

# 圈养大熊猫食谱组成与营养成分分析

袁施彬<sup>1\*</sup> 屈元元<sup>1</sup> 张泽钧<sup>1</sup> 赵金刚<sup>1</sup> 侯蓉<sup>2\*</sup> 王海瑞<sup>2</sup>

(1 西华师范大学, 大熊猫自然保护与文化研究中心, 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 南充 637009)

(2 成都大熊猫繁育研究基地, 成都 610081)

**摘要:** 为了探讨圈养大熊猫主食竹食谱组成及主要影响因素, 并为圈养单位提供科学合理的食物营养配比和饲养管理建议。本研究通过对成都大熊猫繁育研究基地 10 只成年大熊猫 4 年 (2009.03 - 2013.02) 的饲养数据, 3 只成年大熊猫 1 年 (2012.07 - 2013.06) 的觅食行为观察数据, 以及投饲的 3 种竹笋和 5 种主食竹常规养分和总黄酮含量的统计分析。结果发现, 基地圈养大熊猫偏好竹笋, 喜食巴山木竹叶、白夹竹茎和苦竹茎, 随机采食箬竹叶和刺竹茎; 基地大熊猫根据投饲竹种类和季节的变化, 形成了较为稳定的食谱组成; 对投饲竹各部位成分比较分析发现, 投饲竹养分含量的变化呈现出一定的规律性: 其中粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比都以竹叶最高, 竹枝次之, 竹茎最低; 干物质和粗纤维的含量则以竹茎最高, 竹枝次之, 竹叶最少; 竹茎和竹枝呈现钙少磷多的现象, 而竹叶则是钙多磷少; 各投饲竹不同部位总黄酮含量以叶中最高, 枝中其次, 茎中最低。研究表明, 圈养大熊猫主食竹食谱的选择遵循能量和营养学的规律, 选择适口性强、营养价值高的食物假说。

**关键词:** 大熊猫; 主食竹; 营养成分; 总黄酮; 食谱

中图分类号: Q493.99

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2015) 01 - 0065 - 09

## Composition and nutrient analysis of captive giant panda diet

YUAN Shibin<sup>1\*</sup>, QU Yuanyuan<sup>1</sup>, ZHANG Zejun<sup>1</sup>, ZHAO Jingang<sup>1</sup>, HOU Rong<sup>2\*</sup>, WANG Hairui<sup>2</sup>

(1 Giant Panda Conservation and Culture Research Center, Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

(2 Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In order to provide a reasonable feeding proposal for captive giant pandas in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding, we collected feeding data of 10 adult giant pandas (5 males and 5 females) during the past 4 years, observed foraging behaviors of 3 male adults for more than 1 year, and analysed nutrients and total flavonoids of food supplied. The results indicated that the giant pandas ingested about 10 main food bamboos and 3 bamboo shoots, and most preferred for *Bashania faberi* (the feeding duration was 232.5 days), followed by *Phyllostachys nidularia* (the feeding duration was 134.5 days) and then by shoots of *Qiongzhuoia opienensis*, *Phyllostachys nidularia* and *Chimonobambus quadrangularis* (the total feeding duration was 114.7 days). Judging from bamboos ingested and their seasonal foraging habits, giant pandas have developed relatively stable diet selection. The nutrient content of feeding bamboos has a certain regularity: the crude protein, crude fat, protein to energy ratio, calcium and total flavonoids concentrations of bamboo leaves were the highest, but dry matter, crude fiber and phosphorus contents of branches and stems were the highest. We found that palatability, nutrient composition and content of total flavonoids of the main food bamboos are confirmed as the main factors influencing diet composition of captive giant panda at the research base.

**Key words:** Diet composition; Giant panda; Main bamboo; Nutrient; Total flavonoids

大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 属于食肉动物, 但在漫长的进化历史中其食性已经高度特化为

**基金项目:** 国家科技支撑计划项目 (2012BAC01B06); 国家自然科学基金项目 (31270570, 31470462); 西华师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室开放基金项目 (XNYB11-4)

**作者简介:** 袁施彬 (1971 - ), 女, 副教授, 主要从事野生动物营养生态学研究。

**收稿日期:** 2014 - 05 - 05; **修回日期:** 2014 - 11 - 24

\* 通讯作者, Corresponding authors, E-mail: yshibin@sina.com; hourong2000@yahoo.com

以竹子为食（食谱组成中 99% 是竹子）。由于竹子是低营养高纤维的食物资源，且大熊猫仍然保持食肉类相似的消化系统（胡锦涛等，1985），因此，大熊猫对竹子具有很低的消化效率。为了适应严峻的营养和代谢的限制，以满足维持其生长、发育和繁殖的营养和能量需要，大熊猫不仅需要觅食行为方面采取最优化的觅食对策以便从食物中获取更多的营养和能量，且在活动节律和能量代谢方面采取一系列的适应对策以降低能量的消耗。大量的研究发现，不同山系的野生大熊猫在不同的季节分别采食不同的竹种、竹子的不同部位以及通过季节性的海拔垂直迁移以获取更有营养价值的竹子资源（胡锦涛等，1985；魏辅文等，1996a, 1996b；易同培，1997；潘文石等，2001）。野外大熊猫这种季节性食性变化是其长期进化的结果，也是适应竹子这种多年生植物营养成分周期性变化的结果。圈养大熊猫地处低山平坝区，由于地理位置的限制，采食竹类主要靠人为选择和供应（刘选珍等，2001），因此无法像野生种群那样随时获得丰富的竹子资源。那么，在面对人工投饲的各种竹类时，大熊猫是否还遵循能量和营养学的规律，选择适口性强、营养价值高的食物呢？通过对投饲竹种大宗营养成分和次生代谢产物的研究，可以为圈养种群

提供优化的食谱组成，充足的养分摄入以满足其生存、繁衍的需要，以及为异地保护大熊猫的饲养管理和营养配比提供科学合理的建议。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地概述

