动物营养学报 2024,36(4):2612-2622
Chinese Journal ofAnimal Nutrition

doi:10.12418/CJAN2024.225

成年马来穿山甲饲粮适宜粗蛋白质水平研究

贺慧冰[1,2] 王 凯[2*] 许学林[2] 安富宇[2] 李永政[2] 王祥和[2]
李 瑞[3] 周锡红[3] 印遇龙[3] 卫功庆[1**] 华 彦[2**]

(1.吉林农业大学动物科学技术学院，吉林省中医药管理局药用动物养殖二级实验室，长春 130118;2.广东省林业科学院，广东省森林培育与保护利用重点实验室，广州 510520;3.中国科学院亚热带农业生态研究所，长沙 410125)

摘 要：本试验旨在研究饲粮粗蛋白质水平对圈养成年马来穿山甲体重、平均日采食量、粪便评分、血液生化和抗氧化指标及营养物质表观消化率的影响，以确定成年马来穿山甲饲粮适宜粗蛋白质水平。试验采用6×6拉丁方设计，选择6只（雌、雄各3只）体重相近的健康成年马来穿山甲，分别饲喂粗蛋白质水平为40%(Ⅰ组)、42%(Ⅱ组)、44%(Ⅲ组)、46%(Ⅳ组)、48%(Ⅴ组)、50%(Ⅵ组)的试验饲粮。试验分为6个阶段，每个阶段14 d，包括预试期7 d和正试期7 d。结果表明：1)各组之间初重、末重和平均日采食量均无显著差异(P>0.05)。2)各组之间粪便评分和水分含量均无显著差异(P>0.05)。3)各组之间血浆白蛋白、尿素氮、葡萄糖、甘油三酯、胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇含量及丙氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶、乳酸脱氢酶、脂肪酶活性均无显著差异(P>0.05)，但血浆总蛋白含量存在差异趋势(P=0.060)。4)Ⅲ组的血清过氧化氢酶活性极显著高于Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ组(P<0.01)，Ⅴ组的血清过氧化氢酶活性极显著高于Ⅱ组(P<0.01)，Ⅴ组的血清过氧化氢酶活性显著高于Ⅳ、Ⅵ组(P<0.05)。5)Ⅴ组的粗灰分表观消化率显著高于Ⅱ组(P<0.05)。由此可见，在本试验条件下，圈养成年马来穿山甲的饲粮适宜粗蛋白质水平为44%。

关键词：马来穿山甲；粗蛋白质；粪便评分；血浆生化指标；血清抗氧化指标；表观消化率
中图分类号：S86 文献标识码：A 文章编号：1006-267X(2024)04-2612-11

马来穿山甲(Manis javanica)隶属鳞甲目(Pholidota)，鲮鲤科(Manidae)，鲮鲤属(Manis)，是极度濒危的国家一级保护动物、国际自然保护联盟(ICUN)濒危物种红色名录“极度濒危”物种，被《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)列为附录Ⅰ[1-3]。随着马来穿山甲野外种群数量的不断减少，开展人工救护和繁育成为保护这一极度濒危物种的有效措施。然而，在圈养环境下，人工饲粮中粗蛋白质(CP)等主要营养水平是否满足成年马来穿山甲需求尚不清楚。

蛋白质是动物机体的重要组成成分，是动物进行代谢、生产的基础[4-5]。饲粮中蛋白质是动物生长所需蛋白质的主要来源，是决定饲粮品质的重要营养指标[4-5]。饲粮中适宜的CP含量可维持动物肠道健康，保障动物的消化吸收和免疫防御[6]。野外穿山甲主要以多种蚂蚁和白蚁为食，偶尔采食一些昆虫幼虫和节肢动物[7-9]。在穿山甲野外食物的相关研究中，柯亚永等[10]记录到3种蚁类的CP含量超过干重的50%;李旭等[11]研究发现穿山甲取食蚁类的CP含量占风干重量的

收稿日期：2023-10-31
基金项目：广州市科技计划项目(2023A04J0837)；广东省林业局自然资源事务专项资金---生态林业建设项目“穿山甲营养需求及人工饲料研发”
作者简介：贺慧冰(2000-)，女，湖南湘潭人，硕士研究生，研究方向为濒危野生动物营养。E-mail：heuiing@163.com
*同等贡献作者
**通信作者：卫功庆，教授，硕士生导师，E-mail：wgq@jlau.edu.cn;华 彦，正高级工程师，E-mail：wildlife530@163.com

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

30%～70%；Xu 等[12]对双齿多刺蚁蚁群的分析发现，其 CP 含量超过 60%。然而在穿山甲的圈养环境下，Wang 等[9]报道，10 个不同穿山甲保护机构饲料配方及其营养成分存在较大差异，其中 CP 水平在 32.41%～55.11%。

本研究于国家林业和草原局穿山甲保护研究中心进行，该穿山甲保护研究中心自 2020 年开展穿山甲的救护与繁育工作，救护成功率达 80%，多只马来穿山甲成功妊娠并产下幼崽。国家林业和草原局穿山甲保护研究中心马来穿山甲人工饲粮 CP 水平为 44.50%。因此，本试验以国家林业和草原局穿山甲保护研究中心人工饲粮 CP 水平作为中间值，参考环江香猪、生长貉、藏香猪[13-15]等哺乳动物设 6 个不同饲粮 CP 水平，旨在研究饲粮中不同 CP 水平对圈养的成年马来穿山甲体重、平均日采食量、粪便评分、血液生化指标和抗氧化指标及营养物质表观消化率的影响，以确定成年马来穿山甲饲粮适宜 CP 水平，为马来穿山甲的人工饲养提供科学参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物和试验设计

