遗传育种。电话: 15201442432 Email: zhangzhiyong543@163.com 地址: 100083 北京市清华东路35号北京林业大学生物科学与技术学院。

责任作者: 李颖岳, 博士, 副教授。主要研究方向: 经济林育种。电话: 010-62336134 Email: yingyueli@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

species and the sites of bamboo which contained lower tannin and higher crude protein; the content of tannin and crude protein can be considered as important factors for giant panda to select the species and the sites of bamboo.

Key words taple food bamboo; tannin; nutrition elements; herbivory; giant panda

大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*) 是中国的珍稀保护动物,是世界生物多样性保护的旗舰物种^[1]。竹子是野生大熊猫摄取营养物质的主要来源^[2],野外大熊猫的食物99%以上是竹类。

单宁是植物保护自身免受食草动物干扰而产生的次生化合物^[3]。动物进食过程中,植物饲料中单宁的涩觉会降低动物的取食口感,进而对植食性动物的采食行为产生影响^[4],因此,单宁的含量被认为是影响饲料品质的一个重要因素^[5-7]。有研究^[8]认为,大熊猫对竹子的采食量随单宁含量递减而增加。竹子的营养成分含量能够反映其营养构成,有研究^[9-10]认为不同种主食竹的粗蛋白等营养成分含量有较大差异。蛋白质是构成生物体的基本物质,是生命的物质基础,既是生物有机体最重要的营养物质,也是各种酶、激素、抗体等的基本成分^[11];饲料研究中粗蛋白的含量往往是评价饲用性的重要依据^[12-13]。另外,作为野生大熊猫的主要食物来源,主食竹中的矿质元素是大熊猫的必需营养成分^[14-15]。

单宁和营养成分含量是否影响到大熊猫对不同竹种以及竹种不同部位的选择,尚无资料可考。本研究以邛崃山系鞍子河自然保护区中的白夹竹(*Phyllostachys bissefi*)、拐棍竹(*Fargesia robusta*)和冷箭竹(*Bashania fangiana*)这3种重要主食竹种为研究对象,在大熊猫野外取食的观测基础上,对3个竹种不同部位、不同营养器官样品的单宁含量、粗蛋白以及钙、镁、铜、锌等营养成分和矿质元素的含量进行分析对比,就其对大熊猫取食趋向的影响进行初步探索,为大熊猫主食竹的研究利用及保护工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

四川鞍子河自然保护区位于四川省成都市崇州市境内,地处邛崃山系东南支脉龙门山中段的东缘,盆地西缘峡谷地带,崇州市的西北边境。地理坐标为103°07′~103°17′ E, 30°45′~30°51′ N。境内最高海拔3 868 m,最低海拔1 638 m,一般山体相对高差多在800~1 200 m之间,但山体上部有不少平缓台地,为大熊猫经常活动地带。

保护区气候为中亚热带湿润季风气候区,山地气候类型,雨量充沛,雨期长,云雾多,日照少,湿度

大,风速小,年平均气温12.3℃。1月最低气温-8℃,平均温5℃;7月最高气温32.7℃,平均温25~28℃。年平均相对湿度为86%,年平均日照641.6 h,无霜期200~230 d。白夹竹、拐棍竹、冷箭竹生于海拔1 600~2 500 m之间,处于大熊猫主要活动、觅食范围。据野外调查资料显示,在邛崃山系,大熊猫对此3类竹种的取食占竹子取食量的绝大部分。

1.2 试验材料

以鞍子河自然保护区内生长于海拔1 650~2 300 m的一年生、多年生的白夹竹、拐棍竹和冷箭竹为研究材料。

1.2.1 设置样方

在前期野外观察的基础上,于2009年8月在鞍子河自然保护区大熊猫活跃区,分别在白夹竹、拐棍竹和冷箭竹竹林大熊猫取食痕迹处设置2 m×2 m的取食样方,每个竹种设置6个重复,同一竹种的2个样方之间至少间隔50 m。之后,紧贴着取食样方设立面积、形状和密度与取食样方相似的空白对照样方。

1.2.2 选取标准竿

测量空白样方中各竹种所有竹子的基径和高度,得出样方中竹子的平均竿高和平均基径,作为该竹种的标准竿。测量取食样方内熊猫取食后的竹子断桩的基径、高度,得出取食样本的平均基径和平均断桩高度。

