

# 精料的蛋白质水平及能量浓度对 亚成体大熊猫日粮消化率的影响

杨春花<sup>1,2</sup> 邹兴淮<sup>2 \*</sup> 张贵权<sup>3</sup>

(1 华东师范大学生命科学学院, 上海, 200062) (2 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨, 150040)

(3 卧龙自然保护区管理局中国保护大熊猫研究中心, 汶川, 623006)

**摘要:** 采用双因子交叉分组 ( $2 \times 2$ ) 试验设计方案, 选用 2 只亚成体大熊猫进行 5 期 (第 5 期用常规日粮) 消化试验, 考察精料的蛋白质水平与能量浓度对亚成体大熊猫日粮消化率的影响。结果表明: 精料蛋白质水平对粗蛋白、半纤维素、能量的消化率均产生显著影响 ( $P < 0.05$ ), 对粗脂肪消化率产生极显著影响 ( $P < 0.01$ ), (相关系数分别为 0.783 0、0.761 8、0.550 4、0.672 3); 精料能量浓度对无氮浸出物、中性洗涤纤维、能量的消化率产生显著影响 ( $P < 0.05$ ), 对粗脂肪消化率产生极显著影响 ( $P < 0.01$ ), (相关系数分别为 0.556 9、0.604 7、0.505 2、0.741 1)。对无氮浸出物、中性洗涤纤维、能量的消化率而言, 该 2 个因素互作效应显著 ( $P < 0.05$ )。1~4 试验期, 粗脂肪、半纤维素, 1~5 试验期, 粗脂肪、半纤维素、中性洗涤纤维、纤维素、总能量等项消化率与 2 个因素线性回归达到显著性水平 ( $\alpha = 0.05$ ) (其中粗脂肪及 1~5 期半纤维素达到极显著,  $\alpha = 0.01$ )。从多重比较结果看, 除木质素外, 各项消化率均以第 1 期为最高, 因此, 日粮配方 1 (CP2  $\times$  GE2 即 CP 20.61 %  $\times$  GE 19.53 MJ/kg) 是优选配方。

**关键词:** 精料; 蛋白质水平; 能量浓度; 亚成体大熊猫; 消化率

中图分类号: Q958.14

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2005) - 01 - 0063 - 10

## Effects of the Protein Level and Energy Concentration of Concentrated Diets on the Diets Digestibility of Sub-adult Giant Pandas

YANG Chunhua<sup>1,2</sup> ZOU Xinghui<sup>2 \*</sup> ZHANG Guiquan<sup>3</sup>

(1 Institute of Life Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)

(2 The college of Wildlife Resources of Northeast Forestry University, Harbin, 150040)

(3 The Conservation and Research Center for the Giant Panda, Wolong Nature Reserve, Wenchuan, 623006)

**Abstract:** The significance of the effects of the protein level (Crude protein, CP) and energy concentration (Gross energy, GE) of concentrated diets on the diets digestibility for two sub-adult giant pandas were studied by grouping according to two intersecting factors ( $2CP \times 2GE$ ). The results indicated that the CP level of concentrated diets produced significant effect on the digestibility of CP, hemicellulose and GE of the diets ( $P < 0.05$ ), and extremely significant effect on that of crude fat ( $P < 0.01$ ) (the correlation coefficients were 0.7830, 0.7618, 0.5504, 0.6723, respectively). The GE concentration produced significant effect on the digestibility of nitrogen free effusion (NFE), neutral detergent fiber (NDF) and GE of the diets ( $P < 0.05$ ), and extremely significant effect on that of crude fat ( $P < 0.01$ ) (the correlation coefficients were 0.5569, 0.6047, 0.5052, 0.7411, respectively). The interacting effect of the two studied factors was significant on the digestibility of NFE, NDF and GE ( $P < 0.05$ ). For the digestibilities of crude fat, hemicellulose for Trial 1 - 4 and crude fat, hemicellulose, NDF, cellulose and GE for Trial 1 - 5, the linear regression of digestibility and the two assessed factors was significant ( $\alpha = 0.05$ ) (among them, for crude fat of Trial 1 - 4 and crude fat and hemicellulose of Trial 1 - 5, the regression was extremely significant ( $\alpha = 0.01$ )). By comparing every kind of digestibility of the diets (using LSR method) between different trials, the obvious conclusion could be drawn that Formula 1 (CP 2  $\times$  GE 2, ie. CP 20.61 %  $\times$  GE 19.53 MJ/kg) was the optimum formula, because all digestibilities of Trial 1, except for that of lignin, were the highest among the five trials.

**Key words:** Concentrated diet; Protein level; Energy concentration; Sub-adult giant panda; Digestibility

基金项目: 国家林业局 97 重点指南项目“大熊猫饲料适宜营养水平及能量浓度的研究”

作者简介: 杨春花 (1972 - ), 女, 博士研究生, 主要从事动物生态学、保护生物学以及野生动物营养学和管理学研究。

收稿日期: 2003 - 12 - 01; 修回日期: 2004 - 02 - 04

\* 通讯作者, correspondence author

大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 是中国特产的珍稀濒危野生动物, 除了就地保护外, 迁地 (移地) 保护即人工饲养繁殖也是拯救大熊猫的一项重要措施, 迁地保护成败的关键之一是营养, 而动物营养学研究的侧重点又在于对蛋白质和能量的研究。大熊猫人工饲养的特点之一是, 除供给竹类饲料外, 还补充饲喂一些营养价值较高的精饲料 (窝头饲料)。精料应怎样配制? 精料的营养水平对大熊猫的生命活动有无影响? 如何科学确定精料的营养水平? 都是成功饲养大熊猫迫切需要解决的问题。本研究拟通过考察精料的蛋白质水平及能量浓度对亚成体大熊猫日粮消化率的影响, 探索亚成体大熊猫精料的适宜蛋白质水平和能量浓度, 为科学配制大熊猫日粮提供科学依据和参考, 提高大熊猫易地保护的人工饲养水平。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与试验动物

外业部分在卧龙中国保护大熊猫研究中心实施, 试验动物为选自该中心的两只健康、驯化良好且个体差异较小的亚成体大熊猫希梦、妃妃。内业部分在东北林业大学野生动物营养学实验室完成。