马来穿山甲作为极度濒危物种，人工圈养种群数量较少。本研究依托国家林业和草原局穿山甲保护研究中心作为试验基地，试验开展时（2022 年 8-11 月）该中心共有 21 只马来穿山甲，是国内最大的马来穿山甲人工圈养种群之一。该种群包括哺乳期母甲、幼崽、亚成体、成体，其中成年马来穿山甲共有 12 只。受试验动物数量限制，因此，本试验只能从成年穿山甲中选择 6 只（雌、雄各 3 只）体重相近的健康个体作为试验对象，采用 6×6 拉丁方设计，设 6 个饲粮 CP 水平，分别为 40%（Ⅰ组）、42%（Ⅱ组）、44%（Ⅲ组）、46%（Ⅳ组）、48%（Ⅴ组）、50%（Ⅵ组）。试验分为 6 个阶段，每个阶段 14 d，包括预试期 7 d 和正试期7 d。所有动物试验和样本采集程序均由广东省林业科学研究院批准（00202310-20/8/2022），获广东省野生动物监测救护中心支持和批准（200753-27/8/2022）。

1.2　试验饲粮和饲养管理

试验饲粮参考国家林业和草原局穿山甲保护研究中心饲粮，饲粮组成及营养水平见表 1。根据穿山甲饲养管理规定，试验期间所有试验动物单笼饲养，每日清扫，定期消毒；每日 16：00 饲喂 1 次，自由采食与饮水，次日 09：00 记录实际采食量。试验期间对试验动物进行体况监测，并定期进行空腹体重的检测。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups					
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
原料 Ingredients						
苹果 Apple	20.00	18.80	18.00	17.00	15.00	14.00
蜂蛹 Bee pupa	8.30	6.40	6.60	6.40	7.20	6.80
蚕蛹干 Dried silkworm chrysalis	6.20	7.80	6.40	7.00	6.60	5.60
蚯蚓干 Dried earthworm	1.20	2.70	3.80	5.80	6.00	7.60
黑蚂蚁 Phyllostomus nigricollis	25.00	33.00	35.00	36.20	37.80	39.60
黑水虻幼虫干 Dried black gadfly larvae	15.00	10.40	7.80	6.00	4.40	2.10
面包虫干 Dried bread worms	6.60	3.80	4.80	4.00	3.60	4.80
蟋蟀干 Dried crickets	2.20	4.50	6.20	7.40	9.80	11.00
山楂干 Dried hawthorn	5.50	4.00	4.00	3.50	3.60	3.50
土壤 Soil	10.00	8.60	7.40	6.70	6.00	5.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels						
干物质 DM	94.18	94.03	93.48	93.78	93.47	94.00
粗蛋白质 CP	39.75	41.58	43.71	45.91	47.21	49.82
总能 GE/(MJ/kg)	19.50	19.93	19.87	20.01	20.35	20.53

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

续表 1

项目 Items	组别 Groups					
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
粗脂肪 EE	18.31	16.47	16.49	16.60	15.65	15.18
粗灰分 Ash	16.66	15.86	12.91	14.05	13.09	11.31
钙 Ca	0.57	0.34	0.48	0.24	0.43	0.29
总磷 TP	1.19	1.26	1.28	1.33	1.26	1.26

营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.3 样品采集和指标检测

1.3.1 体重和平均日采食量

每个阶段试验开始和结束时称量体重，并根据记录的实际采食量计算平均日采食量。

1.3.2 粪便评分和水分含量

每天观察并记录穿山甲粪便情况，对穿山甲粪便进行粪便评分。参考 Grellet 等[16] 和 Clark 等[17] 的方法制定粪便评分标准（表 2）。将粪便于 60 ℃恒温烘干后称重，计算粪便水分含量。

表 2 粪便评分标准

Table 2 Fecal score standard

评分 Score	评分标准 Score standard
1	液状粪便
2	稠状软便伴成形软便
3	成形但软、黏；水分含量高
4	成形、较干燥但不硬、不黏，捡起后地面残留少
5	成形、坚硬或干燥易碎

1.3.3 血液生化和抗氧化指标

每个阶段正试期结束的第 2 天上午，空腹采集穿山甲血液 2～3 mL，分别置于 1.5 mL 离心管和肝素处理管中，3 000×g 离心 10 min 后取上清装于 1.5 mL 离心管中，收集血清和血浆，-80 ℃保存，用于血液生化和抗氧化指标检测。

将制备好的血浆送往中国科学院亚热带农业生态研究所，进行血浆生化指标的测定。使用全自动生化分析仪（Cobas C311，瑞士 Roche 公司），试剂来自瑞士 Roche 公司，检测指标包括血浆葡萄糖（GLU，04404483190）、甘油三酯（TG，20767107322）、总蛋白（TP，03183734190）、白蛋白（ALB，03183688122）、尿素氮（UN，04460715190）、胆固醇（CHOL，03039773190）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C，03038866322）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C，04399803190）含量及丙氨酸氨基转移酶（ALT，20764957322）、碱性磷酸酶（ALP，03333701190）、乳酸脱氢酶（LDH，03004732122）、脂肪酶（LIP，03029590322）活性。

将制备好的血清送往南京博研生物有限公司，进行血清抗氧化指标的测定。使用来自南京博研生物有限公司的试剂盒，检测指标包括血清还原型谷胱甘肽（GSH，BYSH-0206W）、氧化型谷胱甘肽（GSSG，BYSH-0207W）、丙二醛（MDA，BYSH-0109W）含量及谷胱甘肽过氧化物酶（GPx，BYSH-0204W）、过氧化氢酶（CAT，BYSH-0105W）、超氧化物歧化酶（SOD，BYSH-0103W）活性。

