



大熊猫血液中钼元素测定及差异分析

胡正泉, 许林, 吴凯, 张贵权, 黄治,
何长贵, 周宇, 胡宇柯, 张坤, 李才武*

(大熊猫国家公园珍稀动物保护生物学国家林业和草原局重点实验室,
中国大熊猫保护研究中心, 成都, 610066)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-01-29
修回日期: 2024-03-06



关键词: 大熊猫;
血液;
钼元素;
年龄;
地区

Keywords: Giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*);
Blood;
Molybdenum;
Age;
District

中图分类号: S852

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-04-0891-05

DOI: 10.12375/ysdwxb.20240423

摘要

钼元素含量的稳定对于动物个体正常发育代谢具有重要作用。收集来自中国大熊猫保护研究中心雅安、卧龙和都江堰3个基地共108份健康大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的血液样本用于测定血液中的钼元素含量,其中亚成年个体样本42份,成年个体样本48份,老年个体样本18份。结果显示:钼元素含量在大熊猫不同发育阶段和性别之间均具有显著差异($P < 0.05$),另外,3个基地大熊猫血液中的钼元素含量也具有显著差异($P < 0.05$),推测造成此情况的原因与生活环境,如土壤、水源及食物等相关。本研究编制了健康大熊猫血液中钼元素的含量标准,可为大熊猫日常健康状态评判、疾病预防及合理的饮食搭配提供数据支持。

Determination and Difference Analysis of Molybdenum in the Blood of Giant Panda

HU Zhengquan, XU Lin, WU Kai, ZHANG Guiquan, HUANG Zhi,
HE Changgui, ZHOU Yu, HU Yuke, ZHANG Kun, LI Caiwu*

(Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Conservation Biology of Rare Animals in the Giant Panda National Park, China Conservation and Research Center for the Giant Panda, Chengdu, 610066, China)

Abstract: The stable content of molybdenum (Mo) plays a crucial role in the normal development and metabolism of animal individuals. In this study, 108 blood samples from healthy giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) were collected from three bases of the China

基金项目: 中国青少年发展基金会梅赛德斯-奔驰星愿基金项目;中国大熊猫保护研究中心自筹资金项目(CCRCGP222315, CCRCGP222304)

第一作者简介: 胡正泉(1986—),男,工程师;主要从事野生动物保护研究。E-mail: 342332431@qq.com

*通信作者: 李才武, E-mail: 83330019@qq.com

Giant Panda Conservation Center in Ya'an, Wolong, and Dujiangyan. These samples included 42 from subadult individuals, 48 from adults, and 18 from elderly. The results showed that there were significant differences in molybdenum content among different developmental stages and genders of giant pandas ($P < 0.05$). In addition, there were also significant differences in molybdenum content in the blood of giant pandas from the three bases ($P < 0.05$), we suppose that the differences may be related to environmental factors such as soil, water sources, and food. This study established the molybdenum content standards in the blood of healthy giant pandas, which can provide data support for the assessment of daily health status, disease prevention, and reasonable dietary arrangements for giant pandas.

大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)是我国特有的一级重点保护野生动物^[1],被誉为“生物活化石”,是世界上备受关注的珍稀动物。近年来由于保护工作的顺利开展,大熊猫种群数量有所上升,截至2023年底,大熊猫野外种群数量已从20世纪80年代的约1110只增至近1900只,全球圈养数量达到728只^[2]。研究表明,大熊猫的种群数量与疾病预防、营养配比以及繁殖育种等方面有关^[3-5]。微量元素是动物重要的微量营养素,必需微量元素的失衡可能引发一系列疾病,研究发现血液中钙、铁、锌和铜等微量元素的含量与大熊猫的健康状态存在一定的关联^[4,6],说明必需微量元素含量的稳定对于大熊猫的健康至关重要。

钼是血液中的一种微量元素,对于维持个体健康和正常生理功能发挥重要作用。钼具备多种酶活性作用,可激活亚硫酸盐氧化酶、醛氧化酶和黄嘌呤氧化酶等,其参与了许多生命的生化过程,如维持细胞膜完整性、DNA和RNA复制以及细胞呼吸^[7-8]。因此,钼对于维持机体正常的新陈代谢、免疫功能和神经系统功能非常重要。然而,钼在自然界中含量较低,动物通常通过饮食摄入来满足个体的需求,钼元素缺乏或过量均会导致一系列疾病,如过量的钼