成都大熊猫繁育研究基地（简称“基地”）是中国大熊猫异地保护的重要场所。基地位于四川成都市北郊（北纬 30°40'12"，东经 104°3'36"），气候宜人，四季分明，全年平均气温 16℃ 左右。春季为 3-5 月，平均气温在 13.6℃ - 15.1℃；夏季为 6-8 月，平均气温在 23.2℃ - 24.6℃；秋季为 9-11 月，平均气温在 16.3℃ - 17.6℃；冬季为 12 月至次年 2 月，平均气温在 6.2℃ - 7.7℃（王亚超，2007）。

### 1.2 材料与方法

#### 1.2.1 饲养数据的收集和整理

试验大熊猫基本信息见表 1。查阅基地 2009 年 3 月至 2013 年 2 月（4 年）10 只成年大熊猫（分别为五一、美兰、娇小、幸浜、勇勇、成绩、奇珍、奇缘、庆贺、蜀庆）的饲养记录，统计全年 4 个季度基地大熊猫投饲竹种类和投饲时长。

表 1 试验大熊猫基本信息表

Table 1 The basic information of the tested pandas in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding (Chenpanda)

呼名 Name	系谱号 Stud#	性别 Sex	出生时间 Birth date	出生地 Birth origin	现在圈养地 Location	健康状况 Health condition
五一 Wuyi	630	雄性 Male	2006. 8. 7	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
美兰 Meilan	649	雄性 Male	2006. 9. 6	美国亚特兰大动物园 Atlanta, USA	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
娇小 Jiaoxiao	646	雄性 Male	2006. 8. 31	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
勇勇 Yongyong	584	雄性 Male	2004. 8. 26	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
幸浜 Xingbang	614	雄性 Male	2005. 8. 23	日本歌山白浜野生动物园 Wakayama, Japan	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
成绩 Chengji	523	雌性 Female	2000. 9. 11	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
奇珍 Qizhen	490	雌性 Female	1999. 9. 4	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
奇缘 Qiyuan	491	雌性 Female	1999. 9. 4	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
庆贺 Qinghe	537	雌性 Female	2001. 9. 24	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health
蜀庆 Shuqing	480	雌性 Female	1999. 8. 3	成都基地 Chenpanda, China	成都基地 Chenpanda, China	健康 Health

### 1.2.2 投喂实验

2012 年 7 月至 2013 年 6 月在基地对 3 只成年雄性大熊猫（五一、美兰和娇小）进行投喂实验。采用基地 3 种投喂竹（三月竹 *Qiongzhueta opienenss*，白夹竹 *Phyllostachys nidularia* 和方竹 *Chimonobambus quadrangularis*）竹笋和 5 种投喂竹（巴山木竹 *Bashania faberi*，白夹竹，苦竹 *Pleioblastus maculata*，刺竹 *Chimonobambus pachystachys* 和箬竹 *Indocalamus longiauritus*）进行投喂实验（何东阳，2010），观察大熊猫的取食情况和统计每种投喂竹的取食量。

### 1.2.3 投喂竹样品采集与成分分析

#### 1.2.3.1 样品采集

每月连续 4 天采集基地当天投喂的新鲜竹子样品（竹叶、竹枝、竹秆、竹笋），每份样品重 200 g（笋样品为 1 000 g），及时送实验室烘干、粉碎、过筛得风干分析样品，-20℃ 保存，待测。

#### 1.2.3.2 养分分析

养分分析在西华师范大学生命科学学院野生动物营养生态实验室完成。分别采用烘干法测定样品干物质（Dry matter, DM），氧弹式热量计测热法（PARR 6400 Calorimeter）测定总能（Gross energy, GE），凯氏定氮法（海能 K1100 全自动凯氏定氮仪，山东海能仪器）测定粗蛋白（Crude protein, CP），索氏提取法（海能 SOX500 脂肪抽提仪，山东海能仪器）测定脂肪（Ether extract, EE），酸碱消煮法（ANKOM A200i 型半自动纤维分析仪，美国 ANKOM 公司）测定粗纤维（Crude fiber, CF），灰化法（Thermo Scientific Lindberg/Blue M Moldatherm 1 100℃ 箱式马弗炉）测定粗灰分（Ash），EDTA 快速滴定法测定钙（Calcium, Ca），钼黄比色法（UV5100B 紫外可见分光光度计，上海元析仪器有限公司）测定磷（Phosphorus, P）（张丽英，2003）；总黄酮（Total flavonoids, TF）

的测定用氧化铝法，以芦丁为对照品，测定波长 520 nm（李瑶等，2006）。

### 1.2.4 数据处理和分析

采用 Vanderloeg 和 Scavia 选择系数 ( $W_i$ ) 和选择指数 ( $E_i$ )， $W_i = (r_i p_i) / \sum (r_i p_i)$ ； $E_i = (W_i - 1/n) / (W_i + 1/n)$ （Lechowicz, 1982），衡量大熊猫对食物喜食程度。其中  $i$  为特征值， $n$  为特征值总数， $p_i$  为环境中具  $i$  特征的竹子数量， $r_i$  为大熊猫所采食具有  $i$  特征的竹子数量。 $-1 \leq E_i \leq 1$ ；若  $E_i < 0$  表示不喜食， $E_i = -1$  表示拒食， $E_i = 0$  为随机选择， $E_i > 0$  为喜食， $E_i = 1$  为专食。

采用 IBM SPSS Statistics 19.0 对数据进行统计和相关分析。结果用平均值 ± 标准差（Mean ± SD）表示。使用 Shapiro-Wilk（小样本量， $n < 500$ ）对数据的正态性分布进行检验，符合正态性分布的数据使用 One-way ANOVA，非正态分布的使用 Kruskal-Wallis H (K) 检验。采用 Pearson 相关分析投喂竹的摄食比例与其所含养分之间的相关关系，双尾检验，相关系数  $< 0$  表示负相关， $> 0$  表示正相关，显著水平  $< 0.05$  表示显著相关， $< 0.01$  表示极显著相关。

