



# 亚洲象冬季日粮 营养分析及表观消化率测定

滑荣<sup>1</sup>, 王璐<sup>1</sup>, 刘涛<sup>1</sup>, 王宇奇<sup>1</sup>, 姜飞<sup>1</sup>,  
赵旭<sup>1</sup>, 刘天旭<sup>2</sup>, 张欢<sup>1</sup>, 张媛媛<sup>1</sup>, 刘燕<sup>1</sup>, 卢岩<sup>1\*</sup>

(1. 北京动物园管理处圈养野生动物技术北京市重点实验室, 北京, 100044;  
2. 中国农业大学动物科学技术学院畜禽营养与饲养全国重点实验室, 北京, 100193)

## 稿件运行过程

收稿日期: 2023-10-06

修回日期: 2023-11-28



**关键词:** 亚洲象;  
冬季饲养;  
日粮营养;  
表观消化率

**Keywords:** Asian elephant (*Elephas maximus*);  
Winter feeding;  
Dietary nutrition;  
Apparent digestibility

中图分类号: S864.4

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-04-0885-06

DOI: 10.12375/ysdwxb.20240422

## 摘要

在人工饲养亚洲象(*Elephas maximus*)的过程中,饲料营养是其健康状况的重要影响因素之一,但关于亚洲象饲料以及消化率相关的研究较少。为测定亚洲象日粮营养成分含量及摄入量、养分消化率,选取5头北京动物园圈养的成年亚洲象为试验动物,分析其冬季日粮的营养成分,同时收集粪便,测定其表观消化率。结果表明:亚洲象干物质采食量占其体质量的0.66%~1.20%,个体间养分消化率存在差异。试验用饲料干物质、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、钙和磷的平均消化率分别为(51.0±2.7)%、(67.2±2.4)%、(48.7±2.9)%、(57.6±3.3)%、(48.3±8.5)%和(61.8±6.0)%。研究结果可为进一步开展有关亚洲象的营养及饲料配方设计提供基础理论数据。

## Nutrient Analysis and Apparent Digestibility Determination of Winter Diet of Asian Elephants

HUA Rong<sup>1</sup>, WANG Lu<sup>1</sup>, LIU Tao<sup>1</sup>,  
WANG Yuqi<sup>1</sup>, JIANG Fei<sup>1</sup>, ZHAO Xu<sup>1</sup>, LIU Tianxu<sup>2</sup>,  
ZHANG Huan<sup>1</sup>, ZHANG Yuanyuan<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>, LU Yan<sup>1\*</sup>

基金项目: 北京市公园管理中心项目(kjxx2021006)

第一作者简介: 滑荣(1985—),女,高级畜牧师;主要从事圈养野生动物营养学研究。E-mail: huarong01110@163.com

\*通信作者: 卢岩, E-mail: luyan242@aliyun.com

- (1. Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technologies, Beijing Zoo, Beijing, 100044, China;  
2. State Key Laboratory of Animal Nutrition and Feeding, College of Animal Science and Technology,  
China Agricultural University, Beijing, 100193, China)

**Abstract:** Feed nutrition is one of the important factors for their health status in the breeding of captive Asian elephants (*Elephas maximus*), but there are few studies on the feed and digestibility of Asian elephants. Therefore, we selected five adult Asian elephants in captivity in Beijing Zoo to analyze the nutrient content of their winter diet, and determine apparent nutrient digestibility. The results showed that: the apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude fiber, crude fat, calcium and phosphorus were (51.0 ± 2.7)%, (67.2 ± 2.4)%, (48.7 ± 2.9)%, (57.6 ± 3.3)%, (48.3 ± 8.5)%, (61.8 ± 6.0)%, respectively. The experiment provided theoretical data of feed formulation and nutrient digestibility for captive Asian elephants.