1.2.3 样品采集

2010年8月初在各竹种样方周边随机选取符合条件的标准竿个体,每竹种50竿以上。分别采集各竹种一年生和多年生地上部分的全竿(包括竹茎、竹枝、竹叶)样本进行单宁含量测定,采集多年生3种主食竹种并分别对上部、中部和下部进行单宁含量、粗蛋白及矿质元素含量的测定。由于竹种不同,高度有所差异,具体的划分数据见表1。

表1 3种主食竹不同部位划分

Tab. 1 Division basis of different parts for bamboo species

竹种	竹竿高度	断桩高度	cm		
			下部	中部	上部
拐棍竹	200~240	60~70	0~70	70~150	150以上
白夹竹	200~240	60~70	0~70	70~150	150以上
冷箭竹	70~100	30~40	0~30	30~50	50以上

1.3 测定方法

竹子单宁含量的测定采用高粱测定的国际标准

法——柠檬酸铁铵法^[16-18],粗蛋白含量的测定采用凯氏法(GB/T 5511—2008),锰、铜、锌、铁、钙、镁等元素含量测定采用等离子体发射光谱法^[19-20]。

1.4 数据处理

数据处理采用 SPSS13.0 统计软件中的分析模块,对不同竿龄及3种主食竹种的不同部位的单宁、粗蛋白及矿质元素含量进行统计与方差分析、多重比较,对熊取食断桩高度与影响因子数据进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 单宁含量的对比

2.1.1 不同竹种、竿龄、全竿和茎单宁含量的比较

一年生、多年生3种主食竹种全竿和茎的单宁含量(相对于干物质中单宁酸质量分数)测定结果见图1。

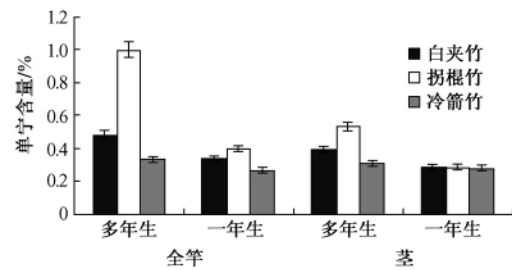


图1 不同竿龄的3种主食竹的全竿和茎部单宁含量对比图

Fig. 1 Tannin content of annual and perennial bamboo species

由图1可知:3种主食竹全竿单宁含量和茎单宁含量相比,均是多年生含量高于一年生;3种主食竹相比,冷箭竹单宁含量较低。为了进一步对比不同竹种、不同竿龄、全竿和茎单宁含量的差异性,对单宁含量百分数反正弦转化后进行三因素方差分析,结果见表2。

表2 不同竹种、竿龄、器官(全竿和茎)单宁含量方差分析

Tab. 2 ANOVA test of tannin content for different parts of annual and perennial bamboo species

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	Sig.
竹种	6.569 0	2	3.284 5	232.594 1	0.000 1 **
竿龄	6.118 0	1	6.118 0	433.244 6	0.000 1 **
器官	1.929 7	1	1.929 7	136.654 9	0.000 1 **
竹种 × 竿龄	3.068 9	2	1.534 4	108.661 1	0.000 1 **
竹种 × 器官	1.672 3	2	0.836 2	59.213 4	0.000 1 **
竿龄 × 器官	0.464 0	1	0.464 0	32.855 8	0.000 1 **
竹种 × 竿龄 × 器官	0.381 9	2	0.190 9	13.522 0	0.000 1 **
误差	0.338 9	24	0.014 1		
总和	20.542 7	35			

注: * 0.05 水平差异显著; ** 0.01 水平差异显著。下同。

由表2可知:单宁含量在竹种间、竿龄间、器官(全竿和茎)间的差异均极显著,并且各交互作用之间差异极显著,表明多年生竹子的单宁含量极显著的高于一年生竹子的单宁含量。这是由于多年生竹子生长周期相对较长,次生化合物的积累也随之增多;全竿的单宁平均含量极显著地高于茎的单宁含量,说明竹枝及竹叶中的单宁含量较高。

为了进一步探讨竹种之间单宁含量的差异,用LSD法对3种主食竹种单宁含量进行多重比较。结果表明3种主食竹中单宁含量差异均极显著,冷箭竹单宁含量最低,拐棍竹含量最高。