## 2 结果

### 2.1 投喂竹种类、投喂时长及四季食谱组成

基地全年投喂竹笋有 3 种，分别是三月竹笋、白夹竹笋和方竹笋；全年投喂竹主要有 5 种，分别是巴山木竹、白夹竹、苦竹、刺竹和箬竹。春季主要投喂三月竹笋，春末和夏季投喂白夹竹笋，夏末和秋初投喂方竹笋，3 种竹笋年投喂时长为 114.7 d。在所有的投喂竹中，以巴山木竹投喂时间最长，从当年的 6 月下旬持续到次年 3 月中旬，年投喂时长为 232.5 d；白夹竹投喂时长次之，从年初持续到 10 月中旬，年投喂时长为 134.5 d；冬季和春季补充投喂苦竹、箬竹和刺竹（表 2）。

表 2 投喂竹种类、时段及投喂时长统计表

Table 2 Statistics of the species, times and feeding duration of feeding bamboos in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding

竹种 Species	方竹笋 <i>C. quadrangularis</i> shoot	白夹竹笋 <i>P. nidularia</i> shoot	三月竹笋 <i>Q. opienenss</i> shoot	巴山木竹叶 <i>B. faberi</i> leaf	箬竹叶 <i>I. longiauritus</i> leaf	刺竹茎 <i>C. pachystachys</i> stem	白夹竹茎 <i>P. nidularia</i> stem	苦竹茎 <i>P. maculata</i> stem	Z	P
投喂时段 Feeding times	8.6 - 10.22	4.22 - 7.2	2.5 - 5.24	6.23 - 3.19	11.18 - 3.10	10.31 - 3.4	1.1 - 10.12	11.17 - 4.8		
摄食时长 Foraging duration (day)	53.17 ± 14.36	46.33 ± 9.75	15.16 ± 3.23	232.5 ± 27.90	41.00 ± 12.92	91.67 ± 24.5	134.5 ± 24.74	52.33 ± 13.29	52.474	< 0.001

基地圈养大熊猫偏好采食各种竹笋，喜食巴山木竹、白夹竹和苦竹，随机采食箬竹和刺竹；对投饲竹的不同部位存在选择性，巴山木竹和箬竹几乎只采食竹叶，鲜见采食竹茎或竹枝；白夹竹、苦竹和刺竹主要采食其竹茎，少见采食竹枝和竹叶；在有竹笋时，大熊猫几乎不会选择其他竹种及部位（表3）。

表3 大熊猫对不同投饲竹的选择及相应的取食部位

Table 3 Selection of different bamboos and parts by captive pandas in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding

竹种 Species	E <sub>i</sub>	选择 Selection	取食部位 Feeding part
方竹笋 <i>C. quadrangularis</i> shoot	0.83	EP	全株 Whole shoots
白夹竹笋 <i>P. nidularia</i> shoot	0.85	EP	全株 Whole shoots
三月竹笋 <i>Q. opienenss</i> shoot	0.81	EP	全株 Whole shoots
巴山木竹 <i>B. faberi</i>	0.76	P	叶 Leaves
箬竹 <i>I. longiauritus</i>	0.19	R	叶 Leaves
刺竹 <i>C. pachystachys</i>	0.28	R	枝和茎 Branches and stems
白夹竹 <i>P. nidularia</i>	0.70	P	枝和茎 Branches and stems
苦竹 <i>P. maculata</i>	0.67	P	枝和茎 Branches and stems

EP: 极喜食; P: 喜食; R: 随机  
EP: Extreme preference; P: Preference; R: Random

根据各投饲竹种投饲时间、年投饲时长和各部位喜食程度分析发现，基地圈养大熊猫形成了较为稳定的四季食谱。即：春季主食三月竹笋和白夹竹茎，补食箬竹叶、刺竹茎和苦竹茎；夏季主食白夹竹笋、巴山木竹叶和白夹竹茎；秋季主食方竹笋、巴山木竹叶和白夹竹茎；冬季主食巴山木竹叶和苦竹茎，补食箬竹叶和刺竹茎。

2.2 主食竹笋常规养分比较分析

3种竹笋中以三月竹笋的粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比（Protein to energy ratio, PER）含量最高，粗纤维含量最低；3种竹笋都呈现出钙少磷多的现象（表4）。

2.3 投饲竹及各部位常规养分比较分析

竹子各部位养分含量的变化呈现出一定的规律性。其中粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比都以竹叶最高，竹枝次之，竹茎最低；干物质和粗纤维的含量则以竹茎最高，竹枝次之，竹叶最少；对于竹子各部位钙、磷分析发现，竹茎和竹枝呈现钙少磷多的现象，而竹叶则是钙多磷少（表5）。竹叶钙磷比例为 1.81 - 5.64:1，竹茎钙磷比例为 0.50 - 0.60:1，竹枝钙磷比例为 0.50 - 1.00:1。

表4 3种主食竹笋常规养分比较分析结果（干物质基础）

Table 4 Nutrients of three staple food bamboo shoots in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding (DM base)

竹种类 Species of bamboos	干物质 DM (%)	粗蛋白 CP (%)	粗脂肪 EE (%)	粗纤维 CF (%)	粗灰分 Ash (%)	能量 GE (MJ/kg)	蛋白质和能量比 PER (g/MJ)	钙 Ca (%)	磷 P (%)
三月竹笋 <i>Q. opienenss</i> shoot	8.32 ± 0.40 <sup>Aa</sup>	32.99 ± 2.31 <sup>a</sup>	2.81 ± 0.42 <sup>Aa</sup>	17.25 ± 2.66	12.31 ± 1.08	18.43 ± 0.39	17.65 ± 1.26 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.66 ± 0.06
白夹竹笋 <i>P. nidularia</i> shoot	9.09 ± 0.68 <sup>Bb</sup>	31.08 ± 2.14 <sup>ab</sup>	2.41 ± 0.41 <sup>ABab</sup>	18.23 ± 0.77	12.26 ± 0.55	18.37 ± 0.40	17.06 ± 1.30 <sup>ab</sup>	0.19 ± 0.13 <sup>Ab</sup>	0.6 ± 0.06
方竹笋 <i>C. quadrangularis</i> shoot	6.84 ± 0.62 <sup>Cc</sup>	28.62 ± 5.41 <sup>b</sup>	2.09 ± 0.73 <sup>Bb</sup>	19.43 ± 4.87	11.69 ± 1.87	18.59 ± 0.45	15.29 ± 3.36 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.10 <sup>Bb</sup>	0.64 ± 0.06