元素会在大鼠的肾脏、肝脏、睾丸和其他组织中逐渐积累,最终导致机体免疫系统崩溃,使个体更容易受到外来病原的感染^[7];肿瘤患者血清中的钼含量显著低于健康人群,暗示钼可能与肿瘤的发生存在某种联系^[9]。此外,钼可能作为抗氧化剂发挥作用^[10],并发挥抗炎和神经保护作用^[11]。然而,目前还未有针对大熊猫血液中钼元素测定的研究,因此,本研究对大熊猫血液中钼元素水平进行测定,探讨钼元素与大熊猫健康状况的关系。通过深入研究大熊猫血液中钼元素含量的变化规律,可以为大熊猫的保护和健康管理提供科学依据,进一步增加对大熊猫的了解,促进大熊猫保护工作的开展。

1 材料与方法

1.1 材料

2023年9—11月,从3个大熊猫基地[雅安(16份)、都江堰(39份)和卧龙(53份)]采集健康大熊猫血液样本共108份,用于测定大熊猫血液中钼元素含量。样本包括亚成年个体(2~<5岁)42份,成年个体(5~<20岁)48份和老年个体(≥ 20 岁)18份;其中,雄性44份,雌性64份,所有样本均避开繁殖期(表1)。

表1 大熊猫血液样本数量分布

Tab. 1 Distribution of blood samples of giant pandas

性别 Sex	亚成年(2~<5岁) Subadult			成年(5~<20岁) Adult			老年(≥ 20 岁) Elderly			总计 Total
	雅安 Ya'an	卧龙 Wolong	都江堰 Dujiangyan	雅安 Ya'an	卧龙 Wolong	都江堰 Dujiangyan	雅安 Ya'an	卧龙 Wolong	都江堰 Dujiangyan	
雄性 Male	7	8	8	0	11	4	0	1	5	44
雌性 Female	4	6	9	5	25	3	0	2	10	64
总计 Total	11	14	17	5	36	7	0	3	15	108

1.2 方法

采集经爱心培训(在非麻醉状态下,饲养师通过饲喂大熊猫喜欢吃的食物来分散其注意力,进行采血脱敏训练,最终大熊猫能主动伸出前肢握住采血架,兽医达到顺利采血目的的培训)的大熊猫前肢静脉血获得血液样本。血液样本在24 h内送至成都艾迪康医学检测实验中心,使用Agilent 7850电感耦合等离子体质谱仪(Agilent,美国)运用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)进行血液中钼元素含量的测定。使用SPSS 22.0进行数据分析,以 $\bar{x} \pm SD$ 对数据进行统计,对大熊猫基地、年龄和性别间钼元素的差异进行单因素方差分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著阈值,差异显著的再使用LSD进行多重比较。采用GraphPad Prism 8绘制图像,以 $\bar{x} \pm 1.96SD$ 得出95%的置信区间作为血液中钼元素的参考值范围。

2 结果与分析

2.1 大熊猫血液中钼元素含量与年龄和性别的关系

根据收集的大熊猫不同年龄段的血液样本,绘制2~32岁每个年龄血液中钼的含量(未收集到26

岁和31岁的样本),发现当大熊猫步入成年后,血液中的钼的含量有所下降,随后在10~12岁血液中的钼的含量大幅上升(图1A)。另外,不同年龄段大熊猫血液中的钼元素含量存在显著差异($P < 0.05$),其中,亚成年大熊猫血液中的钼元素含量显著高于成年($P < 0.05$),极显著高于老年($P < 0.01$)(图1B)。

钼元素含量在不同性别大熊猫间也存在显著差异($P < 0.05$),其中,雄性亚成年大熊猫血液中的钼元素含量极显著高于雄性成年和老年大熊猫($P < 0.01$),而雌性亚成年大熊猫血液中的钼元素含量显著高于雌性老年大熊猫($P < 0.05$)(图1B)。

2.2 大熊猫血液中钼元素含量与大熊猫基地的关系

大熊猫血液中钼元素含量在雅安与都江堰基地之间差异显著($P < 0.05$),在都江堰与卧龙基地之间差异显著($P < 0.05$),在雅安与卧龙基地之间差异极显著($P < 0.01$)。在性别方面,雄性大熊猫在雅安基地的钼元素含量极显著高于卧龙和都江堰两个基地($P < 0.01$),而雌性大熊猫在卧龙基地的钼元素含量显著低于雅安和都江堰两个基地($P < 0.05$)(图1C)。此外,本研究编制了不同年龄和不同性别间大熊猫血液中钼元素含量的参考范围(表2)。