1.3.4 营养物质表观消化率

正试期采用全收粪法收集每只穿山甲每天饲喂前的所有粪便，作为该个体前 1 天的完整排粪量，连续收集 7 d，称重并做好记录，置于 60 ℃烘箱中烘干后保存备用。正试期内每天收集饲粮样品 30 g，置于 60 ℃烘箱中烘干后保存备用。

饲粮和粪便中的干物质（DM）含量参照《饲料中水分的测定》（GB/T 6435-2006）测定，粗灰分（Ash）含量参照《饲料中粗灰分的测定》（GB/T 6438-2007）测定，CP 含量参照《饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法》（GB/T 6432-2018）测定，粗脂肪（EE）含量参照《饲料中粗脂肪的测定》（GB/T 6433-2006），钙（Ca）含量参照《饲料中钙的测定》（GB/T 6436-2018）测定，总磷（TP）含量参照《饲料中总磷的测定 分光光度法》（GB/T 6437-2018）测定，总能（GE）通过 HXR-6000 型全自动氧弹测热仪（湖南华兴能源科技有限公司）进行测定。相关指标计算公式如下：

DM 表观消化率（%）= 100×（DM 采食量-粪便中 DM 排出量）/DM 采食量；

GE 表观消化率（%）= 100×（摄入 GE-

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粪便 GE）/摄入 GE；

各营养物质表观消化率（%）＝100×（该营养物质摄入量－粪便中该营养物质排出量）/该营养物质摄入量。

1.4　数据统计与分析

数据经 Excel 2021整理后，由 Shapiro-Wilk检验确认数据的正态分布，采用 GraphPad Prism 9.0软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），多重比较采用 Tukey法进行。当数据不符合正态分布时，采用 Kruskal-Wallis检验显著性。结果以“平均值±标准误（mean±SE）”表示，P<0.01 为差异极显著，P<0.05 为差异显著，0.05≤P<0.10 表示有差异趋势。

2　结　果

2.1　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲体重和平均日采食量的影响

由表 3 可知，各组之间初重、末重和平均日采食量均无显著差异（P>0.05）。

表 3　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲体重和平均日采食量的影响

Table 3　Effects of dietary crude protein level on body weight and average daily feed intake of adult Manis javanica

项目 Items	组别 Groups						P值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
初重 IBW/kg	6.92±0.73	6.84±0.74	6.86±0.70	6.88±0.71	6.90±0.76	6.86±0.75	0.999
末重 FBW/kg	6.94±0.76	6.85±0.76	6.85±0.69	6.85±0.75	6.95±0.78	6.87±0.71	0.999
平均日采食量 ADFI/（g/d）	220.62±9.53	226.40±9.29	228.72±7.20	229.38±10.24	228.32±10.17	223.52±11.37	0.954

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），相同小写字母或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01), while with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲粪便评分和水分含量的影响

由表 4 可知，成年马来穿山甲的粪便评分在 3.3～3.8，粪便水分含量在 60%～67%，各组之间粪便评分和水分含量均无显著差异（P>0.05）。

2.3　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲血浆生化指标的影响

由表 5 可知，各组之间血浆 ALB、UN、GLU、TG、CHOL、LDL-C 和 HDL-C 含量及 ALT、ALP、LDH、LIP 活性均无显著差异（P>0.05），但血浆 TP 含量存在差异趋势（P=0.060）。

表 4　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲粪便评分和水分含量的影响

Table 4　Effects of dietary crude protein level on fecal score and moisture content of adult Manis javanica

项目 Items	组别 Groups						P值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
粪便评分 Fecal score	3.48±0.04	3.63±0.12	3.59±0.10	3.47±0.16	3.50±0.13	3.50±0.15	0.911
粪便水分含量 Fecal moisture content/%	65.02±1.47	62.53±1.99	63.79±1.57	63.73±2.63	63.40±2.38	64.88±1.79	0.943

2.4　饲粮 CP水平对成年马来穿山甲血清抗氧化指标的影响

由表 6 可知，各组之间血清 MDA、GSSG、GSH 含量及 SOD、GPx 活性无显著差异（P>0.05）。Ⅲ组的血清 CAT 活性极显著高于Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ组（P<0.01），Ⅴ组的血清 CAT 活性极显著高于Ⅱ组（P<0.01），Ⅴ组的血清 CAT 活性显著高Ⅳ、Ⅵ组（P<0.05）。

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 5 饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血浆生化指标的影响

Table 5 Effects of dietary crude protein level on plasma biochemical indices of adult Manis javanica

项目 Items	组别 Groups						P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
总蛋白 TP/(g/L)	89.82±1.55	96.23±2.48	97.11±3.22	88.92±3.03	97.35±1.71	91.40±2.44	0.060
白蛋白 ALB/(g/L)	41.19±3.27	48.56±2.48	42.41±2.11	42.13±2.08	44.02±1.91	38.16±3.27	0.147
丙氨酸氨基转移酶 ALT/(U/L)	43.21±2.57	41.01±1.55	50.45±7.98	55.51±7.46	39.37±5.67	42.80±2.53	0.359
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	125.24±11.36	115.45±8.03	116.61±7.89	113.10±12.89	128.52±16.51	107.20±8.40	0.882
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	209.73±16.75	223.47±12.31	224.61±8.63	195.96±26.22	202.84±14.35	214.17±20.07	0.826
尿素氮 UN/(mmol/L)	9.10±0.73	9.39±0.13	11.73±0.91	11.00±0.88	10.23±0.71	9.61±0.47	0.192
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.89±0.25	5.06±0.20	5.17±0.50	5.45±0.19	5.98±0.13	5.25±0.32	0.155
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.93±0.13	0.96±0.09	1.16±0.11	0.96±0.08	0.90±0.08	0.81±0.06	0.227
胆固醇 CHOL/(mmol/L)	3.44±0.43	3.75±0.37	4.81±0.67	4.03±0.42	3.99±0.29	4.40±0.37	0.335
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.98±0.11	1.11±0.10	1.45±0.19	1.19±0.11	1.20±0.10	1.37±0.11	0.156
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	1.71±0.17	2.28±0.27	2.50±0.46	2.26±0.21	2.62±0.17	2.69±0.36	0.225
脂肪酶 LIP/(U/L)	40.23±4.67	36.18±3.81	51.70±9.30	40.26±3.28	34.64±4.88	31.31±2.65	0.272