同一列肩注不同小写字母表示差异 (P < 0.05)，肩注不同大写字母表示差异极显著 (P < 0.01)

At the same line without a common superscript lowercase differ, P < 0.05, a common superscript majuscule significant differ, P < 0.01. DM: Dry matter; CP: Crude protein; EE: Ether extract; CF: Crude fiber; GE: Gross energy; PER: Protein to energy ratio

2.4 主要投饲竹及竹笋总黄酮比较分析

对基地主要投饲竹及各部位总黄酮的分析结果表明，各投饲竹笋、叶、枝中总黄酮的含量差异显

著 (P < 0.05)。各投饲竹中总黄酮含量都以叶中最高，与其它各部位总黄酮含量差异达到极显著的水平 (P < 0.01)。3种投饲竹笋总黄酮含量以三月

表 5 5 种主食竹营养成分比较分析(干物质基础)

Table 5 Nutrients of staple food bamboo in Chengde Research Base of Giant Panda Breeding(DM base)

竹种类 Species	部位 Organ	干物质 DM(%)	粗蛋白 CP(%)	粗脂肪 EE(%)	粗纤维 CF(%)	粗灰分 Ash(%)	能量 GE(MJ/kg)	蛋白质和能量比 PER(g/MJ)	钙 Ca(%)	磷 P(%)
巴山木竹 <i>B. fabri</i>	茎 Stem	47.13 ± 8.93 <sup>Aa</sup>	2.70 ± 0.74 <sup>Aa</sup>	0.80 ± 0.86 <sup>Aa</sup>	56.48 ± 4.37 <sup>Aa</sup>	2.13 ± 0.68 <sup>Aa</sup>	19.44 ± 0.35 <sup>Aa</sup>	1.39 ± 0.23 <sup>Aa</sup>	0.09 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	0.18 ± 0.19
	枝 Branch	39.53 ± 7.22 <sup>Bab</sup>	5.60 ± 1.15 <sup>Bb</sup>	1.22 ± 0.88 <sup>Aa</sup>	41.83 ± 3.69 <sup>Bb</sup>	6.04 ± 1.07 <sup>Bb</sup>	18.79 ± 0.44 <sup>Bb</sup>	2.95 ± 0.31 <sup>Bb</sup>	0.16 ± 0.10 <sup>Aa</sup>	0.23 ± 0.17
	叶 Leaf	37.56 ± 6.34 <sup>Bb</sup>	15.93 ± 1.32 <sup>Cc</sup>	3.03 ± 0.96 <sup>Bb</sup>	28.78 ± 3.61 <sup>Cc</sup>	9.29 ± 2.15 <sup>Cc</sup>	19.21 ± 0.48 <sup>Aa</sup>	8.45 ± 0.36 <sup>Cc</sup>	0.49 ± 0.08 <sup>Bb</sup>	0.27 ± 0.14
白夹竹 <i>P. nidularia</i>	茎 Stem	59.49 ± 7.37 <sup>Aa</sup>	1.97 ± 0.38 <sup>Aa</sup>	0.48 ± 0.21 <sup>Aa</sup>	52.43 ± 1.20 <sup>Aa</sup>	1.16 ± 0.29 <sup>Aa</sup>	19.61 ± 0.26 <sup>Aa</sup>	1.00 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.05 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.10 ± 0.11 <sup>ab</sup>
	枝 Branch	56.81 ± 7.10 <sup>Ab</sup>	3.43 ± 0.33 <sup>Bb</sup>	1.08 ± 0.42 <sup>Aa</sup>	44.11 ± 0.66 <sup>Bb</sup>	2.51 ± 0.42 <sup>Bb</sup>	19.47 ± 0.12 <sup>ab</sup>	1.75 ± 0.07 <sup>Ab</sup>	0.06 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	0.06 ± 0.04 <sup>a</sup>
	叶 Leaf	48.04 ± 6.88 <sup>Bb</sup>	14.36 ± 0.99 <sup>Cc</sup>	2.76 ± 0.66 <sup>Bb</sup>	26.69 ± 2.07 <sup>Cc</sup>	10.44 ± 2.13 <sup>Cc</sup>	19.11 ± 0.31 <sup>b</sup>	7.41 ± 0.31 <sup>Bc</sup>	0.79 ± 0.17 <sup>Bb</sup>	0.14 ± 0.06 <sup>b</sup>
苦竹 <i>P. maculata</i>	茎 Stem	53.07 ± 6.13 <sup>Aa</sup>	1.42 ± 0.46 <sup>Aa</sup>	0.69 ± 0.78 <sup>Aa</sup>	54.83 ± 2.09 <sup>Aa</sup>	2.40 ± 0.61 <sup>Aa</sup>	19.28 ± 0.25	1.02 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	0.11 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	0.20 ± 0.24
	枝 Branch	47.48 ± 6.04 <sup>Ab</sup>	3.43 ± 1.64 <sup>Bb</sup>	1.43 ± 1.07 <sup>Aa</sup>	44.76 ± 3.95 <sup>Bb</sup>	4.90 ± 1.05 <sup>Bb</sup>	19.22 ± 0.32	2.84 ± 0.63 <sup>Bb</sup>	0.15 ± 0.08 <sup>Aa</sup>	0.26 ± 0.19
	叶 Leaf	38.21 ± 5.90 <sup>Bb</sup>	17.35 ± 1.5 <sup>Cc</sup>	2.81 ± 0.89 <sup>Bb</sup>	26.78 ± 1.24 <sup>Cc</sup>	11.5 ± 3.07 <sup>Cc</sup>	18.98 ± 0.32	8.92 ± 0.75 <sup>Cc</sup>	0.52 ± 0.14 <sup>Bb</sup>	0.17 ± 0.05
刺竹 <i>C. pachystachys</i>	茎 Stem	41.19 ± 4.39	4.31 ± 1.32 <sup>Aa</sup>	0.58 ± 0.39 <sup>Aa</sup>	54.51 ± 1.71 <sup>Aa</sup>	2.40 ± 0.61 <sup>Aa</sup>	19.32 ± 0.50	2.24 ± 0.70 <sup>Aa</sup>	0.06 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.10 ± 0.12 <sup>Aa</sup>
	枝 Branch	38.17 ± 1.97	7.48 ± 0.56 <sup>Bb</sup>	0.80 ± 0.40 <sup>Aa</sup>	41.47 ± 3.85 <sup>Bb</sup>	4.90 ± 1.05 <sup>Bb</sup>	19.04 ± 0.30	3.94 ± 0.38 <sup>Bb</sup>	0.21 ± 0.09 <sup>Ab</sup>	0.52 ± 0.30 <sup>Bb</sup>
	叶 Leaf	36.07 ± 4.32	20.25 ± 1.25 <sup>Cc</sup>	2.12 ± 0.62 <sup>Bb</sup>	24.02 ± 1.42 <sup>Cc</sup>	11.5 ± 3.07 <sup>Cc</sup>	18.99 ± 0.43	10.3 ± 1.07 <sup>Cc</sup>	0.73 ± 0.23 <sup>Bc</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
簕竹 <i>I. longicaulis</i>	茎 Stem	47.84 ± 4.89 <sup>A</sup>	2.60 ± 0.18 <sup>Aa</sup>	0.90 ± 1.15 <sup>Aa</sup>	54.17 ± 0.19 <sup>Aa</sup>	2.54 ± 0.29 <sup>Aa</sup>	18.78 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	1.39 ± 0.09 <sup>Aa</sup>	0.09 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.15 ± 0.12 <sup>ab</sup>
	枝 Branch	38.83 ± 1.04 <sup>B</sup>	4.42 ± 0.83 <sup>Bb</sup>	3.45 ± 0.27 <sup>Bb</sup>	41.50 ± 2.89 <sup>Bb</sup>	6.17 ± 0.73 <sup>Bb</sup>	18.27 ± 0.24 <sup>Bb</sup>	2.42 ± 0.48 <sup>Ab</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	0.29 ± 0.25 <sup>b</sup>
	叶 Leaf	43.78 ± 3.46 <sup>A</sup>	15.27 ± 0.22 <sup>Cc</sup>	3.20 ± 1.72 <sup>Bb</sup>	29.48 ± 0.84 <sup>Cc</sup>	9.28 ± 0.97 <sup>Cc</sup>	19.38 ± 0.12 <sup>Cc</sup>	7.84 ± 0.15 <sup>Bc</sup>	0.59 ± 0.11 <sup>Cc</sup>	0.23 ± 0.04 <sup>a</sup>

