



神农架川金丝猴 血液学指标及其影响因素分析

祁明普^{1,2}, 汪乾坤^{1,2}, 赵刚^{1,2}, 杨敬元³, 黄天鹏³,
李书航³, 赵宠南³, 陈颖钰^{1,2,4,5}, 胡长敏^{1,2,4,5}, 郭爱珍^{1,2,4,5*}

1. 农业微生物资源发掘与利用全国重点实验室, 武汉, 430070;
2. 华中农业大学动物医学院, 武汉, 430070;
3. 神农架金丝猴保育生物学湖北省重点实验室, 神农架, 442421;
4. 湖北省洪山实验室, 武汉, 430070;
5. 华中农业大学湖北省兽医流行病学国际科技合作基地, 武汉, 430070)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-05-16

修回日期: 2024-07-05



关键词: 神农架;

川金丝猴;

血液指标;

健康监测

Keywords: Shennongjia;

Sichuan snub-nosed monkey

(*Rhinopithecus roxellana*);

Blood parameters;

Health monitoring

中图分类号: Q592.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-02-0291-10

DOI: 10.12375/ysdwxb.20250206

摘要

川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)是国家一级重点保护野生动物。为有效保护该珍稀物种,建立川金丝猴血液指标数据库,本研究于2014年6月—2016年1月,在神农架国家公园采集24只临床健康的川金丝猴血液样本。利用全自动血液分析仪检测血常规和血生化指标,分析不同年龄、性别、季节、饲养方式和血清病毒抗体阳性对川金丝猴血液指标的影响。结果共获取22项血常规和18项血生化指标数据和参考范围,发现饲养方式、季节和血清病毒抗体阳性对血液指标的影响强度大于年龄和性别的影响。研究结果为川金丝猴的健康监测、物种保护和疾病防控提供了基础数据参考。

Hematological Parameters and Analysis of Their Influencing Factors in Shennongjia Sichuan Snub-nosed Monkey

基金项目: 湖北自然科学基金项目(2021CFB118);国家自然科学基金联合基金项目(U21A20259);国家科技基础设施计划项目(2013BAD03B01-01);神农架金丝猴保育生物学湖北省重点实验室开放课题基金项目(SNJGKL2023A01)

第一作者简介: 祁明普(1993—),男,博士后;主要从事金丝猴传染病研究。E-mail: qimingpu@126.com

*通信作者: 郭爱珍, E-mail: aizhen@mail.hzau.edu.cn

QI Mingpu^{1,2}, WANG Qiankun^{1,2}, ZHAO Gang^{1,2}, YANG Jingyuan³, HUANG Tianpeng³,
LI Shuhang³, ZHAO Chongnan³, CHEN Yingyu^{1,2,4,5}, HU Changmin^{1,2,4,5}, GUO Aizhen^{1,2,4,5*}

(1. National Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Wuhan, 430070, China;

2. College of Veterinary Medicine, Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China;

3. Key Lab of Conservation Biology for Shennongjia Golden Monkey, Shennongjia, 442421, China;

4. Hubei Hongshan Laboratory, Wuhan, 430070, China;

5. Hubei International Scientific and Technological Cooperation Base of Veterinary Epidemiology,
Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China)

Abstract: The Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) is a nationally first-class protected wildlife species in China. To effectively protect the rare species and establish a blood parameter database, blood samples were collected from 24 clinically healthy Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia National Park between June 2014 and January 2016. Using an automated hematology analyzers, we measured and analyzed hematological and biochemical parameters. We investigated the effects of age, sex, season, raising pattern, and viral infection on these blood parameters. A total of 22 hematological and 18 biochemical parameters were measured, along with their respective reference ranges. The results indicate that raising patterns, seasons, and viral infections had stronger impact on hematological parameters than age and sex. The research provides a fundamental reference for health monitoring, species protection, and disease prevention and control in Sichuan snub-nosed monkey.