### 1.2 试验设计

采用双因素两向交叉分组试验 (杨永年,

1990), 考察精料的蛋白质水平 (CP) 及能量浓度 (GE) 这 2 个因素, 每个因素安排 2 个水平, 共有 4 ( $2 \times 2$ ) 种处理 (见表 1, 表 2)。试验指标是日粮中各种营养成分及总能量的消化率。

### 1.3 精料配制

根据大熊猫消化系统解剖特点及消化生理特性 (吕益新和周永年, 1996), 参考历年各地大熊猫饲养实践和当地的饲料资源状况 (Ellen *et al.*, 1995; 王爱民和张贵权, 2002; 刘选珍等, 1997; 陈玉村等, 1995; 邹兴淮等, 1991), 在基本不改变精料原料种类的基础上, 通过变更某些原料的配比, 运用张子仪、陈绪生、卢书勤等共同设计的线性规划程序\*, 设计了 2 种蛋白质水平、2 种能量浓度搭配而成的 4 种精料 (精料 1: CP2, GE2; 精料 2: CP1, GE2; 精料 3: CP1, GE1; 精料 4: CP2, GE1) (配方及营养水平见表 3)。试验时, 按精料配方准确称量原料, 充分混匀, 每日蒸制成窝窝头 (杨凤, 1991; 邹兴淮, 1990)。

### 1.4 消化试验

2 只受试大熊猫分别单圈饲养, 各进行每期 12 d (预试验期 4 d, 正试期 8 d) 的 5 期 (试验日粮 4 期, 对照常规日粮 1 期) 全收粪法消化试验 (邹兴淮, 1990)。

试验前驱虫。若遇排粘, 则排粘前后 2~3 d

表 1 试验设计 ( $2 \times 2$ )

Table 1 Trial design ( $2 \times 2$ )

能量浓度 Energy concentration (GE)	蛋白质水平 Protein level (CP)	
	1	2
1	处理 a Treatment a (日粮 3 Diet 3)	处理 b Treatment b (日粮 4 Diet 4)
2	处理 c Treatment (日粮 2 Diet 2)	处理 d Treatment d (日粮 1 Diet 1)

表 2 因素和水平的确定

Table 2 Factors and Levels

水平 Level	因素 Factor	
	精料的蛋白质水平 (%) the CP levels of concentrated diets (%)	精料的能量浓度 (MJ/kg) the GE concentration of concentrated diets (MJ/kg)
1	18.88	18.08
2	20.61	19.53

\*张子仪, 陈绪生, 卢书勤等. 1985. 饲料配方线性规划程序. 见: 北京饲料顾问团, 北京地区饲料科技情报网编. 配合饲料学习班讲义.

表 3 4 种新配精料及 1 种常规精料的配方及营养水平 (DM 基础) (%)  
Table 3 The formula and nutritional levels of four trials and one traditional concentrated diets (on DM Base)

原料 Raw materials	精料 Concentrated diet				
	1	2	3	4	5 (常规) Traditional
黄豆 Soybean	33.04	29.12	34.98	31.92	30.08
玉米 Corn	33.07	37.97	4.12	4.68	29.17
大米 Rice	3.00	5.00	38.00	45.00	23.83
白糖 Sugar	3.00	2.00	9.00	10.00	5.18
竹粉 Bamboo powder	8.00	15.00	10.00	0.00	4.79
鸡蛋 Egg	0.00	0.00	0.00	4.50	2.29
奶粉 Milk powder	6.00	7.00	0.00	0.00	0.00
CaCO <sub>3</sub>	0.89	0.91	0.90	0.90	1.03
CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2.50	2.50	2.50	2.50	3.11
NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52
总计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
蛋白质水平 (CP) (%)	20.69	18.87	18.88	20.52	19.49
能量浓度 (GE) (MJ/kg)	19.58	19.50	18.03	18.12	17.74

表中营养水平数据为实测值 The nutritional level values were obtained by actually measuring

的试验作废，试验顺延。

1.5 样品采集与制备

每天采集窝头、竹子、粪便样品，65 ~ 70 烘干（窝头 12 h，竹子 6 h，粪便 24 h），制得半干样品，并求出半干物的百分比。同时，竹子每天取空白样以校正鲜竹失水率。

将每只大熊猫每期试验 8 d 所采集并制成半干物质的样品分别粉碎，过 40 目筛，“四分法”取 200 g 半干样本。

1.6 样品分析

采用 Van Soest 体系测定（计算）样品中各营养成分及能量含量（Van *et al.*，1963，1967；北京农业大学，1979；杨胜，1993）。

1.7 实验数据处理

采用 Excel 统计软件分析处理（中国农科院畜牧研究所和中国动物营养学会，1985）。

2 结果

2.1 消化率

2 只大熊猫各试验期对日粮干物质及其中各种营养成分（粗蛋白、粗脂肪、无氮浸出物、中性洗涤纤维和其中各组分即半纤维素、纤维素、木质素）以及对能量的消化率如表 4 所示。

2.2 消化率的统计学分析

2.2.1 前 4 期消化率的双因子方差分析将每项消化率按精料的蛋白质水平（CP）和能量浓度（GE）进行双向分组，并统计分析，考察这 2 个因素及其交互作用对日粮干物质及其中各种营养成分以及能量消化率影响的显著性。分析结果见表 5。

2.2.2 相关性分析

2.2.2.1 相关系数

计算两只大熊猫 1 ~ 4 期（观测值  $n = 8$ ）及 1 ~ 5 期（观测值  $n = 10$ ）试验各项消化率与 2 个考察因素（精料的蛋白质水平、能量浓度）之间的相关系数（偏相关系数）及 3 者的复相关系数，并检验其显著性。结果见表 6。

表 4 试验大熊猫对 5 种日粮中各营养成分及能量的消化率 (%)

Table 4 The DM digestibility, nutritional components digestibility and gross energy of the five diets for the giant pandas attending the trials