表 6 饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血清抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of dietary crude protein level on serum antioxidant indices of adult Manis javanica

项目 Items	组别 Groups						P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	161.10±34.07	194.53±26.02	171.05±16.09	186.55±33.04	142.86±40.92	156.25±36.69	0.871
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	52.72±4.13	56.95±3.35	52.32±5.76	57.36±3.39	45.82±5.08	44.23±3.57	0.183
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	41.93±2.43^{ABab}	36.03±0.85^{Cc}	45.48±1.38^{Aa}	37.81±1.11^{Bb}	44.50±1.30^{ABa}	37.55±1.19^{Bb}	<0.001
谷胱甘肽过氧化物酶 GPx/(U/mL)	792.09±23.41	740.86±38.84	692.91±40.88	700.52±49.07	684.16±34.17	688.35±31.33	0.291
氧化型谷胱甘肽 GSSG/(nmol/mL)	23.54±2.00	25.26±1.78	22.58±1.64	23.58±0.75	25.60±2.45	25.15±0.86	0.761
还原型谷胱甘肽 GSH/(μmol/mL)	1.35±0.06	1.35±0.02	1.28±0.06	1.21±0.02	1.28±0.09	1.28±0.08	0.568

2.5 饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲营养物质表观消化率的影响

由表7可知，各组之间DM、EE、CP和GE表观消化率存在差异趋势(0.05≤P<0.10)。Ⅴ组的Ash表观消化率显著高于Ⅱ组(P<0.05)。

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 7　饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲营养物质表观消化率的影响

Table 7　Effects of dietary crude protein level on nutrient apparent digestibility of adult Manis javanica　　%

项目 Items	组别 Groups						P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
干物质 DM	86.05±0.64	84.47±0.50	86.52±0.62	86.22±0.31	86.73±0.74	86.38±0.45	0.093
粗蛋白质 CP	88.16±0.70	85.70±0.46	88.71±0.67	87.89±0.69	87.06±0.93	87.51±0.47	0.059
粗脂肪 EE	98.68±0.10	98.69±0.09	98.38±0.11	98.27±0.08	98.21±0.18	98.41±0.23	0.093
粗灰分 Ash	68.29±1.35[ab]	67.64±1.08[b]	70.19±2.40[ab]	73.57±1.19[ab]	75.10±1.58[a]	71.87±2.00[ab]	0.022
总能 GE	91.79±0.22	90.47±0.51	91.63±0.55	90.90±0.54	90.44±0.61	89.91±0.34	0.070

3　讨　论

3.1　饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲体重和平均日采食量的影响

成年穿山甲的日常饲养管理中，体重、采食量是重要的监测指标。Lin 等[18]研究发现，摄食与消化试验期间，中华穿山甲的体重保持在 6～9 kg；燕洪美[19]研究表明，饲喂的成年中华穿山甲体重保持稳定。本研究中，不同 CP 水平饲粮的 GE 接近，各阶段正试期内马来穿山甲的饲喂量相同，平均体重保持在 6.1～7.7 kg，说明本试验所设定的饲粮 CP 水平能够满足穿山甲的日常需求，并且不存在营养过剩的情况。

3.2　饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲粪便评分和水分含量的影响

本试验中，马来穿山甲饲粮均为粥样饮食，饲料原料与水的重量比例均为 1∶1.5，土壤占比在 5%～10%。Cabana 等[20]研究表明，饲喂成年马来穿山甲基础饲粮和添加土壤的饲粮，其粪便评分未达到理想状态，而饲喂添加几丁质的饲粮的粪便评分更为理想；Clark 等[17]研究表明，当食蚁兽和土豚的粪便 DM 含量分别为 40% 和 35%～40% 时，粪便评分较为理想。本研究中，各组粪便水分含量在 60%～67%，粪便评分在 3.3～3.8，均较为理想。由此可初步推断，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲的肠道健康无不良影响。

3.3　饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血浆生化指标的影响

血浆生化指标的变化与动物机体对饲粮中营养物质的吸收与代谢密切相关[4]。血浆 TP、ALB、UN 含量的变化可反映动物机体蛋白质代谢状况、营养状态[21]。血浆 TP 含量在一定程度上代表了饲粮中蛋白质的营养水平及动物对蛋白质的消化吸收程度[22]。本试验中，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血浆 TP、ALB 和 UN 含量无显著影响。程治和等[23]研究表明，饲粮 CP 水平对肉兔血浆 TP 含量无显著影响。谭占坤等[24]研究表明，饲粮 CP 水平对藏猪血浆 TP 和 UN 含量无显著影响。以上结果提示，本试验的饲粮 CP 水平设定合理，成年马来穿山甲的营养状况良好。