血液学指标是一类重要的生理生化指标,人和动物机体的健康与疾病状况均可由血液学指标反映出来^[1]。经过长时间的数据积累,人类和主要畜禽及宠物均已建立了一套较为完善的血液学指标数据。这些指标在人类和动物疾病的预防、诊断和治疗中发挥了重要作用。因此,建立血液学指标参考范围对动物的健康监测和物种保护具有重要意义。

中国境内的川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)主要分布在湖北、四川、甘肃和陕西4个省份^[2]。目前国内对川金丝猴的研究主要集中在种群基因组学、进化和行为等方面^[3],而对血液学指标的研究十分缺乏。高云芳等^[4]和冯永其等^[5]分别对陕西秦岭的12只健康野生川金丝猴和上海野生动物园的36只圈养川金丝猴进行了血液生理和生化指标测定,这是目前为止关于川金丝猴血液指标的所有研究。由于地理位置、种群结构以及生活环境的差异,现有的少量川金丝猴血液学数据不能够满足对神农架川金丝猴健康监测和疾病的预防、诊断和治疗工作的需求。

本研究对24只临床健康的神农架川金丝猴血液进行血常规和生化的指标测定,在此基础上比

较了不同年龄、性别、季节和饲养方式猴群的血液指标的差异。此外,结合流行病学调查数据,分析了病毒隐性感染导致的血清抗体阳性对川金丝猴血液指标的影响。本研究初步建立了神农架川金丝猴血液基础参考数据,为川金丝猴的健康监测、疾病治疗和物种保护提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域及动物信息

研究地点位于神农架国家级自然保护区内的AAAAA级旅游区神农顶,占地面积约为2 km²,海拔3 100 m。该地区属亚热带季风气候,天气寒冷潮湿、气候多变,年平均气温7.9℃。该地区拥有丰富的生物多样性,植被主要由针叶林和落叶林混合组成。该区有577种陆生脊椎动物,包括亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*)、长尾斑羚(*Naemorhedus caudatus*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)和红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)等^[6]。

神农顶风景区约有100只川金丝猴,分布在3个地点。地点I:大龙潭,约有70只野生川金丝猴,神

农架工作人员每日定时定点3次(10:00—11:00、14:00—15:00和18:00—19:00)进行人工投喂,以保证其有足够食物,该群川金丝猴由4个一雄多雌单元(one-male unit, OMU)和1个全雄单元(all-male unit, AMU)组成。地点Ⅱ:神农架川金丝猴繁育基地,此处共圈养约20只川金丝猴,该群川金丝猴被分在3个独立的大钢笼子中,因此自然形成3个OMUs。地点Ⅲ:小龙潭,共有约10只来自野外的圈养川金丝猴,这些川金丝猴在野外受伤或生病,被神农架工作人员救助后,圈养于此,形成1个OMU。三个地点间的直线距离为0.81~1.55 km,相互被山峦所阻隔且由柏油路连接,方便游客和工作人员进出。

根据季节的不同,所有猴每天在固定时间接受3次人工投喂,主要饲喂红薯、橙子、桃子和苹果等食物。地区Ⅰ的川金丝猴通常在听到工作人员的呼声后,会迅速从山上下来到投喂点附近的树上等待,投喂结束后,猴群会立即回到山上。地区Ⅱ和地区Ⅲ的川金丝猴则被关在笼子里,并在上述固定的时间进食。

1.2 样品采集及病原血清抗体检测

由于采血会使川金丝猴产生应激而对其安全造成影响,神农架对川金丝猴的采血进行严格的限制。采样操作:在血液采集前,川金丝猴须禁食12 h(不进行人工喂养),利用飞针麻醉技术以约8 mg/kg的

剂量对川金丝猴进行氯胺酮麻醉,川金丝猴在麻醉状态下,从其后肢的静脉采集血液。在此期间,由2名专业的兽医密切监视猴的心率和呼吸频率,直至苏醒。同时记录川金丝猴的年龄(<4岁为亚成年,≥4岁为成年)、性别(雄性和雌性)、饲养方式(圈养和野生)以及采样时间(冬季和夏季)。采集的血液分为两部分:一部分存放在EDTA抗凝管中,用于血常规检测;另一部分血液样品在2 800g离心10 min后分离,将血清收集在1.5 mL离心管中,-20 °C保存,用于血液生化检测。