同一列相同竹种不同部位肩注不同小写字母表示差异达0.05 显著水平,肩注不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)

At the same line without a common superscript lowercase differ, P<0.05, a common superscript majuscule significant differ, P<0.01. DM: Dry matter; CP: Crude protein; EE: Ether extract; CF: Crude fiber; GE: Gross energy; PER: Protein to energy ratio

竹笋最高 (0.90%)，方竹笋含量最低 (0.69%)；5 种投饲竹竹叶总黄酮含量以刺竹叶最高 (2.32%)，箬竹叶最低 (1.55%)；5 种投饲竹竹

枝总黄酮含量以刺竹枝最高 (0.97%)，巴山木竹枝最低 (0.50%)；各种投饲竹竹茎中总黄酮含量差异不显著 (表 6)。

表 6 主食竹总黄酮含量测定结果 (干物质基础)

Table 6 Total flavonoid content in staple food bamboos in Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding (DM base)

竹种 Species	巴山木竹 <i>B. faberi</i> n = 72	三月竹 <i>Q. opienenss</i> n = 72	白夹竹 <i>P. nidularia</i> n = 10	方竹 <i>C. quadrangularis</i> n = 12	苦竹 <i>P. maculata</i> n = 18	刺竹 <i>C. pachystachys</i> n = 6	箬竹 <i>I. longiauritus</i> n = 18	Z	P
笋 Shoot		0.90 ± 0.05	0.76 ± 0.06	0.69 ± 0.02				9.51	< 0.001
叶 Leaf	1.92 ± 0.63		2.16 ± 0.32		1.89 ± 0.15	2.32 ± 0.04	1.55 ± 0.13	10.22	0.04
枝 Branch	0.50 ± 0.16		0.73 ± 0.13		0.79 ± 0.04	0.97 ± 0.05	0.66 ± 0.04	36.78	< 0.001
茎 Stem	0.63 ± 0.20		0.69 ± 0.12		0.70 ± 0.10	0.72 ± 0.01	0.59 ± 0.02	2.75	0.60

### 2.5 投饲竹的摄食比例与养分含量相关分析

对投饲竹的摄食比例与其所含养分相关分析发现，大熊猫的摄食比例与投饲竹中干物质、粗纤维和粗灰分含量呈负相关关系，与粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比及磷含量呈正相关关系，分别达到显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ) 水平，而与投饲竹中总黄酮和钙的含量无相关性 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

研究表明，动物在觅食过程中总是选择能获得最大净收益的食物构建最佳食谱 (孙儒泳, 2001)。综合基地多年来的动物饲养数据发现，基地圈养大熊猫形成了较为稳定的主食竹食谱：春季主食三月竹笋和白夹竹茎，补食箬竹叶、刺竹茎和苦竹茎；夏季主食白夹竹笋、巴山木竹叶和白夹竹茎；秋季主食方竹笋、巴山木竹叶和白夹竹茎；冬季主食巴山木竹叶和苦竹茎，补食箬竹叶和刺竹茎。野外研究发现，虽然各山系大熊猫可食竹有 11 属 64 种 (易同培, 1985)，但是各山系大熊猫却仅选择性的采食 2-3 种竹子 (胡锦矗, 2001)。动物食谱的形成是食性选择的结果。就圈养大熊猫而言，其食性主要受供饲竹的丰富度、竹中营养物质含量及其可利用程度、竹子的味道和气味、竹子形态和物理特征等的影响 (何东阳, 2010)。