表2 大熊猫不同年龄和性别间血液中钼元素质量浓度参考范围

Tab. 2 Reference range of molybdenum elements in the blood of giant pandas of different ages and genders

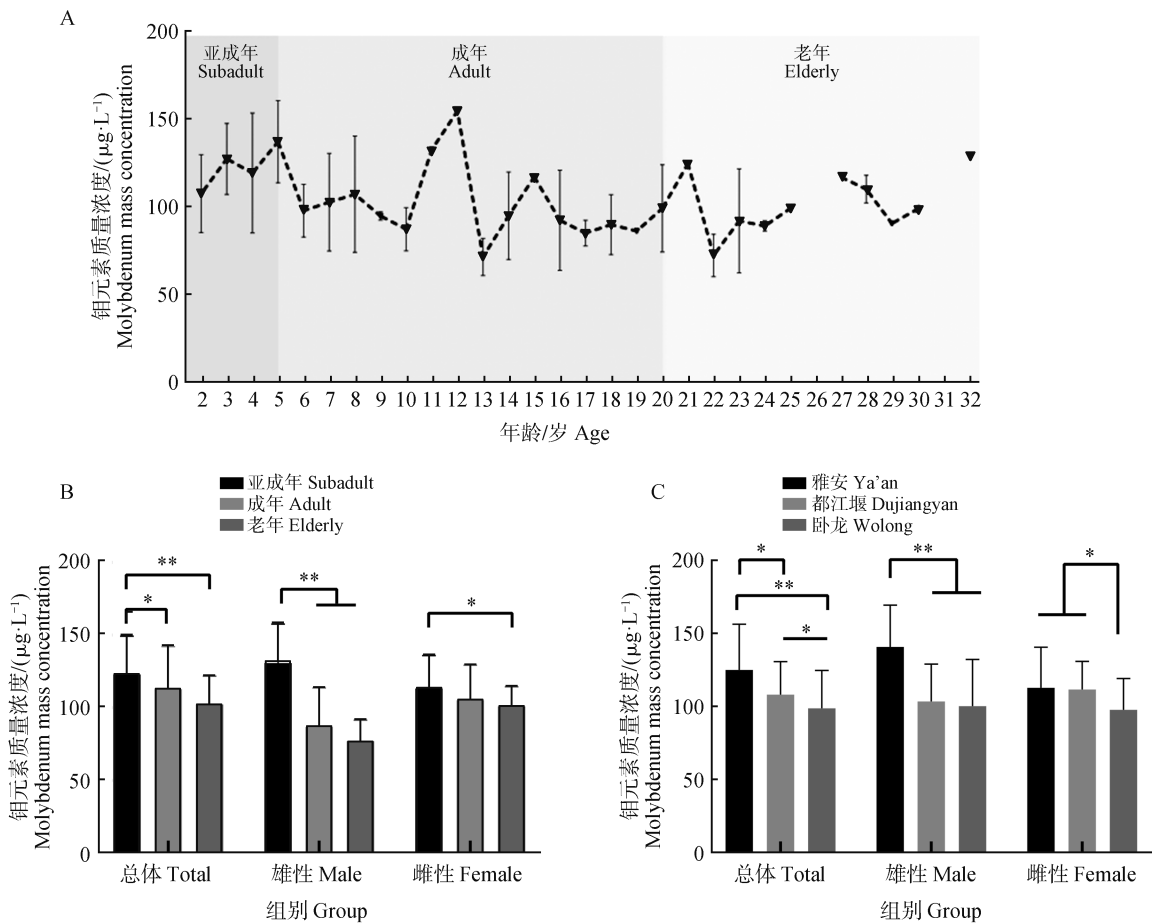
$\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

年龄段 Age	样品份数 Sample size	总体 Total		雄性 Male		雌性 Female	
		参考值 Reference value	95% 置信区间 95% confidence interval	参考值 Reference value	95% 置信区间 95% confidence interval	参考值 Reference value	95% 置信区间 95% confidence interval
亚成年 Subadult	42	122.83 ± 26.46	[70.97, 174.69]	130.72 ± 26.83	[78.13, 183.31]	113.28 ± 22.59	[69.01, 157.56]
成年 Adult	48	112.71 ± 29.35	[55.18, 170.24]	86.76 ± 26.83	[34.17, 139.35]	105.16 ± 24.01	[58.10, 152.22]
老年 Elderly	18	96.31 ± 19.45	[58.19, 134.43]	76.98 ± 14.46	[48.64, 105.32]	100.98 ± 13.52	[74.48, 127.48]