大熊猫名		试验期 Trial				
Name of Giant Pandas		1	2	3	4	5
干物质	希梦	45.10	39.20	39.05	36.54	33.12
Dry matter	妃妃	52.80	39.69	41.09	39.30	37.76
	$\bar{x} \pm s$	48.95 $\pm$ 5.44	39.45 $\pm$ 0.35	40.07 $\pm$ 1.44	37.92 $\pm$ 1.95	35.44 $\pm$ 3.28
粗蛋白	希梦	47.00	43.98	38.20	47.78	35.13
Crude protein	妃妃	54.93	45.95	42.87	50.84	46.48
	$\bar{x} \pm s$	50.97 $\pm$ 5.61	44.97 $\pm$ 1.39	40.54 $\pm$ 3.30	49.31 $\pm$ 2.16	40.81 $\pm$ 8.03
粗脂肪	希梦	16.60	13.55	3.55	10.58	3.70
Crude fat	妃妃	21.74	12.24	4.39	13.89	7.62
	$\bar{x} \pm s$	19.17 $\pm$ 3.63	12.90 $\pm$ 0.93	3.97 $\pm$ 0.59	12.24 $\pm$ 2.34	5.66 $\pm$ 2.77
无氮浸出物	希梦	71.38	69.63	71.05	60.30	63.48
NFE	妃妃	77.12	65.89	68.16	56.75	65.53
	$\bar{x} \pm s$	74.25 $\pm$ 4.06	67.76 $\pm$ 2.64	69.61 $\pm$ 2.04	58.53 $\pm$ 2.51	64.51 $\pm$ 1.45
中性洗涤纤维	希梦	32.60	25.23	25.18	22.16	20.10
NDF	妃妃	37.16	25.50	27.19	23.96	22.23
	$\bar{x} \pm s$	34.88 $\pm$ 3.22	25.37 $\pm$ 0.19	26.19 $\pm$ 1.42	23.06 $\pm$ 1.27	21.17 $\pm$ 1.51
半纤维素	希梦	44.00	31.63	30.63	35.32	27.77
Hemi-cellulose	妃妃	51.20	33.38	35.04	37.77	30.02
	$\bar{x} \pm s$	47.60 $\pm$ 5.09	32.51 $\pm$ 1.24	32.84 $\pm$ 3.12	36.55 $\pm$ 1.73	28.90 $\pm$ 1.59
纤维素	希梦	25.19	21.94	21.97	20.69	18.92
Cellulose	妃妃	26.01	19.17	17.24	26.77	17.48
	$\bar{x} \pm s$	25.60 $\pm$ 0.58	20.56 $\pm$ 1.96	19.61 $\pm$ 3.34	23.73 $\pm$ 4.30	18.20 $\pm$ 1.02
木质素	希梦	4.00	3.76	5.81	2.18	4.18
Lignin	妃妃	2.43	4.40	4.43	4.06	2.90
	$\bar{x} \pm s$	3.22 $\pm$ 1.11	4.08 $\pm$ 0.45	5.12 $\pm$ 0.97	3.12 $\pm$ 1.33	3.54 $\pm$ 0.91
总能量	希梦	47.35	40.17	42.51	39.58	35.32
Gross energy	妃妃	50.21	40.25	40.85	41.05	39.30
	$\bar{x} \pm s$	48.78 $\pm$ 2.02	40.21 $\pm$ 0.06	41.68 $\pm$ 1.17	40.32 $\pm$ 1.04	37.31 $\pm$ 2.81

$\bar{x}$  为两只大熊猫消化率的平均值;  $s$  为两只大熊猫消化率的标准差 ( $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ )

“ $\bar{x}$ ” stands for the average digestibility of the two giant pandas; “ $s$ ” stands for the standard deviation of the two pandas' digestibilities ( $s =$

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

表 5 精料蛋白质水平（CP）及能量浓度（GE）对亚成体大熊猫日粮消化率的影响

Table 5 The effects of protein level（CP）and energy concentration（GE）of the concentrated diets on the diets digestibility for sub-adult giant pandas

	GE (MJ/ kg)	CP（%）		GE 因子平均 $\bar{x}_{GE}$	因素 Factor	P	F	显著性 Sig.
		18. 88	20. 61					
干物质	18. 08	40. 07 ±1. 44	37. 92 ±1. 95	39. 00 ±1. 87 <sup>A</sup>	GE	0. 0694	6. 0729	—
Dry matter	19. 53	39. 45 ±0. 35	48. 95 ±5. 45	44. 20 ±6. 33 <sup>A</sup>	CP	0. 1565	3. 0344	—
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	39. 76 ±0. 93 <sup>M</sup>	43. 44 ±7. 19 <sup>M</sup>	GE ×CP	0. 0508	7. 6197	—
粗蛋白	18. 08	40. 54 ±3. 30	49. 31 ±2. 16	44. 92 ±5. 56 <sup>A</sup>	GE	0. 2862	1. 5123	—
Crude protein	19. 53	44. 97 ±1. 39	50. 97 ±5. 61	47. 97 ±4. 81 <sup>A</sup>	CP	0. 0405	8. 9158	*
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	42. 75 ±3. 29 <sup>M</sup>	50. 14 ±3. 60 <sup>N</sup>	GE ×CP	0. 6049	0. 3145	—
粗脂肪	18. 0	83. 97 ±0. 59	12. 24 ±2. 34	8. 10 ±4. 97 <sup>A</sup>	GE	0. 0073	25. 2820	* *
Crude fat	19. 53	12. 90 ±0. 93	19. 17 ±3. 63	16. 03 ±4. 22 <sup>b</sup>	CP	0. 0100	21. 2488	* *
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	8. 43 ±5. 19 <sup>M</sup>	15. 70 ±4. 72 <sup>n</sup>	GE ×CP	0. 5624	0. 3980	—
无氮浸出物	18. 08	69. 61 ±2. 04	58. 53 ±2. 51	64. 07 ±6. 66 <sup>A</sup>	GE	0. 0281	11. 3510	*
NFE	19. 53	67. 76 ±2. 64	74. 25 ±4. 06	71. 01 ±4. 68 <sup>B</sup>	CP	0. 3276	1. 2413	—
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	68. 68 ±2. 20 <sup>M</sup>	66. 39 ±9. 49 <sup>M</sup>	GE ×CP	0. 0130	18. 1886	*
中性洗涤纤维	18. 08	26. 19 ±1. 42	23. 06 ±1. 27	24. 62 ±2. 11 <sup>A</sup>	GE	0. 0143	17. 1957	*
NDF	19. 53	25. 37 ±0. 19	34. 88 ±3. 22	30. 12 ±5. 80 <sup>B</sup>	CP	0. 0736	5. 8028	—
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	25. 78 ±0. 95 <sup>M</sup>	28. 97 ±7. 11 <sup>M</sup>	GE ×CP	0. 0089	22. 7054	* *
半纤维素	18. 08	32. 84 ±3. 12	36. 55 ±1. 73	34. 69 ±2. 97 <sup>A</sup>	GE	0. 0749	5. 7260	—
Hemi-cellulose	19. 53	32. 51 ±1. 24	47. 60 ±5. 09	40. 05 ±9. 22 <sup>A</sup>	CP	0. 0137	17. 6037	*
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	32. 67 ±1. 95 <sup>M</sup>	42. 07 ±7. 10 <sup>N</sup>	GE ×CP	0. 0640	6. 4524	—
纤维素	18. 08	19. 61 ±3. 35	23. 73 ±4. 30	21. 67 ±3. 94 <sup>A</sup>	GE	0. 5307	0. 4700	—
Cellulose	19. 53	20. 56 ±1. 96	25. 60 ±0. 58	23. 08 ±3. 14 <sup>A</sup>	CP	0. 0897	4. 9695	—
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	20. 08 ±2. 30 <sup>M</sup>	24. 67 ±2. 73 <sup>M</sup>	GE ×CP	0. 8340	0. 0500	—
木质素	18. 08	5. 12 ±0. 97	3. 12 ±1. 33	4. 12 ±1. 50 <sup>A</sup>	GE	0. 5479	0. 4297	—
Lignin	19. 53	4. 08 ±0. 45	3. 22 ±1. 11	3. 65 ±0. 85 <sup>A</sup>	C	P0. 1178	3. 9494	—
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	4. 60 ±0. 87 <sup>M</sup>	3. 17 ±1. 00 <sup>M</sup>	GE ×CP	0. 4751	0. 6198	—
总能量	18. 08	41. 68 ±1. 17	40. 32 ±1. 04	41. 00 ±1. 20 <sup>A</sup>	GE	0. 0181	14. 9376	*
GE	19. 53	40. 21 ±0. 06	48. 78 ±2. 02	44. 50 ±5. 08 <sup>B</sup>	CP	0. 0164	15. 8480	*
		CP 因子平均 $\bar{x}_{CP}$	40. 95 ±1. 09 <sup>M</sup>	44. 55 ±5. 06 <sup>N</sup>	GE ×CP	0. 0054	30. 1329	* *