亚洲象(*Elephas maximus*)别名印度象,属长鼻目(Proboscidea)象科(Elephantidae),主要在海拔1 000 m以下的森林和树丛中活动觅食,属于大型陆生草食性哺乳动物<sup>[1]</sup>。亚洲象为国家一级重点保护野生动物,被列入IUCN濒危物种红色名录濒危(EN)物种,全世界野生种群数量为48 323 ~ 51 680头<sup>[2]</sup>,而我国现存野生亚洲象种群数量仅约300头<sup>[3]</sup>。圈养的亚洲象作为现存的亚洲最大陆生动物和野生动物饲养机构濒危保护动物旗舰物种,常年吸引着大量游客参观。

目前国内对于圈养亚洲象的研究多集中于疾病治疗、遗传繁育和行为训练等方面<sup>[4-6]</sup>,较少关注营养对于亚洲象的影响。饲料对维持生存与动物机体的健康具有十分重要的意义<sup>[7]</sup>。野生亚洲象的食谱范围极广,包括禾本科(Gramineae)、苏木科(Caesalpinaceae)和桑科(Moraceae)等植物,但主要以牡竹属(*Dendrocalamus* spp.)、芭蕉属(*Musa* spp.)以及桑科的榕属(*Ficus* spp.)为食<sup>[8]</sup>;然而,人工圈养的亚洲象饲料主要由青、干草,少量的水果蔬菜和精饲料组成。我国饲养机构对于圈养亚洲象日粮营养和质量的数据、总饲料摄入量的评估以及饲料消化率的研究还是空白。因此,本研究对北京动物园圈养亚洲象饲料的日粮摄入及营养成分进行分析,并测定亚洲象主要营养成分的表观消化率,为后续人工饲养亚洲象设计不同的饲料配方等提供数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物及饲养

以北京动物园饲养的5头成年健康亚洲象为研

究对象(1♂,4♀),分别编号为1、2、3、4、5,年龄20~48岁,其中雌性均不在孕期及哺乳期,单舍专人饲养(表1)。亚洲象的日粮由羊草干草、草食动物颗粒饲料、胡萝卜、白菜、南瓜、红薯、苹果、梨和香蕉组成,其中颗粒饲料、果蔬定量饲喂,干草自由采食,自由饮水。

表1 北京动物园圈养亚洲象基本情况

Tab. 1 Basic information of captive Asian elephants in Beijing Zoo

亚洲象编号 Asian elephant number	性别 Sex	年龄/岁 Age	体质量/kg Body mass
1	♂	22	3 500
2	♀	20	3 680
3	♀	20	3 496
4	♀	48	3 900
5	♀	43	3 450

### 1.2 饲料及粪样样品采集

在正式试验前进行预试,确定日粮中各品类的比例和每头亚洲象的日采食量。每日投喂的食物量全部称质量并记录,以刚好被受试亚洲象全部吃完为限。如有剩余食物,则分别称质量,并从相应品类投喂量中扣除,得到亚洲象取食各品类日粮的实际采食量。同时采集饲料样本,自封袋封存,待测。

5头亚洲象进行6 d(预试期3 d、正式期3 d)全收粪法消化试验,消化试验期间均单兽舍饲养,每天饲喂2次,自由采食和饮水。饲养环境光照充足、自然通风。采用全收粪法,于正式期每天08:00开始收集粪便、称质量,全天的新鲜粪便随排随收,将收

集的粪样立即放入冰箱中-20℃保存,试验结束后,将每头亚洲象正式期收集的粪样分别解冻并混合,于烘箱中65~70℃烘干,取出后在空气中回潮24h,称质量以确定粪样的初水质量,最后将粪样的风干样品用粉碎机粉碎,以备其他营养成分测定。