营养假设的觅食对策认为植食性动物是以植物蛋白质或能量等营养成分的含量作为食物选择的判断标准 (Bruce and Stephen, 1989; Nolte and Provenza, 1992)。本研究发现，基地大熊猫在冬末春

初主食三月竹笋，春夏季节主食白夹竹笋，夏末和秋季主食方竹笋。竹笋柔嫩多汁、干物质中蛋白质含量高、纤维素含量和木质化程度低，是一种适口性较好，相对营养价值较高的蛋白质食物。在基地投饲竹中，大熊猫除偏食竹笋外，还喜食巴山木竹叶、白夹竹茎和苦竹茎。对基地投饲的 5 种竹子的营养成分比较分析发现，粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比都以叶最高、枝次之、茎最低，而粗纤维的含量却以叶最低、茎最高。竹叶是竹株各营养组织中营养价值含量较高的部分，蛋白质含量高且稳定，蛋白质和能量比高，粗纤维含量低，钙磷比例适宜。所以，大熊猫在一年当中采食竹叶时间最长，比例最大 (胡锦矗等, 1985)。本研究发现，基地大熊猫喜食巴山木竹叶，巴山木竹叶的采食时间从当年的 6 月下旬持续到次年的春季，年摄食时间高达 232.5 d。孙宜然等 (2010) 研究发现，巴山木竹叶的营养物质，尤其是蛋白质含量在秋冬季最为丰富，在以巴山木竹叶为主食的这段时间里，成年大熊猫能获得更多的营养物质。卧龙自然保护区研究也发现，怀孕大熊猫在产仔前后亦多以竹叶为食 (胡锦矗等, 1985)。比较基地投饲的 5 种主食竹营养成分数据发现，虽然巴山木竹叶和箬竹叶粗蛋白不是 5 种竹中最高者，但是其蛋白质和能量比却显著高于另外 3 种竹叶。这两种竹叶不仅具有较高的单片竹叶重和面积 (何东阳, 2010)，而且从外观来看，竹叶重量以及生物量都要明显高于其他投饲竹种。

圈养大熊猫除了采食竹笋和竹叶外，春季还采食刺竹茎和苦竹茎，夏秋季采食白夹竹茎，冬季采

食苦竹茎和刺竹茎。本研究测得基地 5 种主食竹茎粗蛋白质最高为 4.31% (刺竹茎), 粗脂肪最高仅为 0.90% (箬竹茎), 蛋白质和能量比最高的仅为 2.24% (刺竹茎), 远远低于竹叶和竹枝; 但 5 种竹茎粗纤维含量最低者却高达 52.43% (白夹竹茎), 极显著高于竹叶和竹枝 ( $P < 0.01$ )。已有研究发现, 虽然竹茎的营养价值较低, 但是它的可溶性碳水化合物和矿物元素较竹笋和叶高 (唐平等, 1997)。野外研究发现, 在优质食物资源不能满足个体生存需要的情况下, 一些营养质量较差的食物资源 (如竹茎等) 替代性地进入了大熊猫食谱组成中 (周宏等, 2014), 这可能是基地大熊猫在不同季节采食竹茎的原因之一。此外, 冬春季竹节季节性的枯萎造成营养水平的下降, 次生代谢物如单宁、生物碱等显著上升, 以及某些矿物元素如 Fe、Zn 等较其他季节含量丰富可能也是大熊猫在此时选择竹茎的原因。还有一个原因是由于竹茎内纤维素含量较多, 可延缓在消化道内的滞留时间, 从而提高消化率。因此, 基地圈养大熊猫在一定时期以茎为主食或吃竹笋和竹叶的时候兼食部分竹茎, 不仅可以直接补充能量和微量元素, 还可以间接多获取一些能量 (周材权等, 1997, 1999; 何礼等, 2000)。

觅食行为是动物最常见和最基本的行为, 它是动物生存和繁殖所必须的。动物只有选择最优化的觅食策略, 才能使其生存和繁殖成功的机会增加。在植食性动物觅食过程中, 植物中次生代谢物的含量是其权衡食物选择的另一主要因子 (Evan *et al.*, 1998)。黄酮类化合物为植物次生代谢产物的一种, 普遍存在于各种植物的组织器官中 (黄伟素和陆柏益, 2008; David *et al.*, 2011)。有研究表明, 黄酮类化合物被动物摄食后, 可在小肠葡萄糖苷酶的作用下水解, 并进一步在小肠黏膜细胞中代谢形成雌马酚 (equol), 发挥雌激素的功能, 促进动物性器官和副性器官的发育, 使其动情、发生性欲 (Kudou *et al.*, 1991; Casini *et al.*, 2006; Hooper *et al.*, 2009)。有研究表明, 黄酮含量是评价竹子内在质量的依据之一 (Lu *et al.*, 2005)。本文对投饲竹中总黄酮分析发现, 叶中总黄酮平均含量高达 2.04%, 极显著高于竹茎和竹枝 (平均黄酮含量均为 0.67%), 这可能是大熊猫喜食竹叶的另一主要因素。

基地圈养大熊猫在冬季补食箬竹叶。竹叶中黄酮的含量会呈现季节性变化规律, 以冬季箬竹叶中总黄酮含量最高, 且是活性成分利用潜力较大的物种 (吕兆林等, 2011)。但本研究发现, 箬竹叶中总黄酮含量为 1.55%, 为 5 种主食竹中黄酮含量最低者。从竹子形态来看, 箬竹没有明显的竹秆, 竹枝细小, 质地柔软, 其竹株密集生长, 叶长而宽, 嫩叶有清香味 (莫晓燕等, 2004), 这可能是冬天竹子供应量不足的时候, 圈养大熊猫补食箬竹叶的原因之一。