GLU 含量反映机体对 GLU 的摄入及利用水平[23]；TG 和 CHOL 是脂质在血液中的主要存在形式，TG 参与机体物质和能量代谢，其含量反映了机体对脂类吸收、利用和代谢状况[25-27]；LDL-C 和 HDL-C 参与 CHOL 在肝脏内外的代谢运输过程[28]。本研究结果显示，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血浆 GLU、TG、CHOL、HDL-C、LDL-C 含量无显著影响。张相伦等[4]报道，饲粮 CP 水平对草原红牛血浆 GLU、TG、TC 含量无显著影响；程治和等[23]研究发现，，饲粮 CP 水平对肉兔血浆 GLU、TG、LDL-C 含量无显著影响。以上研究结果提示，本试验饲喂的饲粮能满足马来穿山甲的能量需求和脂类需求。

LDH 是衡量肾脏功能的重要指标[29]；胰腺损伤是 LIP 活性增加的最主要原因[30]；ALP 是衡量肝脏损伤的重要指标[31]；ALT 活性与蛋白质代谢、肝脏功能密切相关，常作为诊断肝脏功能的指标[32-33]。本研究中，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血浆 LDH、LIP、ALT、ALP 活性无显著影响。刘可园等[34]研究表明，饲粮 CP 水平对成年比格犬的血浆 ALT 活性无显著影响。谭占坤等[24]研究表明，饲粮 CP 水平对藏猪血浆 ALT、ALP 活性无显著影响。以上结果提示，本试验所设定的饲粮 CP 水平对马来穿山甲的肝脏、肾脏和胰腺无不良影响。

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.4 饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血清抗氧化指标的影响

机体抗氧化能力的变化在一定程度上反映动物健康和生理状况[35]。衡量机体抗氧化能力的指标包括 SOD、CAT、GPx 活性以及 GSH、GSSG 与 MDA 含量等，血清 SOD、CAT 和 GPx 活性越高代表机体的抗氧化能力越强，MDA 含量间接反映机体的抗氧化能力[36]。本研究中，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲血清 MDA、GSSG、GSH 含量及 SOD、GPx 活性无显著影响，对血清 CAT 活性有极显著影响。王明礼等[37]对乳鸽的研究发现，低 CP 水平组的血清 MDA 含量显著低于高 CP 水平组，而血清 CAT 活性无显著差异；刘可园等[34]研究表明，随着饲粮 CP 水平的升高，成年比格犬血清 MDA 含量和 GPx 活性显著升高，血清 SOD 活性显著降低。以上研究结果表明，本研究的饲粮 CP 水平设置合理，且Ⅲ组和Ⅴ组的机体抗氧化能力较强。

3.5 饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲营养物质表观消化率的影响

营养物质表观消化率是反映动物营养是否均衡的重要指标。本研究结果表明，Ⅲ组的 CP 表观消化率最高。Jiang 等[38]研究表明，妊娠期水貂的 CP 表观消化率随饲粮 CP 水平的增加呈线性升高。李伟等[39]研究报道，饲喂 17.01% CP 水平饲粮的豪猪 CP 表观消化率显著高于饲喂 15.04% CP 水平饲粮。高歌等[40]研究表明，饲喂高 CP 水平饲粮的生长猪 CP、DM 和 GE 表观消化率显著高于饲喂低 CP 水平饲粮。本研究中，饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲 DM、GE 和 EE 表观消化率无显著影响；当饲粮 CP 水平在一定范围内时，成年马来穿山甲 Ash 表观消化率随着饲粮 CP 水平的升高而升高，且Ⅴ组显著高于Ⅱ组。刘可园等[34]研究表明，饲粮 CP 水平对成年比格犬的 DM 表观消化率无显著影响，Jiang 等[38]关于妊娠期水貂的研究发现，饲粮 CP 水平对 DM 和 EE 表观消化率无显著影响。这可能由于饲粮能量水平均在成年马来穿山甲可调节摄入量的范围内，因此对饲粮 CP 水平变化的敏感度较低。同时，本研究 GE 和 EE 表观消化率结果与本研究的血浆生化结果互为映证。

4 结 论

饲粮 CP 水平对成年马来穿山甲的体重、平均日采食量、粪便评分和水分含量及血浆生化指标均无显著影响；Ⅲ组的血清 CAT 活性最高，提示机体的抗氧化能力较强；Ⅲ组的 CP 表观消化率最高，Ⅴ组的 Ash 表观消化率显著高于Ⅱ组。在本试验条件下，圈养成年马来穿山甲的饲粮适宜 CP 水平为 44%。

参考文献：

[1] 魏辅文，杨奇森，吴毅，等. 中国兽类名录(2021 版)[J].兽类学报，2021，41(5):487-501.
WEI F W, YANG Q S, WU Y, et al. Catalogue of mammals in China (2021)[J]. Acta Theriologica Sinica, 2021, 41(5):487-501.(in Chinese)

[2] CHALLENDER D W S, HOFFMANN M, HOFFMANN R, et al. Criteria for CITES species protection[J]. Science, 2019, 364(6437):247-248.

[3] CHALLENDER D, WILLCOX D, PANJANG E, et al. Manis javanica. The IUCN red list of threatened species 2019:e.T12763A123584856[Z]. 2019.