### 1.3 检测指标及检测方法

营养指标检测在中国农业科学院饲料研究所饲料检测与安全评价中心实验室完成。通过氧弹热量计(Parr 6400 CaloRimeter,美国)测定总能(gross energy, GE);通过凯氏定氮法利用Kjeltec 8400全自动定氮仪(FOSS,美国)测定样品中粗蛋白(crude protein, CP)含量;通过索氏提取法利用Soxtec 2050脂肪分析仪(FOSS,美国)测定样品中粗脂肪(ether extract, EE)含量;通过酸碱消煮法利用2022半自动纤维分析仪(FOSS,美国)测定样品中粗纤维(crude fiber, CF)含量;通过烘干法测定样品中水分含量;通过原子吸收光谱法利用ContrAA 700(Aanalytik Jena,德国)测定样品中钙含量;通过钒钼黄比色法利用Cintra3030紫外-可见分光光度计(GBC,澳大利亚)测定样品中磷含量;通过灰化法利用箱式马弗炉(Carbolite,英国)550℃测定样品中粗灰分含量。

### 1.4 统计分析

试验数据通过Excel软件进行整理分析,所有样品含量均以干物质(dry matter, DM)基础表示,根据试验期间各营养成分摄入的总量和排出的总量计算其表观消化率( $D_A$ )。计算公式为

$$D_A = (N_I - N_E) / N_I \times 100\%$$

式中: $N_I$ 为养分摄入量, $N_E$ 为粪样中养分排出量。

## 2 结果

### 2.1 亚洲象干物质采食量

北京动物园亚洲象冬季日粮的组成和平均日采食量见表2,5头亚洲象日粮中干物质采食量(dry matter intake, DMI)分别占其体质量的1.2%、0.9%、0.7%、0.9%、0.7%。每头亚洲象对于不同饲料原料的DMI均存在差异。羊草干草是北京动物园冬季日粮配方中的主要干物质来源,其DMI为19.0~33.0 kg。颗粒饲料限量饲喂,1号雄性亚洲象颗粒饲料的DMI为5.6 kg,2、3、4、5号雌性亚洲象颗粒饲料的DMI均为1.1 kg。1号雄性亚洲象苹果的DMI为1.0 kg,2、3、4、5号雌性亚洲象苹果的DMI均为0.7 kg。1、2、3号亚洲象香蕉的DMI均为0.6 kg,4、5号亚洲象不喜食香蕉,故未饲喂。

表2 北京动物园亚洲象冬季日粮组成及平均采食量

Tab. 2 Dietary composition and average feed intake of Asian elephants in Beijing Zoo during winter

亚洲象编号 Asian elephant number	羊草干草 Leymus hay		颗粒饲料 Pellet feed		胡萝卜 Carrot		白菜 Cabbage		南瓜 Pumpkin	
	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent
1	33.0	78.8	5.6	13.4	0.9	2.1	0.1	0.3	0.2	0.5
2	29.6	87.8	1.1	3.3	0.9	2.7	0.1	0.4	0.2	0.6
3	19.0	82.2	1.1	4.9	0.9	3.9	0.1	0.5	0.2	0.9
4	29.6	89.5	1.1	3.4	0.9	2.7	0.1	0.4	0.2	0.6
5	20.5	85.4	1.1	4.7	0.9	3.8	0.1	0.5	0.2	0.8
亚洲象编号 Asian elephant number	红薯 Sweet potato		苹果 Apple		梨 Pear		香蕉 Banana		合计 Total	
	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent	DMI/kg	占比/% Percent
1	0.2	0.5	1.0	2.3	0.3	0.7	0.6	1.4	41.9	1.2
2	0.2	0.6	0.7	1.9	0.3	0.9	0.6	1.8	33.7	0.9
3	0.2	0.9	0.7	2.8	0.3	1.3	0.6	2.6	23.1	0.7
4	0.2	0.6	0.7	1.9	0.3	0.9			33.1	0.9
5	0.2	0.8	0.7	2.7	0.3	1.3			24.0	0.7

注:占比为该饲料的DMI占总干物质采食量的比例。

Note: The proportion refers to the proportion of the DMI of this free in the total DMI.