基地大熊猫喜食苦竹茎和刺竹茎。黄酮味苦, 竹子的苦味与其内所含的黄酮有关 (顾谦, 2002; 杨永峰和黄成林, 2009)。已有研究表明, 大熊猫的苦味受体基因受到正选择, 可能更偏好味苦的竹子和部位 (Zhao *et al.*, 2013), 基地苦竹茎和刺竹茎中总黄酮含量偏高可能是诱使大熊猫选择的又一因素。

本研究还发现, 对于营养成分比较接近的竹子, 如巴山木竹和刺竹, 圈养大熊猫更喜食前者。原因: (1) 可能是刺竹竹茎箨环处有一圈刺而不利于采食; (2) 可能是刺竹叶片薄且小, 增加了摄食能量消耗; (3) 可能是刺竹含有某些具有涩味的植物次生代谢产物, 如单宁、生物碱等。但有待于进一步研究。

## 4 结论

成都大熊猫繁育研究基地圈养大熊猫偏好竹笋, 喜食巴山木竹叶、白夹竹茎和苦竹茎, 随机采食箬竹叶, 不喜食刺竹茎; 根据投饲竹种类和食性, 基地形成了较为稳定的大熊猫食谱。

对投饲竹各部位成分比较分析发现, 投饲竹养分含量的变化呈现出一定的规律性: 其中粗蛋白、粗脂肪、蛋白质和能量比都以竹叶最高, 竹枝次之, 竹茎最低; 干物质和粗纤维的含量则以竹茎最高, 竹枝次之, 竹叶最少; 竹茎和竹枝呈现钙少磷多的现象, 而竹叶则是钙多磷少; 各投饲竹不同部位总黄酮含量以叶中最高, 枝中其次, 茎中最低。

主食竹的适口性、营养成分是影响圈养大熊猫食物选择的主要因素。圈养大熊猫主食竹食谱的选择遵循能量和营养学的规律, 选择适口性强、营养价值高的食物。

## 参考文献:

- Bruce D E, Stephen H J. 1989. Food selection by beldings ground squirrels in relation to plant nutritional features. *Journal of Mammalogy*, **70**: 846 – 852.
- Casini M L, Marelli G, Papaleo E, Ferrari A, D' Ambrosio F, Unfer V. 2006. Psychological assessment of the effects of treatment with phytoestrogens on postmenopausal women; a randomized, double-blind, crossover, placebo-controlled study. *Fertil Steril*, **85**: 972 – 978.
- David O K, Emma L, Herbal W. 2011. Extracts and phytochemicals; plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function. *Advanced Nutrition*, **2**: 32 – 50.
- Hooper L, Ryder J J, Kurzer M S, Lampe J W, Messina M J, Phipps W R, Cassidy A. 2009. Effects of soy protein and isoflavones on circulating hormone concentrations in pre-and post-menopausal women; a systematic review and meta-analysis. *Human Reproduction Update*, **15**: 423 – 440.
- He D Y. 2010. Diet and digestion of giant panda with reference to its nutritional and energetic strategy. Ph. D Thesis. Beijing Forestry University, 30 – 31. (in Chinese)
- He L, Wei F W, Wang Z W, Feng Z J, Zhou A, Tang P, Hu J C. 2000. Nutrition and energy strategies of giant pandas in Xiangling Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, **20** (2): 177 – 183. (in Chinese)
- Hu J C, Schaller G B, Pan W S, Zhu J. 1985. The Giant Panda of Wolong. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 33 – 37. (in Chinese)
- Hu J C. 2001. Research on the Giant Panda. Shanghai: Shanghai Science, Technology and Education Press, 96 – 101. (in Chinese)
- Huang W S, Lu B Y. 2008. Advances in deep-processing technology of bamboo shoots. *Scientia Silvae Sinicae*, **44** (8): 118 – 123. (in Chinese)
- Ivan R L, Jessica S, William J F, Bart M E. 1998. Ecological example of conditioned flavor aversion in plant-herbivore interactions; effects of terpenes of Eucalyptus leaves on feeding by common ringtail and brushtail possums. *Journal of Chemical Ecology*, **25**: 401 – 415.
- Kudou S, Fleury Y, Welti D. 1991. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* Merrill). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55**: 2227 – 2233.
- Lechowicz M J. 1982. The sampling characteristics of selectivity indices. *Ecology*, **52**: 22 – 30.
- Lu B Y, Wu X Q, Tie X, Zhang Y, Zhang Y. 2005. Toxicology and safety of anti-oxidant of bamboo leaves. Part I: Acute and subchronic toxicity studies on anti-oxidant of bamboo leaves. *Food and Chemical Toxicology*, **43** (5): 783 – 792.
- Li Y, Qi X L, Meng X Y, Bao Y L, Wu Y, Zhou Y L, Li Y X. 2006. Extraction and purification technique of flavones from bamboo leaves. *Journal of Northeast Normal University* (Natural Science Edition), **38** (1): 91 – 94. (in Chinese)
- Liu X Z, Yu J Q, Li M X, Li G H, Yang Z, Huang X M, Hu D M. 2001. Preliminary study of the nutrient character of the stable food bamboo of captive giant panda. *Acta Theriologica Sinica*, **21** (4): 314 – 317. (in Chinese)
- Lv Z L, Ren M L, Ouyang Y L, Lin X, Zhang B L. 2011. Seasonal variations of flavonoid contents in leaves of four of bamboo species. *Journal of Beijing Forestry*, **33** (4): 81 – 84. (in Chinese)
- Mo X Y, Feng Y, Feng N, Lei Y X, Jin C P. 2004. Preliminary study on the element contents in two major species of bamboos for captive Qinling giant panda. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science Edition), **32** (6): 95 – 98. (in Chinese)
- Nolte D I, Provenza F D. 1992. Food preferences in lambs after exposure to flavors in solid foods. *Applied Animal Behavior Science*, **32**: 337 – 347.
- Sun R Y. 2001. Principles of Animal Ecology (The Third Edition). Beijing: Beijing Normal University Press, 260 – 263. (in Chinese)
- Sun Y R, Zhang Z J, Li L H, Liu X Y, Wei F W, Ma Y S, Wei W, Liao F, He S W. 2010. Trace elements and nutrients of *Bashania fargesii* in the Qinling Mountains. *Acta Theriologica Sinica*, **30** (2): 223 – 228. (in Chinese)
- Tang P, Zhou A, Li C, Wei F W, Hu J C. 1997. An investigation of the foraging behavior and nutritious condition of the giant panda in Yele Natural Reserve. *Journal of Sichuan Teachers College* (Natural Science), **18** (1): 1 – 4. (in Chinese)
- Yang Y F, Huang C L. 2009. A study on the flavonoid compound in bamboo shoots of three *Pleioblastus* species. *Journal of Bamboo Research*, **28** (1): 56 – 60. (in Chinese)
- Zhao S C, Zheng P P, Dong S S, Zhan X J, Wu Q, Guo X S, Hu Y B, He W M, Zhang S N, Fan W, Zhu L F, Li D, Zhang X M, Chen Q, Zhang H M, Zhang Z H, Jin X L, Zhang J G, Yang H M, Wang J, Wang J, Wei F W. 2013. Whole-genome sequencing of giant pandas provides insights into demographic history and local adaptation. *Nature Genetics*, **45** (1): 67 – 73.
- Zhou C Q, Hu J C, Yuan C G, Wei F W. 1997. Giant pandas food habits and feeding behavior in Mabian Dafengding Natural Reserve. *Journal of Sichuan Teachers College* (Natural Science), **18** (4): 274 – 277. (in Chinese)
- Zhou C Q, Ren L P, Hu J C. 1999. Study on the relationship between the food habits and trace elements of food of giant panda in Mabian Dafengding Natural Reserve. *Acta Theriologica Sinica*, **19** (4): 247 – 253. (in Chinese)
- Zhou H, Yuan S B, Yang Z S, Yang Y, Gu X D, Yang X Y, Zheng L S, Zhang Z J. 2014. Research on diet and biomass of staple-food bamboos utilized by giant pandas during June-July in Liziping Nature Reserve, China. *Acta Theriologica Sinica*, **34** (1): 352 – 360. (in Chinese)
- 顾谦. 2002. 茶叶化学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 149 – 244.
- 何东阳. 2010. 大熊猫取食竹选择、消化率及营养品和能量对策的研究. 北京林业大学博士学位论文, 30 – 31.