[4] 张相伦，刘基伟，赵红波，等. 饲粮粗蛋白质水平对草原红牛呼吸代谢、养分表观消化率和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报，2021，33(12):6833-6842.
ZHANG X L, LIU J W, ZHAO H B, et al. Effects of dietary crude protein levels on respiration metabolism, nutrient apparent digestibility and serum biochemical indices of steppe red cattle[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(12):6833-6842.(in Chinese)

[5] 韩菲菲，钟伟，王静，等. 毛皮动物能量与蛋白质需要量研究进展[J]. 中国畜牧兽医，2019，46(11):3225-3233.
HAN F F, ZHONG W, WANG J, et al. Research progress on energy and protein requirements of fur animals[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 46(11):3225-3233.(in Chinese)

[6] 燕磊，安沙，蒋梦宇，等. 日粮蛋白水平对单胃动物肠道消化吸收功能及健康影响的研究进展[J]. 中国畜牧杂志，2021，57(3):53-59.
YAN L, AN S, JIANG M Y, et al. Advance in effects of dietary protein level on intestinal digestive-absorptive functions and health in monogastric animals[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021, 57(3):53-

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

59.(in Chinese)

[7] 吴诗宝，刘迺发，李有余，等. 中国穿山甲的食性与觅食行为初步观察[J]. 应用与环境生物学报，2005，11(3):337-341.
WU S B, LIU N F, LI Y Y, et al. Observation on food habits and foraging behavior of Chinese pangolin (Manis pentadactyla) [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2005, 11(3):337-341.(in Chinese)

[8] 余经裕，彭建军. 中华穿山甲生态生物学研究进展与前瞻[J].林业科技通讯，2016(1):43-47.
YU J Y, PENG J J. Progress and prospects in the ecobiology of the Chinese pangolin[J]. Practical Forestry Technology, 2016(1):43-47.(in Chinese)

[9] WANG X M, JANSSENS G P J, XIE C G, et al. To save pangolins: a nutritional perspective[J]. Animals, 2022, 12(22):3137.

[10] 柯亚永，常弘，吴诗宝，等. 穿山甲主要食物营养成分研究[J].动物学研究，1999，20(5):394-395.
KE Y Y, CHANG H, WU S B, et al. A study on Chinese pangolin's main food nutrition [J]. Zoological Research, 1999, 20(5):394-395.(in Chinese)

[11] 李旭，周杰珑，郭子发，等. 西双版纳地区穿山甲取食的几种蚂蚁营养成分分析[J]. 四川动物，2010，29(5):620-621.
LI X, ZHOU J L, GUO Z F, et al. The analysis on nutrition contents of ants preyed on by Manis pentadactyla, Xishuangbanna of China [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2010, 29(5):620-621.(in Chinese)

[12] XU N, YU J M, ZHANG F H, et al. Colony composition and nutrient analysis of Polyrhachis dives ants, a natural prey of the Chinese pangolin (Manis pentadactyla) [J]. Zoo Biology, 2022, 41(2):157-165.

[13] LIU Y T, AZAD M A K, ZHAO X C, et al. Dietary crude protein levels alter diarrhea incidence, immunity, and intestinal barrier function of Huanjiang minipigs during different growth stages [J]. Frontiers in Immunology, 2022, 13:908753.

[14] 巩文洋，李漠，牛一兵，等. 日粮粗蛋白质和粗脂肪水平对生长貉营养物质消化率和氮代谢的影响[J]. 中国畜牧兽医，2020，47(3):763-770.
GONG W Y, LI M, NIU Y B, et al. Effects of dietary protein and ether extract levels on nutrient digestibility and nitrogen metabolism of growing raccoon dogs[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2020, 47(3):763-770.(in Chinese)

[15] 周力，李雪清，侯生珍，等. 不同蛋白水平日粮对藏香猪断奶仔猪生长性能和血清生化指标的影响[J]. 家畜生态学报，2020，41(10):52-56.
ZHOU L, LI X Q, HOU S Z, et al. Effects of diet protein level on performance and blood biochemical indexes of weanling piglets in Zangxiang pigs [J]. Acta Ecologae Animalis Domastici, 2020, 41(10):52-56.(in Chinese)

[16] GRELLET A, FEUGIER A, CHASTANT-MAILLARD S, et al. Validation of a fecal scoring scale in puppies during the weaning period[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2012, 106(3/4):315-323.

[17] CLARK A, SILVA-FLETCHER A, FOX M, et al. Survey of feeding practices, body condition and faeces consistency in captive ant-eating mammals in the UK [J]. Journal of Zoo and Aquarium Research, 2016, 4(4):183-195.

[18] LIN M F, CHANG C Y, YANG C W, et al. Aspects of digestive anatomy, feed intake and digestion in the Chinese pangolin (Manis pentadactyla) at Taipei zoo [J]. Zoo Biology, 2015, 34(3):262-270.

[19] 燕洪美. 中华穿山甲饲料消化与能量代谢特征研究[D].硕士学位论文. 哈尔滨：东北林业大学，2022.
YAN H M. Study of dietary digestive and energy expenditure characters in Chinese pangolins [D]. Master's Thesis. Harbin: Northeast Forestry University, 2022.(in Chinese)

[20] CABANA F, TAY C. The addition of soil and chitin into Sunda pangolin (Manis javanica) diets affect digestibility, faecal scoring, mean retention time and body weight[J]. Zoo Biology, 2020, 39(1):29-36.