### 2.2 亚洲象饲料营养成分

北京动物园亚洲象冬季日粮包括羊草干草、颗

粒饲料、胡萝卜、白菜、南瓜、红薯、苹果、梨和香蕉9种,其中,羊草干草的干物质含量最高,白菜的干物

质含量最低;颗粒饲料的粗蛋白含量最高,梨的粗蛋白含量最低;羊草干草的粗纤维含量最高,颗粒饲料的粗纤维含量最低;颗粒饲料的粗脂肪含量最高,南瓜和红薯的粗脂肪含量最低;羊草干草的灰分含量最高,苹果的灰分含量最低;红薯的无氮浸出物(ni-

trogen free extract, NFE)含量最高,羊草干草的无氮浸出物含量最低;颗粒饲料的钙含量最高,苹果和香蕉的钙含量最低;颗粒饲料的磷含量最高,苹果的磷含量最低;颗粒饲料的总能含量最高,南瓜的总能含量最低(表3)。

表3 北京动物园亚洲象冬季日粮成分常规营养物质含量(以干物质为基础)

Tab. 3 Content of conventional nutrients in winter diets of Asian elephants in Beijing Zoo (based on DM basis)

饲料名称 Fodder name	干物质/% DM	粗蛋白/% CP	粗纤维/% CF	粗脂肪/% EE	灰分/% Ash	无氮浸出物/% NFE	钙/% Ca	磷/% P	总能/(kJ·g <sup>-1</sup> ) GE
羊草干草 Leymus hay	91.0	6.7	33.2	1.8	10.1	48.3	0.34	0.12	15.2
颗粒饲料 Pellet feed	90.0	17.5	4.5	3.2	8.2	66.6	0.82	0.55	17.8
胡萝卜 Carrot	11.8	9.8	8.2	1.7	6.8	73.5	0.26	0.33	12.9
白菜 Cabbage	6.1	16.4	13.1	1.6	8.2	60.7	0.57	0.49	13.9
南瓜 Pumpkin	8.6	9.3	11.6	1.2	4.7	73.1	0.19	0.30	11.5
红薯 Sweet potato	16.2	4.9	6.2	1.2	2.5	85.2	0.10	0.15	16.0
苹果 Apple	13.2	4.6	13.8	1.5	1.5	78.6	0.03	0.06	17.2
梨 Peer	12.5	2.4	24.0	1.4	2.4	69.8	0.04	0.07	16.6
香蕉 Banana	23.9	5.6	6.1	1.5	3.3	83.5	0.03	0.08	15.4

### 2.3 亚洲象每日摄入养分

亚洲象每日干物质平均摄入量为31 134 g,粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、灰分、无氮浸出物、钙和磷平均

摄入量分别为2 507、12 397、937、4 120、32 405、157、98 g,能量平均摄入量为8 121 kJ(表4)。

表4 北京动物园每头亚洲象平均每日摄入营养成分的总量

Tab. 4 Average daily nutrient intake of each Asian elephant in Beijing Zoo

亚洲象编号 Asian elephant number	干物质/g DM	粗蛋白/g CP	粗纤维/g CF	粗脂肪/g EE	灰分/g Ash	无氮浸出物/g NFE	钙/g Ca	磷/g P	能量/kJ GE
1	41 908	3 713	15 348	1 242	5 252	41 018	215	130	10 446
2	33 670	2 575	13 533	977	4 425	33 912	161	97	8 556
3	23 053	1 793	9 660	767	3 247	28 277	121	83	6 782
4	33 070	2 561	13 381	940	4 343	31 824	160	95	8 171
5	23 970	1 891	10 061	760	3 333	26 994	126	83	6 651
均值 Mean value	31 134	2 507	12 397	937	4 120	32 405	157	98	8 121

### 2.4 亚洲象饲料营养消化率

亚洲象对于饲料干物质、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、钙和磷的表观消化率分别为(51.0 ± 2.7)%、(67.2 ± 2.4)%、(48.7 ± 2.9)%、(57.6 ± 3.3)%、(48.3 ± 8.5)%、(61.8 ± 6.0%)(表5)。可见北京动物园亚洲象粗蛋白的表观消化率最高,粗纤维和钙的表观消化率相对较低。