2.1.2 不同竹种茎上、中、下3部位单宁含量的比较

综合不同竹种竹竿高度,利用大熊猫取食后断桩高度作为划分竹竿上、中、下标准,并对3种主食竹种竹竿上、中、下3个部位单宁含量进行测定,结果见图2。

总的看来,各竹种中,竹竿上、中、下3个不同部位的单宁含量,以下部最多,中、上部相差不大,中部

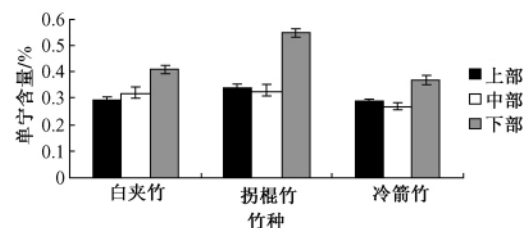


图2 3种主食竹上、中、下部单宁含量对比图

Fig. 2 Tannin content among different parts of bamboo species

略低。野外大熊猫取食竹子,会选择不同竹子的不同高度,从而留下竹子残桩和竹尖(上部丢弃部分)而取食竹竿中部^[21-22]。竹子下部单宁含量最高,适口性最差,中上部单宁含量显著低于下部,更适合食用,这与野外大熊猫的取食选择性一致。

2.2 粗蛋白及矿质元素含量的对比

2.2.1 不同竹种、不同部位粗蛋白含量的对比

对3种主食竹上、中、下3个部位粗蛋白含量进行双因素方差分析,结果见表3。

表 3 竹种间粗蛋白含量的方差分析
Tab.3 ANOVA test of crude protein content

among bamboo species				
变异来源	自由度	平方和	均方	F 值
竹种	2	47.732 7	23.866 3	21.870 5**
部位/竹种	6	6.547 5	1.091 3	1.764 0
误差	18	11.135 4	0.618 6	
总和	26	65.415 4		

方差分析结果表明,粗蛋白含量在竹种之间差异极显著;同一竹种不同部位之间差异不显著。用 LSD 法对竹种间粗蛋白含量进行多重比较,结果表

表 4 不同竹种、不同部位矿质元素含量分析

Tab.4 Analysis of element content among bamboo species and different parts of bamboo $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

矿质元素	白夹竹			拐棍竹			冷箭竹		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下
Ca	172.24a	136.66a	70.39b	189.92a	87.32b	181.49a	194.78a	142.55a	173.95a
Mg	165.45a	149.45a	55.73b	139.84a	53.52b	114.58a	121.17a	126.02a	160.01a
Cu	3.89a	3.46a	2.97a	1.83b	1.20b	4.94a	3.04a	2.58a	3.80a
Fe	16.37b	15.79b	36.92a	22.78b	17.82b	117.54a	26.80a	25.48a	30.64a
Mn	1.75a	1.32b	0.55c	8.06b	4.36c	73.41a	14.95b	16.56a	14.44b
Zn	12.80a	10.79a	5.72b	13.01b	6.43c	39.47a	14.06b	13.91b	19.95a

注:同行同一竹种不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

3 个竹种相比,除 Ca 元素外,其他各元素含量在竹种之间均有显著差异(表 5)。李红等^[23]、王强^[24]研究认为竹子对矿质元素的吸收与基因调控有关,因此矿质元素含量的区别具有种的差异性。

2.2.3 取食模式与元素含量的相关分析

应用 SPSS13.0 统计软件相关分析模块对各竹种的大熊猫取食断桩高度与粗蛋白、锰、锌、镁元素含量进行相关分析,得到熊猫取食断桩高度与营养成分因子的相关系数矩阵,结果见表 6。

表 6 取食断桩高度与各影响因子相关分析

Tab.6 Comparison between the average height of stumps of culms and some affecting factors

因 子	断桩高度均值	粗蛋白含量	锰元素含量	锌元素含量	镁元素含量
断桩高度均值	<i>r</i>	1	-0.980**	-0.510	-0.590*
	Sig.		0.000	0.080	0.047
粗蛋白含量	<i>r</i>	-0.980**	1	0.488	0.611*
	Sig.	0.000		0.091	0.040
锰元素含量	<i>r</i>	-0.510	0.488	1	0.643*
	Sig.	0.080	0.091		0.031
锌元素含量	<i>r</i>	-0.590*	0.611*	0.643*	1
	Sig.	0.047	0.040	0.031	
镁元素含量	<i>r</i>	-0.063	0.046	-0.060	0.181
	Sig.	0.436	0.453	0.439	0.032