3 讨论

不同物种每日所需的钼元素含量有所差异,摄入适量的钼元素有利于提高个体免疫力,而摄入过量的钼元素会产生中毒症状,人体如果食用或长时间暴露于高浓度的钼环境中可能导致贫血、厌食症、严重腹泻、痛风和性活动减少等症状,而小鼠过量食用钼则可能导致胚胎发育明显变缓,体外培养囊胚质量也将受到影响,主要表现为囊胚变性发生率显著增加^[12]。研究表明,过量的钼可诱导氧化损伤,降

低抗氧化酶活性,引发细胞凋亡、线粒体自噬等一系列问题^[13]。高水平的钼会阻碍其与动物体内铁和锌等其他微量元素的相互作用,降低体内锌和铁的含量水平,影响炎症反应和免疫反应过程^[14]。研究发现,钼对绵羊具有较强的免疫毒性,过量的钼会降低线粒体膜电位(mitochondrial membrane potential, MMP),从而引发淋巴细胞凋亡,并进一步减少外周血中的淋巴细胞数量,同时,外周血中红细胞的数量和血红蛋白浓度也会因过量的钼而降低^[15]。在对普氏原羚(*Procapra przewalskii*)的一项调查研究中发现,钼中



A. 大熊猫血液中钼元素质量浓度随年龄的变化趋势; B. 大熊猫血液中钼元素质量浓度与年龄、性别的关系; C. 大熊猫血液中钼元素质量浓度与大熊猫基地间的关系。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

A. The relationship between blood molybdenum content and age of giant panda; B. The relationship between blood molybdenum content and age and sex of giant panda; C. The relationship between blood molybdenum content of giant panda and giant panda base. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

图1 大熊猫血液中钼元素质量浓度差异

Fig. 1 Analysis of the difference of molybdenum mass concentration in the blood of giant pandas

毒会导致其抗氧化能力下降,其血液中的钼元素质量分数为 $2.41 \mu\text{g/g}$ ^[16],对比普氏原羚血液中的钼元素含量,大熊猫血液中的钼元素含量较低,是其 $1/70 \sim 1/13$,这可能是大熊猫对钼元素代谢较慢,对钼元素的耐受力低于普氏原羚,进一步说明了钼元素在大熊猫体内可能具有重要作用。

年龄是个体间血液中钼元素含量差异的主要原因。本研究发现,年龄对大熊猫血液中的钼元素含量影响较大。随着年龄的增长,大熊猫血液中的钼元素含量逐渐降低,而在人体血液中钼元素含量在幼年时较高,然后降低,步入老年后又逐渐升高^[17]。本研究发现亚成年大熊猫血液中的钼元素含量高于成年和老年,猜测可能是亚成年大熊猫的生长速度较快,对钼元素的代谢能力较强。考虑到老年样本在整体样本数量中仅占 16.7% ($18/108$),因此可能

与实际参考值有偏差。性别是导致血液中微量元素产生差异的重要因素,研究发现,40岁左右的女性血液中钼元素含量极显著高于男性,而在其他年龄段以及整体水平上性别间无差异^[17-18]。在本研究中,亚成年雄性和雌性大熊猫血液中的钼元素含量均显著高于老年大熊猫,随着年龄的增长,钼元素很可能在大熊猫体内起到了复杂的酶代谢作用,暗示不同性别成年和老年大熊猫体内的钼元素代谢异于人类,钼元素在大熊猫体内发挥的功能还需进一步研究。

钼元素无法由机体自身产生,只能从食物中获取。本研究发现3个基地大熊猫血液中的钼元素含量具有显著差异,究其原因,可能与3个基地大熊猫主食竹子的来源地不同有关,以及与3个基地圈舍环境,特别是土壤、水源等不同有关。另外,3个基地

职能、研究和管理需要不同,以及各基地大熊猫年龄分布不均,均有可能导致统计偏差,在后续的研究中应将持续收集血液样本,扩大样本库,开展不同地理梯度理化性质相关的钼元素差异性研究,以探明不同区域大熊猫血液中钼元素差异的微妙联系。本研究主要对大熊猫血液中钼元素含量进行了差异分析,制定了健康大熊猫血液中钼元素含量的参考范围,可为大熊猫的健康发育及相应的饮食营养配比提供数据参考。

参考文献:

- [1] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订)[J]. 野生动物学报, 2021, 42(2): 605-640.
National Forestry and Grassland Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. List of national key protected wild animals (revised on February 1, 2021)[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(2): 605-640.
- [2] 胡璐. 大熊猫野外种群总量增长到近1900只[N]. 新华每日电讯, 2024-01-26(3).
HU L. The total population of giant pandas in the wild increases to nearly 1,900[N]. Xinhua Daily Telegraph, 2024-01-26(3).
- [3] 马锐. 圈养幼年大熊猫口腔微生物发育模式及多组学致龋机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022.
MA R. Study on oral microbial development pattern and multi-omics cariogenic mechanism of captive giant panda cubs[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2022.
- [4] 王天珍. 四川圈养大熊猫微量元素背景值的调查分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
WANG T Z. Investigation and analysis of trace elements in giant pandas in Sichuan Province[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [5] 周世强, 罗波, 宋仕贤, 等. 圈养繁殖大熊猫生存力的影响因素分析: 基于大熊猫谱系数据[J]. 四川动物, 2021, 40(3): 275-284.
ZHOU S Q, LUO B, SONG S X, *et al.* Analysis of factors influencing the viability of captive-bred pandas: based on the data of 2019 international studbook for giant panda[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2021, 40(3): 275-284.
- [6] 曾敏, 周宇, 明珠, 等. 大熊猫血液微量元素、血常规及生理生化指标测定及分析[J]. 野生动物学报, 2021, 42(1): 44-55.
ZENG M, ZHOU Y, MING Z, *et al.* Determination and analysis of trace elements, clinical indicators, and physiological-biochemical blood indices of captive giant panda[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(1): 44-55.
- [7] FOSTER J R, BILLIMORIA K, DEL CASTILLO BUSTO M E, *et al.* Accumulation of molybdenum in major organs following repeated oral administration of bis-choline tetrathiomolybdate in the Sprague Dawley rat[J]. Journal of Applied Toxicology, 2022, 42(11): 1807-1821.
- [8] LV Y B, WEI Y, ZHOU J H, *et al.* Human biomonitoring of toxic and essential metals in younger elderly, octogenarians, nonagenarians and centenarians: analysis of the healthy ageing and biomarkers cohort study (HABCS) in China[J]. Environment International, 2021, 156: 106717.
- [9] WACH S, WEIGELT K, MICHALKE B, *et al.* Diagnostic potential of major and trace elements in the serum of bladder cancer patients[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2018, 46: 150-155.
- [10] NI D L, JIANG D W, KUTYREFF C J, *et al.* Molybdenum-based nanoclusters act as antioxidants and ameliorate acute kidney injury in mice[J]. Nature Communications, 2018, 9: 5421.
- [11] SUN G D, YANG S X, CAI H H, *et al.* Molybdenum disulfide nanoflowers mediated anti-inflammation macrophage modulation for spinal cord injury treatment[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2019, 549: 50-62.
- [12] BI C M, ZHANG Y L, LIU F J, *et al.* The effect of molybdenum on the *in vitro* development of mouse preimplantation embryos[J]. Systems Biology in Reproductive Medicine, 2013, 59(2): 69-73.
- [13] ZHUANG Y, LIU P, WANG L Q, *et al.* Mitochondrial oxidative stress-induced hepatocyte apoptosis reflects increased molybdenum intake in caprine[J]. Biological Trace Element Research, 2016, 170(1): 106-114.
- [14] CUI T, JIANG W J, YANG F, *et al.* Molybdenum and cadmium co-induce hypothalamus toxicity in ducks via disturbing Nrf2-mediated defense response and triggering mitophagy[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 228: 113022.
- [15] CUI S G, ZHANG Y L, GUO H W, *et al.* Molybdenum-induced apoptosis of splenocytes and thymocytes and changes of peripheral blood in sheep[J]. Biological Trace Element Research, 2023, 201(9): 4389-4399.
- [16] SHEN X Y, ZHAO K, MO B T. Effects of molybdenosis on antioxidant capacity in endangered Przewalski's gazelles in the Qinghai Lake National Nature Reserve in the northwestern China[J]. Biological Trace Element Research, 2023, 201(8): 3804-3811.
- [17] 曲洋明. 吉林省部分地区人群九种元素监测分析[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
QU Y M. Monitoring and analysis of nine elements in some areas of Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [18] 孟昭伟, 雷佩玉, 丁勇, 等. 陕西省部分地区一般人群全血和尿液中锰、钴、硒、钼的内暴露水平分析[J]. 卫生研究, 2020, 49(5): 763-768.
MENG Z W, LEI P Y, DING Y, *et al.* Analysis of internal exposure levels of manganese, cobalt, selenium and molybdenum in blood and urine among general population in parts of Shaanxi Province[J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(5): 763-768.