## 3 讨论

目前在野生动物营养学方面,普遍将马作为象

科动物的理想营养参数模型,马维持营养需要的DMI通常占其体质量的1.5%~2.0%<sup>[9]</sup>。但在本试验中,亚洲象的DMI均低于推荐标准,其中1号亚洲象的DMI占体质量的1.20%,其余4头亚洲象DMI均在1.00%以下。根据Romain *et al.*<sup>[10]</sup>报道,2个泰国的亚洲象饲养机构(NEI和CMNS)有个别象的DMI低于推荐的营养供给,饲养于NEI的一头亚洲象的DMI为体质量的1.39%,低于推荐量;饲养于CMNS的7号亚洲象和8号亚洲象DMI分别为体质量的1.44%和1.46%,略低于推荐范围,9号和10号

表5 北京动物园亚洲象对各营养成分的表观消化率

Tab. 5 Apparent digestibility of each nutrient component of Asian elephants in Beijing Zoo

%

亚洲象编号 Asian elephant number	干物质 DM	粗蛋白 CP	粗纤维 CF	粗脂肪 EE	钙 Ca	磷 P
1	53.4	73.2	43.8	52.8	19.2	47.4
2	53.1	62.6	54.2	59.6	40.2	72.2
3	58.4	72.7	57.2	68.8	66.0	79.1
4	46.8	62.9	43.6	57.0	55.0	51.7
5	43.2	64.7	44.6	49.8	61.1	58.8
均值 ± 标准误 Mean ± SE	51.0 ± 2.7	67.2 ± 2.4	48.7 ± 2.9	57.6 ± 3.3	48.3 ± 8.5	61.8 ± 6.0

亚洲象 DMI 较低,分别为体质量的 0.91% 和 1.08%。

根据刘安荣等<sup>[11]</sup>的研究,每头成年亚洲象每次应当饲喂 20 ~ 25 kg 饲料,每天饲喂 5 次,青绿饲料约占 90%。在本试验中,羊草干草是北京动物园冬季日粮配方中的主要干物质来源,其 DMI 为 19.0 ~ 33.0 kg(占总 DMI 的 78.8% ~ 89.5%)。颗粒饲料通常要限制饲喂,1 号雄性亚洲象颗粒饲料的 DMI 为 5.6 kg,占总 DMI 的 13.4%;4 头雌性亚洲象颗粒饲料的 DMI 平均为 1.1 kg,占总 DMI 的 3.3% ~ 4.9%。1 号雄性亚洲象苹果的 DMI 为 1.0 kg,占总 DMI 的 2.3%;其余 4 头雌性亚洲象苹果的 DMI 均为 0.7 kg,占总 DMI 的 1.9% ~ 2.8%。胡萝卜占总 DMI 的 2.1% ~ 3.9%,梨占总 DMI 的 0.7% ~ 1.3%,香蕉占总 DMI 的 1.4% ~ 2.6%。此外白菜、南瓜和红薯占总 DMI 的 1.0% 以下,比例较少。

北京动物园 5 头亚洲象干物质表观消化率的均值为 (51.0 ± 2.7)%。Romain *et al.*<sup>[10]</sup>报道泰国 NEI 饲养的 6 头亚洲象干物质表观消化率为 (59.6 ± 5.6)%,CMNS 饲养的 4 头亚洲象干物质表观消化率为 (55.4 ± 7.6)%。在非洲草原象 (*Loxodonta africana*) 的研究中,Pendlebury *et al.*<sup>[12]</sup>发现给非洲象饲喂含 90% 粗饲料的饲料时(包括木本植物),其干物质的表观消化率为 33.7% ~ 36.0%。此外,该研究也表明亚洲象的干物质表观消化率显著高于非洲草原象,这与本试验的结果相符。