[21] 姚红梅，李鹏，庄梦晖，等. 盐碱地苜蓿对伊拉肉兔内脏器官发育及血液生化指标的影响[J]. 经济动物学报，2020，24(2):63-67，77.
YAO H M, LI P, ZHUANG M H, et al. Effects of alfalfa grown in saline-alkali land on visceral organ development and blood biochemical indices of IRA rabbit[J]. Journal of Economic Animal, 2020, 24(2):63-67, 77.(in Chinese)

[22] 王娟. 饲粮能量和蛋白质水平对 CRP 配套系商品代生长猪生产性能、消化代谢和血清生化指标的影响[D].硕士学位论文. 重庆：西南大学，2007.
WANG J. Effects of dietary protein and energy levels on performance, digestibility metabolism, and serum biochemical indices in CRP complete set line's commercial growing pigs [D]. Master's Thesis. Chongqing: Southwest University, 2007.(in Chinese)

[23] 程治和，黄佑倩，奴尔古扎力·艾热提，等. 不同蛋白

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

水平日粮对肉兔生长性能、血清生化指标和屠宰性能的影响[J].饲料研究，2022，45(22):74-77.
CHENG Z H, HUANG Y Q, AIRETI N E G Z L, et al.Effect of different protein levels on growth performance, serum biochemical indexes and slaughter performance of meat rabbits[J].Feed Research, 2022, 45(22):74-77.(in Chinese)

[24] 谭占坤，宋天增，商鹏，等. 饲粮粗蛋白水平对高海拔地区断奶藏仔猪生产性能和血液生化指标的影响[J].江苏农业科学，2017，45(11):111-114.
TAN Z K, SONG T Z, SHANG P, et al.Effects of dietary crude protein level on performance and blood biochemical parameters of weaned Tibetan piglets at high altitude[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(11):111-114.(in Chinese)

[25] 卢建，王克华，王龙生，等. 饲粮粗蛋白质水平对3~8周龄如皋黄鸡生长发育和血清生化指标的影响[J].动物营养学报，2022，34(12):7664-7674.
LU J, WANG K H, WANG L S, et al.Effects of dietary crude protein level on growth and development and serum biochemical indexes of Rugao yellow chickens aged from 3 to 8 weeks[J].Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(12):7664-7674.(in Chinese)

[26] 刘慧，张爱武，胡大伟，等. 不同水平蛋氨酸对埋植褪黑激素母貂营养物质消化率和血清生化指标的影响[J].经济动物学报，2014，18(1):19-23.
LIU H, ZHANG A W, HU D W, et al.Effect of different methionine levels on performance of female mink implanted with melatonin[J]. Journal of Economic Animal, 2014, 18(1):19-23.(in Chinese)

[27] 陈浩，王纯洁，斯木吉德，等. 饲粮精粗比对空怀母牛体况、繁殖激素分泌及血浆生化指标的影响[J]. 动物营养学报，2022，34(3):1569-1579.
CHEN H, WANG C J, SIMUJIDE, et al.Effects of dietary concentrate to forage ratio on body condition, reproductive hormone secretion and plasma biochemical indices of empty-breasted cows[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(3):1569-1579.(in Chinese)

[28] 韩菲菲，钟伟，张新宇，等. 饲粮代谢能和粗蛋白质水平对冬毛生长期雄性水貂生产性能、营养物质消化率、血清生化指标和脏器指数的影响[J]. 畜牧兽医学报，2020，51(12):3087-3100.
HAN F F, ZHONG W, ZHANG X Y et al. Effects of dietary metabolic energy and crude protein levels on production performance, nutrient digestibility, serum biochemical parameters and organ index of male mink during winter fur-growing period[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2020, 51(12):3087-3100.(in Chinese)

[29] 全雪容，张海涛，唐佳希，等. 黄芪多糖对银星竹鼠生长、血清生化和抗氧化指标的影响[J]. 经济动物学报，2021，25(4):232-237.
QUAN X R, ZHANG H T, TANG J X, et al. Effects of Astragalus polysaccharides on growth, serum biochemical and antioxidant indexes of Rhizomys pruinosus[J]. Journal of Economic Animal, 2021, 25(4):232-237.(in Chinese)

[30] 刘祥红，王青，师志云. 血清淀粉酶、脂肪酶、乳酸脱氢酶在急性胰腺炎的临床诊断意义[J]. 宁夏医学杂志，2013，35(12):1162-1163.
LIU X H, WANG Q, SHI Z Y. Clinical application of amylase, lipase and lactate dehydrogenase in diagnosis for patients with acute pancreatitis[J]. Ningxia Medical Journal, 2013, 35(12):1162-1163.(in Chinese)

[31] 顾静，陈祖涛，孙蔚，等. 乙型肝炎相关慢加急性肝衰竭患者血清碱性磷酸酶的变化及意义[J]. 肝脏，2019，24(11):1234-1236，1239.
GU J, CHEN Z T, SUN W, et al.Changes of serum alkaline phosphatase in patients with HBV-related acute-on-chronic liver failure and its significance[J]. Chinese Hepatology, 2019, 24(11): 1234-1236, 1239.(in Chinese)

[32] 姬真真，丁丽敏，付京杰. 断奶至4月龄藏獒最适能量和蛋白质水平的研究[J]. 现代牧业，2017，1(1):39-43.
JI Z Z, DING L M, FU J J. Study on energy and protein requirements of weaned to 4-month-age Tibetan mastiff[J]. Modern Animal Husbandry, 2017, 1(1):39-43.(in Chinese)

[33] 张树苗，张林源，梁兵宽，等. 麋鹿血清肝功能相关酶的测定与分析[J].动物医学进展，2013，34(5):71-76.
ZHANG S M, ZHANG L Y, LIANG B K, et al.Determination and analysis of liver-associated serum enzymes in Elaphurus davidianus[J].Progress in Veterinary Medicine, 2013, 34(5):71-76.(in Chinese)

[34] 刘可园，孙伟丽，刘晗璐，等. 饲粮蛋白质水平对成年比格犬营养物质消化率、氮代谢及血清生化和抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报，2020，32(9):4309-4317.
LIU K Y, SUN W L, LIU H L, et al.Effects of dietary protein level on nutrient digestibility, nitrogen metabolism and serum biochemical and antioxidant indices of