由表 6 可知:各测定的营养成分和矿质元素中,影响邛崃山系大熊猫取食选择性的主导因子是粗蛋白含量和锌元素含量;二者都与熊猫取食的断桩高度呈负相关性,即二者含量越大取食断桩高度越小,含量越小取食断桩高度越大。表明大熊猫趋向于取食粗蛋白和锌元素含量高的竹子或竹子的部位。

明 3 个竹种粗蛋白含量两两之间差异均极显著,其中冷箭竹含量最高而拐棍竹含量最低。

2.2.2 不同竹种、不同部位矿质元素含量的对比

分别对 3 种主食竹上、中、下 3 个部位矿质元素含量以及竹种之间元素含量进行方差分析和用 LSD 法多重比较,结果表明:不同竹种中,冷箭竹各个部位矿质元素含量相差不大,只有 Mn、Zn 2 种元素具有部位之间的差异性;白夹竹除 Cu 元素外,各元素含量在不同部位均差异显著;拐棍竹的各元素含量在不同部位均差异显著(表 4)。

表 5 竹种间矿质元素含量对比

Tab.5 Element content among bamboo species $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

矿质元素	白夹竹	拐棍竹	冷箭竹
Ca	656.81a	824.20a	736.13a
Mg	463.19a	311.44b	460.96a
Cu	5.42b	9.35a	4.40b
Fe	85.93b	136.25a	46.94c
Mn	42.26a	14.91b	11.70b
Zn	16.71b	22.84a	26.82a

注:同行不同竹种不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

3 结论与讨论

3 种主食竹相比,冷箭竹单宁含量低而粗蛋白含量高,冷箭竹正是邛崃山系大熊猫取食的优选竹种;主食竹中单宁的含量和粗蛋白含量与大熊猫取食部位的选择有一定相关性,大熊猫趋向于选择单

宁含量低而粗蛋白含量高的竹子部位。饲料研究中粗蛋白的含量是评价饲用性的重要依据,因此,在以往大熊猫主食竹营养成分的相关研究中,对粗蛋白含量的研究相对较多^[25-27]。由于植物中单宁的涩觉会降低动物的取食口感,进而对植食性动物的采食行为产生影响。本研究也发现,大熊猫更倾向于选择单宁含量低的竹种和竹子部位进行取食。以往对大熊猫主食竹的研究中,对不同竹种、不同部位单宁含量的研究相对匮乏;今后的研究中,可以考虑把单宁含量和粗蛋白含量共同作为大熊猫对主食竹以及主食竹不同部位取食选择性的影响因子。

野外大熊猫对竹种的选择与取食受多因素共同影响,与季节变化、竹林密度、竿龄、竹子粗细等多项指标相关,本研究通过对不同竹种、竿龄以及竹种不同部位内含物含量的比较,从营养角度揭示大熊猫取食选择的倾向性,可以为人工驯养大熊猫的竹种选择、饲料配比提供依据。矿质元素对大熊猫健康和维持生命活动具有重要的作用,镁元素能够增加神经肌肉的兴奋性来增加大熊猫的活动性;缺乏锌元素会直接和间接导致大熊猫体质下降;锰元素是维持动物性功能的必要元素^[19-20]。因此,大熊猫对矿质元素的摄取对于其生存和保护都具有重要的意义,相关研究也进一步为大熊猫的圈养科学配料提供必要的资料依据。试验所涉及的各种矿质元素中,锌元素含量与大熊猫取食部位的选择具有一定的相关性,今后应进一步研究这种选择的趋向性与竹种自身物质的相关性。

在野生大熊猫取食的相关研究中发现,大熊猫在其觅食地留下容易辨识的竹子残桩,成为人们了解大熊猫食物选择特性的基础,测定被食竹子的基茎、残桩高度等参数可用以估测大熊猫的取食特性、食物利用率和取食量等研究指标^[28-29]。本研究中利用大熊猫取食后不同竹种竹子断桩的高度作为取食部位的划分依据,从而比较不同部位单宁、粗蛋白以及各种营养成分含量的差异性,得出了一定的规律性,这种研究方法可以应用于今后的深入研究中,进一步揭示大熊猫主食竹内含物与大熊猫取食倾向的相关性。