—:  $P>0.05$ ,  $=0.05$ ; \*:  $P<0.05$ ,  $=0.05$ ; \* \*:  $P<0.01$ ,  $=0.01$

GE 因子平均  $\bar{x}_{GE}$ 间或 CP 因子平均  $\bar{x}_{CP}$ 间, 具有相同上标的表示无显著差异 ( $P>0.05$ ,  $=0.05$ ), 具有不同上标的且字母大小写相同的表示差异显著 ( $P<0.05$ ,  $=0.05$ ), 具不同上标且字母大小写也不同的表示差异极显著 ( $P<0.01$ ,  $=0.01$ )

As far as digestibilities between different GE or different CP were concerned, those with the same superscript proved to have no significant difference ( $P>0.05$ ,  $=0.05$ ), those with different letter but same case superscript for example, both had lower case proved to have significant difference ( $P<0.05$ ,  $=0.05$ ), and those with both different letter and different case superscripts had extremely significant difference ( $P<0.01$ ,  $=0.01$ )

表 6 日粮消化率 ( $y$ ) 与精料的蛋白质水平 ( $x_1$ ) 及与精料的能量浓度 ( $x_2$ ) 之间的相关系数及其显著性;  $y$  与  $x_1$ 、 $x_2$  的复相关系数及其显著性

Table 6 The correlation coefficients between diet digestibility ( $y$ ) and protein level of the concentrated diet (CP) ( $x_1$ ) and those between diet digestibility ( $y$ ) and energy concentration of the concentrated Diet (GE) ( $x_2$ ), the complex correlation coefficients of  $y$ ,  $x_1$ , and  $x_2$ , and all correlating degrees

	1 ~ 4 试验期 Trial 1 - 4					相关程度 Degree	1 ~ 5 试验期 Trial 1 - 5					相关程度 Degree
	$r_{01}$	相关程度	$r_{02}$	相关程度	R		$r_{01}$	相关程度	$r_{02}$	相关程度	R	
	$t_{01}$	Degree	$t_{02}$	Degree	$R_{0.05}(2,5)$ $R_{0.01}(2,5)$		$t_{01}$	Degree	$t_{02}$	Degree	$R_{0.05}(2,7)$ $R_{0.01}(2,7)$	
干物质	0.4381	M	0.5605	M	0.6783	S	0.4313	M	0.6643	S	0.7426	S
DM	1.0898		1.5134		0.8356	0.9173	1.2648		2.3514		0.7583	0.8554
粗蛋白	0.7830 *	S	0.3653	M	0.8335	S	0.6597	S	0.4654	M	0.7549	S
CP	2.8148		0.8775		0.8356	0.9173	2.3225		1.3912		0.7583	0.8554
粗脂肪	0.6723	S	0.7411	S	0.9527 *	S	0.6445	M	0.7915 *	S	0.9368 *	S
Cfat	2.0307		2.4682		0.8356	0.9173	2.2302		3.4264		0.7583	0.8554
无氮浸出物	- 0.1246	W	0.5569	M	0.5863	M	- 0.0924	W	0.5724	M	0.6012	M
NFE	- 0.2808		1.4993		0.8356	0.9173	- 0.2455		1.8469		0.7583	0.8554
中性洗涤纤维	0.4031	M	0.6047	M	0.6948	S	0.4071	M	0.7108 *	S	0.7715 *	S
NDF	0.9849		1.6977		0.8356	0.9173	1.1792		2.6736		0.7583	0.8554
半纤维素	0.7618 *	S	0.4513	M	0.8488 *	S	0.7153 *	S	0.5996	M	0.8694 *	S
Hemi - C	2.6295		1.1308		0.8356	0.9173	2.7082		1.9822		0.7583	0.8554
纤维素	0.7359	S	0.2638	W	0.7597	S	0.6905 *	S	0.4651	M	0.7796 *	S
Cellulose	2.4303		0.6115		0.8356	0.9173	2.5257		1.3900		0.7583	0.8554
木质素	- 0.6573	S	- 0.2574	W	0.6843	S	- 0.6021	M	- 0.1313	W	0.6033	M
Lignin	- 1.9503		- 0.5956		0.8356	0.9173	- 1.9952		0.3504		0.7583	0.8554
总能量	0.5504	M	0.5052	M	0.7113	S	0.5121	M	0.6386	M	0.7630 *	S
GE	1.4741		1.3090		0.8356	0.9173	1.5774		2.1956		0.7583	0.8554