根据前人研究,象的维持期粗蛋白摄入量建议占 DMI 总量的 8.0% ~ 10.0%,生长期或孕期粗蛋白摄入量建议占 DMI 总量的 12.0% ~ 14.0%<sup>[13]</sup>。北京动物园亚洲象平均每日粗蛋白摄入量占 DMI 总量的 8.0%,所有亚洲象均满足维持期蛋白质推荐供给量。北京动物园 5 头亚洲象粗蛋白表观消化率为

(67.2 ± 2.4)%。Romain *et al.*<sup>[10]</sup>报道泰国 NEI 饲养的 6 头亚洲象粗蛋白表观消化率为 (61.2 ± 4.9)%,CMNS 饲养的 4 头亚洲象粗蛋白表观消化率为 (59.8 ± 6.1)%;Clauss *et al.*<sup>[14]</sup>研究的 3 头非洲草原象粗蛋白表观消化率为 50.5% ~ 52.9%。影响动物蛋白质表观消化率的因素很多,如动物年龄、饲料种类以及日粮中的纤维素水平等<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,与国外饲养机构报道的象粗蛋白表观消化率相比,北京动物园圈养的亚洲象粗蛋白表观消化率较高。

据 Romain *et al.*<sup>[10]</sup>报道,泰国 NEI 饲养的 6 头亚洲象粗纤维平均摄入量占 DMI 总量的 (30.3 ± 2.0)%,CMNS 饲养的 4 头亚洲象为粗纤维摄入量占 DMI 总量的 (30.4 ± 0.3)%。北京动物园圈养亚洲象粗纤维摄入量高于泰国饲养的亚洲象,5 头亚洲象平均为 39.82%。此外,泰国 NEI 饲养的 6 头亚洲象粗纤维表观消化率为 (42.9 ± 11.3)%,CMNS 饲养的 4 头亚洲象粗纤维表观消化率为 (40.6 ± 10.4)%,北京动物园 5 头亚洲象粗纤维表观消化率平均为 (48.7 ± 2.9)%。北京动物园圈养亚洲象粗纤维表观消化率高于泰国饲养的亚洲象。有研究表明<sup>[10]</sup>,只喂食棕榈叶,亚洲象粗纤维表观消化率可以达到 30.2% ~ 63.4%。Clauss *et al.*<sup>[14]</sup>研究 3 头非洲草原象粗纤维表观消化率仅为 22.5% ~ 31.8%。与国外饲养机构报道的大象粗纤维表观消化率相比,北京动物园圈养亚洲象粗纤维表观消化率较高,这可能与动物个体、动物年龄和饲料种类等因素有关。

象维持期的钙、磷摄入量建议占 DMI 总量的 0.3% 和 0.2%,钙磷比应大于 1.5:1<sup>[13]</sup>。北京动物园亚洲象每日钙摄入量约占 DMI 总量的 0.50%,磷摄入量约占 DMI 总量的 0.31%,摄入钙磷比约为 1.6:1,可见,北京动物园所有受试亚洲象钙磷摄入量及比

例均满足推荐摄入量。

总体来看,相比于4头雌性亚洲象,1号雄性亚洲象对饲料的蛋白质消化利用率较高,而对粗纤维和钙的消化率较低,这可能与性别或个体差异有关。此外,应关注个体在不同营养物质的吸收利用方面的不同生理状况。