参 考 文 献

- [1] 周世强,黄金燕. 大熊猫主食竹种的研究与进展[J]. 世界竹藤通讯, 2005, 3(1): 1-6.
- [2] 胡锦鑫. 大熊猫生物学研究与进展[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990.
- [3] 孙达旺. 植物单宁化学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 13-14.
- [4] 唐稚英, 陈凤英, 孙中武, 等. 竹子与大熊猫的营养[J]. 野生动物, 1983, 5(1): 1-4.
- [5] 刁其玉. 单宁的最新研究动态[J]. 饲料研究, 1999, 11(11): 28.
- [6] 朱南山, 张彬, 李丽立. 单宁的抗营养作用机理及处理措施[J]. 中国饲料, 2006(17): 26-29.
- [7] 李雪莹, 王文杰, 武永刚. 植物单宁的生理作用及经济价值[J]. 西部林业科学, 2005, 34(1): 66-69.
- [8] 赵晓虹, 刘广平, 马泽芳. 竹子中单宁含量的测定及其对大熊猫采食量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 67-71.
- [9] 莫晓燕, 冯怡, 冯宁, 等. 圈养秦岭大熊猫两种主食竹中元素含量初探[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(6): 95-98.
- [10] 刘冰. 秦岭大熊猫主食竹及其特性研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [11] 徐国恒. 蛋白质分子的结构与功能[J]. 生物学通报, 2010, 45(3): 24-26.
- [12] 韩友文. 饲料与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [13] 张吉旺, 胡昌浩, 王空军, 等. 不同类型玉米品种饲用营养价值比较[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 951-954.
- [14] 王曙光, 普晓兰, 丁雨龙, 等. 云南箭竹不同地理种源竹笋营养成分之比较[J]. 竹种研究汇刊, 2009, 28(1): 35-38.
- [15] 付其如, 温玉田, 王安群, 等. 大熊猫主食竹种微量元素研究[J]. 南充师院学报, 1988, 9(3): 169-175.
- [16] 郇睿, 张崇玉. 高粱单宁测定方法比较分析[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(6): 38-39.
- [17] 任建军. 高粱中单宁含量的测定分析[J]. 食品工业科技, 2006, 27(2): 175-176.
- [18] 范璐, 霍权叔, 周展明, 等. 高粱中单宁含量测定方法的研究[J]. 中国粮油学报, 2001, 16(2): 13-17.
- [19] 汪树理, 陈颖, 王艳梅. 东北刺人参氨基酸、元素含量的测定[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 15243-15245.
- [20] 孙宜然, 张泽钧, 李林祥, 等. 秦岭巴山木竹微量元素及营养成分分析[J]. 兽类学报, 2010, 30(2): 223-228.
- [21] 张颖溢, 龙玉, 王昊, 等. 秦岭野生大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 的觅食行为[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2002, 38(4): 478-486.
- [22] 周世强, 黄金燕, 李伟, 等. 野化培训大熊猫利用后拐棍竹残桩与丢弃部分的关系[J]. 林业调查规划, 2006, 31(2): 88-92.
- [23] 李红, 周洪群. 低山平坝大熊猫的五种主食竹四种微量元素含量[J]. 西南农业学报, 1997, 10(2): 90-93.
- [24] 王强. 邛崃山系三种大熊猫主食竹种更新对比研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [25] 刘冰, 樊金拴, 胡桃, 等. 秦岭大熊猫主食竹氨基酸含量的测定及营养评价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(21): 9024-9026.
- [26] 刘选珍, 李明喜, 余建秋. 圈养大熊猫主食竹的氨基酸分析[J]. 经济动物学报, 2005, 9(1): 30-34.
- [27] 何东阳. 大熊猫取食竹选择、消化率及营养和能量对策的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010: 35-37.
- [28] 魏辅文, 周材权, 胡锦鑫, 等. 马边大风顶自然保护区大熊猫对竹类资源的选择利用[J]. 兽类学报, 1996, 16(3): 171-175.
- [29] 周材权, 胡锦鑫, 魏辅文, 等. 马边大风顶自然保护区大熊猫对食物利用率的估算及其在日食量测算中的应用[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998: 15-19.

(责任编辑 董晓燕)