$r_{01}$ 、 $r_{02}$ 分别为消化率( $y$ )与精料蛋白质水平( $x_1$ )之间、消化率( $y$ )与精料能量浓度( $x_2$ )之间的相关系数,R为复相关系数;若相关系数相应的  $t$  满足  $t > t(n-k-1)$ ,则相关显著。 $t_{0.05}(5)=2.571$ ,  $t_{0.01}(5)=4.032$ ,  $t_{0.05}(7)=2.365$ ,  $t_{0.01}(7)=3.499$ ;  $x_1$ 与  $x_2$ 之间的偏相关系数( $r_{12}$ )表中未列出,1~4 试验期为:0.1037( $t_{12}=0.2331$ );1~5 试验期为:0.1559( $t_{12}=0.4176$ );复相关系数  $R$ 若满足  $R > R(n-k-1)$ ,则复相关显著, $y$ 对  $x_1$ 、 $x_2$ 的线性回归关系密切;相关系数上标“\*”表示相关显著( $P < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ),“\*\*”表示相关极显著( $P < 0.01$ ,  $\alpha = 0.01$ );相关程度“S”表示强相关;“M”表示中等程度相关;“W”表示弱相关。

$r_{01}$  stands for the correlation coefficient between digestibility( $y$ ) and CP level of the concentrated diet ( $x_1$ ), while  $r_{02}$  for that between digestibility( $y$ ) and GE concentration of the concentrated diet ( $x_2$ ). “R” for complex correlation coefficient; if  $t > t(n-k-1)$ , then the correspondent correlation is significant. Critical values:  $t_{0.05}(5)=2.571$ ,  $t_{0.01}(5)=4.032$ ,  $t_{0.05}(7)=2.365$ ,  $t_{0.01}(7)=3.499$ ;  $r_{12}$ (correlation coefficient between  $x_1$  and  $x_2$ ) (for Trial 1 - 4, it is 0.1037,  $t_{12}=0.2331$ ; for Trial 1 - 5, it is 0.1559,  $t_{12}=0.4176$ ) is not listed; if  $R > R(n-k-1)$ , the complex correlation is significant, as for the superscript, \*:  $P < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ,  $\alpha = 0.01$ ; in the correlation degree column, S: strong correlation, M: moderate correlation, W: weak correlation

从表 6 看出, 1~4 试验期, 精料蛋白质水平与日粮中粗蛋白消化率的相关系数 (0.783 0) 及与半纤维素消化率的相关系数 (0.761 8) 达到了显著性 ( $\alpha = 0.05$ ); 精料能量浓度与粗脂肪相关系数最大 (0.741 1), 但未能达到显著水平 ( $\alpha = 0.05$ ); 半纤维素的复相关系数 (0.848 8) 达到显著 ( $\alpha = 0.05$ ), 粗脂肪的 (0.952 7) 达到极显著 ( $\alpha = 0.01$ )。1~5 试验期, 精料蛋白质水平与半纤维素消化率的相关系数 (0.715 3) 及与纤维素消化率的相关系数 (0.690 5) 达到显著 ( $\alpha = 0.05$ );

精料能量浓度与粗脂肪消化率的相关系数 (0.791 5) 及与中性洗涤纤维消化率的相关系数 (0.7108) 达到显著 ( $\alpha = 0.05$ ); 复相关系数, 中性洗涤纤维、纤维素、总能量等项 (分别为 0.771 5、0.779 6、0.763 0) 达到显著 ( $\alpha = 0.05$ ); 粗脂肪、半纤维素两项 (分别为 0.936 8、0.869 4) 达到极显著 ( $\alpha = 0.01$ )。除木质素消化率与二因素、无氮浸出物消化率与精料蛋白质水平为负相关外, 其余各项消化率与二因素均为正相关。

2.2.2.2 线性回归分析采用多元 (二元) 线性回

归统计分析，建立消化率（y）关于两因素——精料蛋白质水平（ $x_1$ ）、精料能量浓度（ $x_2$ ）的二元线性回归方程并检验其线性回归显著性。结果见表 7（注：其中 R 检验结果已列于表 6）。

表 7 日粮消化率（y）关于精料蛋白质水平（ $x_1$ ）和精料能量浓度（ $x_2$ ）的二元线性回归方程及线性回归显著性

Table 7 Two - factor (CP ( $x_1$ ) and GE ( $x_2$ ) of concentrated diets) linear regressive analysis of the digestibility (y) (including linear regressive equation and linear regression significance)

项目 Item	1~4 试验期 Trial 1 - 4		1~5 试验期 Trial 1 - 5		回归显著性				
	二元线性回归方程 Two - factor linear regression equation	F	Fcrit - 0.05	Fcrit - 0.01	Significance	$t_1$	$t_2$	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$
干物质 Dry matter	$\hat{y} = - 64.5674 + 2.1291x_1 + 3.4100x_2$ $\hat{y} = - 75.9897 + 2.1737x_1 + 3.9558x_2$	2.1307 4.3015	19.30 4.74	99.30 9.55	— —	1.1628 1.3104	1.5759 2.3877 *	2.571 2.365	4.032 3.499
粗蛋白 Crude protein	$\hat{y} = - 69.9695 + 4.1260x_1 + 1.8592x_2$ $\hat{y} = - 85.0702 + 4.1849x_1 + 2.5807x_2$	5.6877 4.6363	5.791 4.74	3.27 9.55	— —	3.0316 * 2.3976 *	1.1560 1.4804	2.571 2.365	4.032 3.499
粗脂肪 Crude fat	$\hat{y} = - 162.951 + 3.9066x_1 + 5.2055x_2$ $\hat{y} = - 162.225 + 3.9038x_1 + 5.1708x_2$	24.5722 33.2733	5.79 4.74	13.27 9.55	* * * *	4.4053 ** 4.5240 **	4.9672 ** 6.000 **	2.571 2.365	4.032 3.499
无氮浸出物 NFE	$\hat{y} = 3.3365 - 1.2910x_1 + 4.7684x_2$ $\hat{y} = 13.3411 - 1.3300x_1 + 4.2904x_2$	1.3095 1.9814	19.30 19.36	99.30 99.34	— —	- 0.5059 - 0.6090	1.5814 1.9670	2.571 2.365	4.032 3.499
中性洗涤纤维 NDF	$\hat{y} = - 77.4434 + 1.8553x_1 + 3.6258x_2$ $\hat{y} = - 88.2288 + 1.8974x_1 + 4.1411x_2$	2.3334 5.1472	19.30 4.74	99.30 9.55	— *	1.0640 1.2472	1.7596 2.7256 *	2.571 2.365	4.032 3.499
半纤维素 Hemi-cellulose	$\hat{y} = - 132.627 + 5.4287x_1 + 3.3410x_2$ $\hat{y} = - 153.082 + 5.5085x_1 + 4.3184x_2$	6.4445 10.8366	5.79 4.74	13.27 9.55	* * *	3.0406 * 3.3710 *	1.5835 2.6460 *	2.571 2.365	4.032 3.499
纤维素 Cellulose	$\hat{y} = - 44.6815 + 2.6170x_1 + 0.8185x_2$ $\hat{y} = - 59.9081 + 2.6764x_1 + 1.5461x_2$	3.4126 5.4232	5.791 4.74	3.27 9.55	— *	2.4499 2.6430 *	0.6484 1.5287	2.571 2.3653	4.032 .499
木质素 Lignin	$\hat{y} = 24.8774 - 0.7949x_1 - 0.2819x_2$ $\hat{y} = 20.0209 - 0.7760x_1 - 0.0499x_2$	2.2020 2.0031	19.30 19.36	99.30 99.34	— —	- 1.9444 - 1.9536	- 0.5836 - 0.1257	2.571 2.365	4.032 3.499
总能量 Gross energy	$\hat{y} = - 41.3657 + 2.1166x_1 + 2.2507x_2$ $\hat{y} = - 55.7862 + 2.1729x_1 + 2.9397x_2$	2.5598 4.8774	5.791 4.74	3.27 9.55	— *	1.5928 1.7093	1.4333 2.3155	2.571 2.365	4.032 3.499