#### 4 结论

本研究对北京动物园圈养的5头亚洲象进行饲养试验,在测定饲料和粪便营养成分的基础上,计算表观消化率,为人工圈养亚洲象进行后续有关饲料、营养方面的研究与应用提供参考。试验发现亚洲象个体间对饲料不同营养成分的消化利用存在差异,其机理还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 张立. 中国亚洲象现状及研究进展[J]. 生物学通报, 2006, 41(11): 1-3.  
ZHANG L. Current status and research progress of Asian elephants in China[J]. Bulletin of Biology, 2006, 41(11): 1-3.
- [2] WILLIAMS C, TIWARI S K, GOSWAMI V R, *et al.* *Elephas maximus* [J/OL]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020; e. T7140A45818198 [2023-10-06]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T7140A45818198.en>.
- [3] 张恒振, 王智红, 吕婷, 等. 云南省勐海至孟连高速公路对亚洲象及其栖息地的潜在影响分析[J]. 野生动物学报, 2021, 42(2): 306-317.  
ZHANG H Z, WANG Z H, LÜ T, *et al.* Analysis on the potential impact of Menghai to Menglian expressway on Asian elephants and their habitats in Yunnan Province[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(2): 306-317.
- [4] 刘文荣, 刘美艳. 行为管理在圈养亚洲象饲养管理中的作用探讨[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(1): 96-98; 101.  
LIU W R, LIU M Y. Discussion on the role of behavior management in the feeding and management of captive Asian elephants[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(1): 96-98; 101.
- [5] 保明伟, 熊朝永, 周方易, 等. 亚洲象人工辅助育幼与自然育幼的比较[J]. 野生动物学报, 2021, 42(1): 171-176.  
BAO M W, XIONG C Y, ZHOU F Y, *et al.* Comparison of artificial assisted parent rearing and natural parent rearing of Asian elephants [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(1): 171-176.
- [6] 陈新生, 冯永其, 徐春忠. 圈养亚洲象下腹部水肿病例的诊治[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2023(1): 59-61.  
CHEN X S, FENG Y Q, XU C Z. Diagnosis and treatment of lower abdominal edema in captive Asian elephants[J]. Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2023(1): 59-61.
- [7] 伊霞, 许亚改, 许家兴, 等. 不同饲草品种对圈养亚洲象采食量的影响[J]. 中国饲料, 2024(2): 93-96.  
YI X, XU Y G, XU J X, *et al.* Effects of different forage varieties on feed intake of captive Asian elephant [J]. China Feed, 2024(2): 93-96.
- [8] 李中员. 亚洲象食物源基地建设对缓解人象冲突的作用[J]. 林业调查规划, 2012, 37(5): 81-84.  
LI Z Y. Effects of Asian elephant food source bases on alleviating human-elephant conflict [J]. Forest Inventory and Planning, 2012, 37(5): 81-84.
- [9] 付仲. 马的营养需要[J]. 饲料博览, 1990(3): 14-16.  
FU Z. Nutrient requirements of horses [J]. Feed Review, 1990(3): 14-16.
- [10] ROMAIN S, ANGKAWANISH T, BAMPENPOL P, *et al.* Diet composition, food intake, apparent digestibility, and body condition score of the captive Asian elephant (*Elephas maximus*): a pilot study in two collections in Thailand [J]. Journal of Zoo and Wildlife Medicine, 2014, 45(1): 1-14.
- [11] 刘安荣, 师婧, 刘文荣, 等. 圈养亚洲象的饲养繁殖技术研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(13): 89-92.  
LIU A R, SHI J, LIU W R, *et al.* Research on breeding and propagation techniques of captive Asian elephants [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(13): 89-92.
- [12] PENDLEBURY C, ODONGO N E, RENJIFO A, *et al.* Acid-insoluble ash as a measure of dry matter digestibility in captive African elephants (*Loxodonta africana*) [J]. Zoo Biology, 2005, 24(3): 261-265.
- [13] ULLREY D E, CRISSEY S D, HINTZ H F, *et al.* Elephants: nutrition and dietary husbandry [Z]//MASLANKA M, CRISSEY S, Fort Worth Zoological Park, *et al.* Nutrition advisory group handbook. St. Louis: Association of Zoos and Aquariums, 1997: fact sheet 004.
- [14] CLAUSS M, LOEHLEIN W, KIENZLE E, *et al.* Studies on feed digestibilities in captive Asian elephants (*Elephas maximus*) [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2003, 87(3/4): 160-173.
- [15] 单世梁. 单胃动物对饲料蛋白质的消化、利用及其影响因素[J]. 养殖技术顾问, 2014(1): 52.  
SHAN S L. Digestion, utilization, and influencing factors of feed protein in monogastric animals [J]. Technical Advisor for Animal Husbandry, 2014(1): 52.