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

adult beagle dogs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(9):4309-4317.(in Chinese)

[35] 马丽娜，高总元，高海慧，等. 饲粮蛋白水平对哺乳期犊牛生长性能、血清生化、免疫与抗氧化指标的影响[J].饲料研究，2022, 45(13):12-15.
MA L N, GAO Z Y, GAO H H, et al. Effect of dietary protein level on growth performance, serum biochemical, immunological and antioxidant indices in lactating calves[J]. Feed Research, 2022, 45(13):12-15.(in Chinese)

[36] 曲湘勇，陈继发，徐勋，等. 酵母硒和纳米硒对乳鸽生产性能、肉中微量元素含量和血清抗氧化指标的影响[J].经济动物学报，2017, 21(1):23-28.
QU X Y, CHEN J F, XU X, et al. Effect of selenium yeast and nano-selenium on performance, meat trace elements content and serum antioxidant indices of squabs[J]. Journal of Economic Animal, 2017, 21(1):23-28.(in Chinese)

[37] 王明礼，王猛，李延森，等. 不同粗蛋白水平人工鸽乳对乳鸽生长性能、血清抗氧化水平及肠道发育的影响[J].畜牧兽医学报，2023, 54(4):1545-1554.
WANG M L, WANG M, LI Y S, et al. Effect of different crude protein levels of artificial crop milk on growth performance, serum antioxidant level and intestinal development of squabs[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2023, 54(4): 1545-1554.(in Chinese)

[38] JIANG Q K, LI G Y, ZHANG T T, et al. Effects of dietary protein level on nutrients digestibility and reproductive performance of female mink (Neovison vison) during gestation[J]. Animal Nutrition, 2015, 1(2): 65-69.

[39] 李伟，宋平，喻育才，等. 不同蛋白质水平日粮对豪猪生长性能及血液生化指标的影响[J]. 经济动物学报，2021, 25(2):108-113.
LI W, SONG P, YU Y C, et al. Effects of different protein level diets on growth performance and blood biochemical parameters of Hystrix hodgsoni[J]. Journal of Economic Animal, 2021, 25(2):108-113.(in Chinese)

[40] 高歌，李彦品，殷成港，等. 低蛋白低豆粕饲粮中添加大豆黄酮对生长猪生长性能、抗氧化能力和养分表观消化率的影响[J]. 中国畜牧杂志，2023, 59(6): 263-268.
GAO G, LI Y P, YIN C G, et al. Effect of soybean flavonoids added to low-protein, low-soybean meal rations on growth performance, antioxidant capacity and nutrient apparent digestibility in growing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2023, 59(6): 263-268.(in Chinese)

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

A Study on Optimal Dietary Crude Protein Level of Adult Manis javanica

HE Huibing[1,2] WANG Kai[2*] XU Xuelin[2] AN Fuyu[2] LI Yongzheng[2] WANG Xianghe[2]
LI Rui[3] ZHOU Xihong[3] YIN Yulong[3] WEI Gongqing[1**] HUA Yan[2**]

(1. Secondary Laboratory ofMedicinal Animal Breeding, Administration ofTraditional Chinese Medicine ofJilin Province, College ofAnimal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;
2. Guangdong Provincial Key Laboratory ofSilviculture, Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 3. Institute ofSubtropical Agriculture, Chinese Academy ofSciences, Changsha 410125, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary crude protein level on body weight, average daily feed intake, fecal score, blood biochemical and antioxidant indices and nutrient apparent digestibility of captive adult Manis javanica, to determine the dietary optimal crude protein level for adult Manis javanica. According to a 6×6 Latin square design, 6 healthy adult Manis javanica (3 males and 3 females) with similar body weight were selected, and fed the experimental diets with the crude protein levels of 40% (group Ⅰ), 42% (group Ⅱ), 44% (group Ⅲ), 46% (group Ⅳ), 48% (group Ⅴ) and 50% (group Ⅵ), respectively. The experiment was divided into 6 stages, with each stage lasting 14 days, including a pre-trial period of 7 days and a trial period of 7 days. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in the initial body weight, final body weight and average daily feed intake among all groups ($P>0.05$). 2) There were no significant differences in the fecal score and moisture content among all groups ($P>0.05$). 3) There were no significant differences in the contents of albumin, urea nitrogen, glucose, triglyceride, cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol and high-density lipoprotein cholesterol and activities of alanine aminotransferase, alkaline phosphatase, lactate dehydrogenase and lipase in plasma among all groups ($P>0.05$), while the plasma total protein content showed a different trend ($P=0.060$). 4) The serum catalase activity of group Ⅲ was significantly higher than that of groups Ⅱ, Ⅳ and Ⅵ ($P<0.01$), the serum catalase activity of group Ⅴ was significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.01$), and the serum catalase activity of group Ⅴ was significantly higher than that of groups Ⅳ and Ⅵ ($P<0.05$). 5) The crude ash apparent digestibility of group Ⅴ was significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.05$). In conclusion, under the conditions of this experiment, the dietary optimal crude protein level for captive adult Manis javanica is 44%. [Chinese Journal ofAnimal Nutrition, 2024, 36(4):2612-2622]

Key words: Manis javanica; crude protein; fecal score; plasma biochemical indices; serum antioxidant indices; apparent digestibility

*Contributed equally
**Corresponding authors: WEI Gongqing, professor, E-mail: wgq@jlau.edu.cn; HUA Yan, senior engineer, E-mail: wildlife530@163.com

(责任编辑 武海龙)

(c)1994-2024 china Academic Journal Electronic publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net