表中同一项目，第一行为 1~4 试验期，第二行为 1~5 试验期；线性回归显著性栏中，—：  $P>0.05$ ，  $=0.05$ ；\*：  $P<0.05$ ，  $=0.05$ ；\*\*：  $P<0.01$ ，  $=0.01$ ；检验回归系数的统计量  $t$  值上标中“\*”表示“线性回归显著（ $=0.05$ ）”；“\*\*”表示“线性回归极显著（ $=0.01$ ）”；无上标则表示“线性回归不显著（ $=0.05$ ）”。

For the same item, the data in the first line come from Trial 1 - 4, while those in the second line from Trial 1 - 5; in the linear regression significance column, —:  $P>0.05$ ,  $=0.05$ , \*:  $P<0.05$ ,  $=0.05$ , \*\*:  $P<0.01$ ,  $=0.01$ ; if the value of statistic  $t$  has the superscript “\*” then the correspondent regression coefficient is significant ( $=0.05$ ); similarly, “\*\*” stands for “extremely significant ( $=0.01$ )”; and if the value of  $t$  has no superscript, then the correspondent is not significant ( $=0.05$ ).

由表 7 看出，1~4 试验期，粗脂肪、半纤维素，1~5 试验期，粗脂肪、半纤维素、中性洗涤纤维、纤维素、总能量等项消化率与二因素线性回归达到显著性水平（ $=0.05$ ）（其中粗脂肪及 1~5 期半纤维素达到极显著， $=0.01$ ），与前述复相关系数检验结果一致。精料 CP 水平与消化率的线性回归系数在 1~4 期粗脂肪、粗蛋白、半纤维素，1~5 期粗脂肪、粗蛋白、半纤维素、纤维素等项消化率达到显著（ $=0.05$ ）（其中粗脂肪达到极显著， $=0.01$ ）。精料 GE 浓度与消化率的线性回归系数在 1~4 期粗脂肪，1~5 期粗脂肪、半纤维

素、中性洗涤纤维、干物质等项消化率达到显著（ $=0.05$ ）（其中粗脂肪达到极显著， $=0.01$ ）。

由上可知二因素与粗脂肪消化率的线性回归关系比较显著，同时，1~5 期试验结果显示的消化率与二因素的线性回归关系又比 1~4 期的显著。

2.2.3 消化率各试验期之间的多重比较、日粮配方的优选

选用邓肯多重极差检验法（LSR 检验法）进行多重比较，判断每项消化率 1~5 试验期两两之间有无统计学上的显著差异。检验结果如表 8 所示。

由表 8 看出，除木质素各期两两之间均无显著

差异外,干物质、中性洗涤纤维、粗脂肪、半纤维素、能量等项消化率,第1期均显著(或极显著)高于其余4期(而其余4期试验结果两两之间差异

一般是不显著的,  $P > 0.05$ ),显然,第1种精料配方(CP2 × GE2)是优选配方。

表8 1~5 试验期消化率的多重比较结果

Table 8 Comparisons of digestibilities between different trials

干物质 DM		总能量 GE		粗蛋白 CP		粗脂肪 CFat		无氮浸出物 NFE	
试验期	消化率	试验期	消化率	试验期	消化率	试验期	消化率	试验期	消化率
Trial	Digestibility	Trial	Digestibility	Trial	Digestibility	Trial	Digestibility	Trial	Digestibility
1	48.95 <sup>a</sup>	1	48.78 <sup>a</sup>	1	50.97 <sup>a</sup>	1	19.17 <sup>a</sup>	1	74.25 <sup>a</sup>
3	40.07 <sup>b</sup>	3	41.68 <sup>B</sup>	4	49.31 <sup>a</sup>	2	12.90 <sup>bc</sup>	3	69.61 <sup>ac</sup>
2	39.45 <sup>b</sup>	4	40.32 <sup>B</sup>	2	44.97 <sup>a</sup>	4	12.24 <sup>bc</sup>	2	67.76 <sup>ac</sup>
4	37.92 <sup>b</sup>	2	40.21 <sup>B</sup>	5	40.81 <sup>a</sup>	5	5.66 <sup>De</sup>	5	64.51 <sup>bce</sup>
5	35.44 <sup>B</sup>	5	37.31 <sup>B</sup>	3	40.54 <sup>a</sup>	3	3.97 <sup>De</sup>	4	58.53 <sup>Bde</sup>
中性洗涤纤维 NDF		半纤维素 hemi-C		纤维素 Cellulose		木质素 Lignin			
试验期	消化率	试验期	消化率	试验期	消化率	试验期	消化率		
Trial	Digestibility	Trial	Digestibility	Trial	Digestibility	Trial	Digestibility		
1	34.88 <sup>a</sup>	1	47.60 <sup>a</sup>	1	25.60 <sup>a</sup>	3	5.12 <sup>a</sup>		
3	26.19 <sup>Bb</sup>	4	36.55 <sup>b</sup>	4	23.73 <sup>ac</sup>	2	4.08 <sup>a</sup>		
2	25.37 <sup>B</sup>	3	32.84 <sup>B</sup>	2	20.56 <sup>ac</sup>	5	3.54 <sup>a</sup>		
4	23.06 <sup>B</sup>	2	32.51 <sup>B</sup>	3	19.61 <sup>ac</sup>	1	3.22 <sup>a</sup>		
5	21.17 <sup>B</sup>	5	28.90 <sup>B</sup>	5	18.20 <sup>bc</sup>	4	3.12 <sup>a</sup>		