- 何礼, 魏辅文, 王祖望, 冯祚建, 周昂, 唐平, 胡锦涛. 2000. 相岭山系大熊猫的营养和能量对策. 生态学报, **20** (2): 178 - 182.
- 胡锦涛, 夏勒. 1985. 卧龙的大熊猫. 成都: 四川科技出版社, 33 - 37.
- 胡锦涛. 2001. 大熊猫研究. 上海: 上海科技教育出版社, 96 - 101.
- 黄伟素, 陆柏益. 2008. 竹笋深加工利用技术现状及趋势. 林业科学, **44** (8): 118 - 123.
- 李瑶, 齐小丽, 孟祥颖, 鲍永利, 乌垠, 周毓麟, 李玉新. 2006. 竹叶中黄酮提取纯化工艺研究. 东北师范大学学报 (自然科学版), **38** (1): 91 - 94.
- 刘选珍, 余建秋, 李明喜, 李光汉, 杨智, 黄祥明, 胡大明. 2001. 圈养大熊猫主食低山竹类营养特点的初步研究. 兽类学报, **21** (4): 314 - 317.
- 吕兆林, 任美玲, 欧阳吃林, 林西, 张柏林. 2011. 竹叶黄酮化合物季节变化规律. 北京林业大学学报, **33** (4): 81 - 84.
- 莫晓燕, 冯怡, 冯宁, 雷艳霞, 金超. 2004. 圈养秦岭大熊猫两种主食竹种元素含量初探. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), **32** (6): 95 - 98.
- 孙儒泳. 2001. 动物生态学原理 (第3版). 北京: 北京师范大学出版社, 260 - 263.
- 孙宜然, 张泽钧, 李林辉, 刘新玉, 魏辅文, 马亦生, 韦伟, 廖钊, 何少文. 2010. 秦岭巴山木竹微量元素及营养成分分析. 兽类学报, **30** (2): 223 - 228.
- 唐平, 周昂, 李操, 魏辅文, 胡锦涛. 1997. 冶勒自然保护区大熊猫摄食行为及营养初探. 四川师范学院学报 (自然科学版), **18** (1): 1 - 4.
- 王亚超. 2007. 温热环境对圈养成年大熊猫热调节行为和生理生化指标的影响. 四川农业大学硕士学位论文, 29 - 31.
- 杨永峰, 黄成林. 2009. 3种苦竹竹笋中黄酮类化合物的研究. 竹子研究汇刊, **28** (1): 56 - 60.
- 易同培. 1985. 大熊猫主食竹种的分类和分布 (之一). 竹子研究汇刊, **4** (1): 11 - 27.
- 张丽英. 2003. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 48 - 73.
- 周材权, 胡锦涛, 袁重桂, 魏辅文. 1997. 马边大风顶自然保护区大熊猫的食性与采食行为. 四川师范学院学报 (自然科学版), **18** (4): 274 - 277.
- 周材权, 任丽平, 胡锦涛. 1999. 马边大风顶自然保护区大熊猫食性与微量元素的关系. 兽类学报, **19** (4): 247 - 253.
- 周宏, 袁施彬, 杨志松, 郑立松, 杨毅, 古晓东, 杨旭煜, 张泽钧. 2014. 四川栗子坪自然保护区夏季大熊猫食性与主食竹生物量关系. 兽类学报, **34** (1): 352 - 360.