单字母上标与多字母上标比较时,只比较第一个字母;双字母上标与多字母上标比较时,只比较第二个字母;三字母上标之间比较时,只比较第三个字母。字母及大小写都相同:无显著差异 ( $x_i - x_j < \text{LSR}_{0.05}$ );字母不同,但大小写相同:差异显著 ( $x_i - x_j > \text{LSR}_{0.05}$ );字母不同,且大小写也不同:差异极显著 ( $x_i - x_j > \text{LSR}_{0.01}$ )

When a digestibility with a single superscript is compared with a digestibility with a double or triple superscript, only the first letter is necessary for comparison. When a digestibility with a double superscript is compared with another double-letter superscript digestibility, or with a triple-letter superscript digestibility, only the second letter is necessary for comparison. With two triple-letter superscript digestibilities, only comparison of the third letter is needed. Digestibilities with the same superscript (letter and case) proved to have no significant difference ( $x_i - x_j < \text{LSR}_{0.05}$ ). Those with different compared letter but case superscript proved to have significant difference ( $x_i - x_j > \text{LSR}_{0.05}$ ). Those where recompared superscript is a different letter and different case proved to have extremely significant difference ( $x_i - x_j > \text{LSR}_{0.01}$ )

### 3 讨论

本研究所测消化率是表观消化率,由于表观消化率对矿物质是没有意义的(杨凤,1991;邹兴淮,1990),因此本研究未涉及矿物质消化率。

双因子交叉分组试验设计虽在畜牧学上已广泛应用,但野生动物因试验动物少,试验周期长,操作难度大等原因而应用极少。本研究首次将2 × 2 (2CP × 2GE)设计运用到大熊猫消化试验设计,并采取了以下一些措施来提高试验准确性。

试验设计上:试验期(不同精料配方)的安排是随机的;设置了重复(2只大熊猫);2只大熊猫均参加5期消化试验,减少了各期若用不同大熊猫可能引起的组间误差,实际是畜牧统计学上成对动物试验的引申或改进。这些措施满足了随机、设置

重复、局部控制的统计学要求。

试验实施上:适当延长试验期天数,每期正试期达8 d之久;每天每次投竹时都取样和取空白样(空白样用来测鲜竹失水率),且竹叶与竹杆分别取样;粪便称量和取样时将精料便和竹便,竹叶便和竹杆便分开来计;窝头也是每天每次投喂时都取样。但是,由于受试验动物所限(只有2只),增大了组内误差;试验时间跨度大(从11月上旬至次年1月上旬);收粪时不可避免夹带一些泥砂;以及大熊猫偶尔食草等因素,都增加了试验误差,有待在以后试验中改进。

采食量第1、2期较小,3、4、5期较大,而1、2期精料能量浓度较高,3、4、5期能量浓度较低,说明精料能量浓度越高,采食量越低,反之亦然;同时,1、2期之间、3、4期之间采食量差别



不大, 而 1、2 期之间蛋白质水平不同, 3、4 期之间蛋白质水平不同, 说明精料的蛋白质水平并不影响采食量。除与营养有关外, 可能还因为 3、4、5 期试验时已是严冬, 气温较低, 故大熊猫需增大采食量以此增加能量摄取以维持体温, 抵消热增耗。

本研究中, 干物质、粗蛋白、粗脂肪、无氮浸出物、半纤维素及能量的消化率均随精料蛋白质水平的提高而提高 (表 5); 各项消化率都随精料能量水平的提高而提高 (表 6)。换言之, 就消化率而言, 2 只大熊猫倾向于高蛋白、高能量精料, 原因可能是亚成体大熊猫生长发育尚未停止, 新陈代谢旺盛, 因而需要较高的营养水平。竹子是一种营养低劣的食物, 大熊猫是竹子的低效消化者, 于是以多食和择食来获取尽可能多的细胞内含物 (吕益新和周永年, 1996; 阮世炬和雍严格, 1983), 圈养大熊猫没机会选择竹子, 因而饲养实践中应注意亚成体大熊猫的营养供应。

20 世纪 80 年代, 研究人员普遍认为, 大熊猫是以竹子为生的动物, 在圈养条件下, 应尽量让大熊猫多食竹子, 少补给精饲料, 以少给饲料去强迫大熊猫多食竹子, 结果大熊猫身体状况极差, 发病率达 40%~50%, 肠梗阻、胃肠出血等疾病时有发生, 繁殖比较困难。1991 年以后, 重新调整了日粮配方, 精饲料供给量是 80 年代的 3 倍, 并由两餐制改成 4 餐制, 结果, 大熊猫食竹量反而比 80 年代还多, 健康状况大有改善, 发病率不到 20%, 产仔率和成活率大大提高 (张和民等, 2000)。

对无氮浸出物、中性洗涤纤维、能量的消化率, 精料的蛋白质水平及能量浓度二因素互作效应显著 (中性洗涤纤维、能量还达到了极显著), 因此, 饲养实践中应注意适宜的蛋白/能量比。

一般认为, 相关系数的绝对值低于 0.33 者, 称为弱相关; 介于 0.33~0.66 者, 称为中等程度相关; 大于 0.66 者, 称为强相关 (辽宁省锦州畜牧兽医学校, 2002)。应用该标准判断除个别相关系数为弱相关外, 绝大多数都达到了中等以上程度的相关, 有的甚至达到强相关 (表 6)。说明二因素对消化率的影响的确不容忽视。

从表 6 还可看出, 这种定性检验标准与  $t$  检验尺度不同 (后者更严格), 有的被判为强相关的, 在  $t$  检验中却未达显著水平 ( $=0.05$ )。

1~4 期试验与 1~5 期试验回归分析结果不完全一致, 主要是由于样本观测值太少 (处理数少, 且试验动物少) 从而使误差增大所致。从理论上讲, 样本观测值愈多, 则结果愈可信, 那么, 1~5 期的结果似乎更可信, 而 1~5 期不论相关系数还是线性回归分析结果, 达到显著的项目均较 1~4 期的多, 如此看来, 则二因素对消化率的影响确实不小。不过, 鉴于 1~5 期试验观测值仍比较少, 误差仍比较大, 因此, 有待于进一步改进和验证。

双因子交叉分组方差分析结果与相关性分析结果不完全一致, 如能量消化率, 在方差分析后认为二因素都对其产生了显著影响 ( $=0.05$ ), 但相关性分析, 所有项目却均未达到显著水平 ( $=0.05$ )。究其原因, 一是因为这两种分析的显著性检验尺度不完全一致, 第二, 可能也是主要原因, 是因为本研究的相关性分析 (相关系数、线性回归方程) 是线性分析, 相关不显著说明线性关系不显著, 不等于消化率与两考察因素之间不存在某种曲线相关关系, 也不排除二者可能有某种更优的非线性回归方程存在 (顾凤岐和曹晓光, 1994)。

消化率是衡量饲料营养价值和动物消化能力的统一指标, 所以, 除日粮外, 动物消化力 (个体差异) 也会影响消化率, 所以本研究结果也只具有相对的意义。

## 4 结论与建议

精料的蛋白质水平对亚成体大熊猫日粮粗蛋白消化率有显著影响 ( $P<0.05$ ) ( $r=0.783\ 0$ ), 对粗脂肪消化率有极显著影响 ( $P<0.01$ ) ( $r=0.672\ 3$ ); 精料的能量浓度对无氮浸出物、中性洗涤纤维、总能量的消化率有显著影响 ( $P<0.05$ ) ( $r$  分别为 0.556 9、0.604 7、0.505 2), 对粗脂肪消化率有极显著影响 ( $P<0.01$ ) ( $r=0.741\ 1$ ); 二因素交互作用对无氮浸出物消化率有显著影响 ( $P<0.05$ ), 对中性洗涤纤维、能量消化率有极显著影响 ( $P<0.01$ ); 二因素及其交互作用对其它各项消化率的影响均不显著 ( $P>0.05$ )。

1~4 试验期, 粗脂肪、半纤维素及 1~5 试验期粗脂肪、半纤维素、中性洗涤纤维、纤维素、总能量等项消化率与二因素线性回归达到显著性水平 ( $=0.05$ ) (其中, 1~4 期粗脂肪及 1~5 期粗脂肪、半纤维素达到极显著 ( $=0.01$ ))。

多重比较结果显示, 精料配方 1 (CP2  $\times$  GE2, 即 CP 20.61  $\times$  GE 19.53 MJ/kg) 是优选配方。

建议饲养实践中, 适当提高亚成体大熊猫精料的蛋白质水平和能量水平, 以满足亚成体大熊猫旺盛的新陈代谢、生长发育的需要, 同时注意适当的蛋白/能量比。

致谢: 本研究得到了卧龙自然保护区管理局局长兼中国保护大熊猫研究中心主任张和民总工程师和副局长、副主任王鹏彦总工程师的大力支持, 同时, 得到了技术人员吴立峰、韩洪应、许尔新、黄治及东北林业大学洪美玲、邹琦、俞长好、王战宁的热情帮助, 谨向以上同志表示衷心感谢。

#### 参考文献:

- Ellen S D, Qiu X M, Susan A M, Liu W X. 1995. Giant panda diets fed in Five Chinese Facilities: An Assessment. *Zoo Biology*, **14**: 211 - 222.
- Van Soest P. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. . A rapid method for the determination of cellulose and lignin. *J of the Association of Official Analytical Chemists*, **46**: 829 - 835.
- Van Soest P, Wine R. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. . Determination of plant cell wall constituents. *J of the Association of Official analytical Chemists*, **50**: 50 - 55.
- 王爱民, 张贵权. 2002. 不同粗饲料比例的日粮饲喂亚成体大熊猫的平衡试验. *兽类学报*, **22** (1): 71 - 73.
- 中国农科院畜牧研究所, 中国动物营养学会编. 1985. 中国饲料成分及营养价值表. 北京: 农业出版社, 42 - 48.
- 辽宁省锦州畜牧兽医学校主编. 2002. 生物统计与畜牧兽医试验. 北京: 中国农业出版社, 106.
- 阮世炬, 雍严格. 1983. 大熊猫野外喂食和觅食的观察. *野生动物*, (1): 5 - 8.
- 北京农业大学主编. 1979. 家畜饲养实验指导. 北京: 中国农业出版社, 9 - 24; 37 - 52.
- 吕益新, 周永年. 1996. 大熊猫消化道的特点. *动物学杂志*, (4): 161 - 163.
- 刘选珍, 李光汉, 余建秋, 李学兵, 黄祥明, 杨智, 叶智勇, 何娅玲. 1997. 亚成体大熊猫日粮氨基酸表观消化率的初步研究. 见: 97成都国际大熊猫保护学术研讨会论文集. 成都: 四川科技出版社, 43 - 47.
- 杨永年主编. 1990. 畜牧统计学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 184 - 185.
- 杨凤. 1991. 动物营养学. 北京: 农业出版社, 9 - 41; 113.
- 杨胜. 1993. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 北京农业大学出版社, 13.
- 张和民, 王鹏彦, 张贵权, 魏荣平. 2000. 卧龙大熊猫保护及研究技术的进展. *四川动物*, 19 (1): 35 - 38.
- 陈玉村, 王爱民, 邹琦, 邹兴淮. 1995. 大熊猫日粮粗纤维消化率的研究. 见邹兴淮主编. 中国濒危野生动物驯养繁殖研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 68 - 72.
- 邹兴淮, 邹琦, 张旋, 陈玉村. 1991. 大熊猫常规饲料的消化试验. 大熊猫繁殖与疾病研究. 成都: 四川科技出版社, 272 - 277.
- 邹兴淮主编. 1990. 野生动物营养学. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 40: 174.
- 顾凤岐, 曹晓光. 1994. 概率论与数理统计. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 312 - 360.