本研究选择在临床上健康、身体强壮和食欲正常的川金丝猴,在2014年6月、2015年6月和2016年1月进行血液采集,共计24份血液样本。根据年龄、性别、饲养方式和采样季节对川金丝猴分组。具体而言,8只亚成年猴,16只成年猴;11只为雄性,13只为雌性;13只圈养,11只在野外自由生活。在夏季(6月)和冬季(1月)分别采集20份和4份血液样本。对采集的血样进行12种病原血清抗体检测,其中MaHV-1、GsmCMV和SFV呈血清抗体阳性,其血清抗体阳性率分别为57.7%、38.5%和26.9%^[7],每只川金丝猴病毒感染情况见表1。实验方案经华中农业大学伦理委员会(HZAUMK-2014-001)和神农架国家公园管理局批准。所有相关动物的实验操作均严格按照《湖北省实验动物管理条例》要求进行。

表1 神农架川金丝猴血液样品信息($n=24$)

Table 1 Information of blood samples from Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia ($n=24$)

| 编号 No. | 采样时间 Sampling time | 饲养方式 Raising pattern | 性别 Sex | 年龄* Age | 病毒感染情况 Virus infection status | | |
|-----------|-----------------------|-------------------------|-----------|------------|----------------------------------|--------------------|--------------|
| | | | | | 猴疱疹病毒1型 MaHV-1 | 金丝猴巨细胞病毒 GsmCMV | 猴泡沫病毒 SFV |
| 1 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 亚成年 | × | × | × |
| 2 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 亚成年 | × | × | × |
| 3 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 成年 | √ | × | × |
| 4 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 成年 | √ | √ | × |
| 5 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 成年 | √ | × | × |
| 6 | 2014年6月 | 圈养 | ♂ | 成年 | × | × | × |
| 7 | 2014年6月 | 圈养 | ♀ | 亚成年 | × | × | × |
| 8 | 2014年6月 | 圈养 | ♀ | 亚成年 | √ | √ | × |
| 9 | 2014年6月 | 圈养 | ♀ | 亚成年 | √ | × | × |
| 10 | 2014年6月 | 圈养 | ♀ | 成年 | √ | × | × |
| 11 | 2015年6月 | 圈养 | ♀ | 成年 | × | × | √ |
| 12 | 2015年6月 | 圈养 | ♀ | 成年 | √ | × | × |

续表 1

| 编号 No. | 采样时间 Sampling time | 饲养方式 Raising pattern | 性别 Sex | 年龄* Age | 病毒感染情况 Virus infection status | | |
|-----------|-----------------------|-------------------------|-----------|------------|----------------------------------|--------------------|--------------|
| | | | | | 猴疱疹病毒 1 型 MaHV-1 | 金丝猴巨细胞病毒 GsmCMV | 猴泡沫病毒 SFV |
| 13 | 2015年6月 | 圈养 | ♀ | 成年 | × | × | × |
| 14 | 2015年6月 | 野生 | ♂ | 成年 | √ | √ | × |
| 15 | 2015年6月 | 野生 | ♂ | 成年 | √ | × | √ |
| 16 | 2015年6月 | 野生 | ♂ | 成年 | √ | √ | × |
| 17 | 2015年6月 | 野生 | ♂ | 成年 | √ | √ | √ |
| 18 | 2015年6月 | 野生 | ♂ | 成年 | × | √ | × |
| 19 | 2015年6月 | 野生 | ♀ | 亚成年 | × | × | × |
| 20 | 2015年6月 | 野生 | ♀ | 亚成年 | √ | √ | √ |
| 21 | 2016年1月 | 野生 | ♀ | 亚成年 | × | × | × |
| 22 | 2016年1月 | 野生 | ♀ | 成年 | √ | √ | √ |
| 23 | 2016年1月 | 野生 | ♀ | 成年 | √ | × | × |
| 24 | 2016年1月 | 野生 | ♀ | 成年 | × | √ | × |

注: *. 亚成年(<4岁),成年(≥4岁);√. 阳性;×. 阴性。

Note: *. Sub-adult (< four years old), adult (aged four years or older); √. Positive; ×. Negative.

1.3 川金丝猴血液指标检测

采血后 3 h 内,将 50 μ L 血液置于迈瑞 BC-5500 全自动血细胞分析仪中,进行血常规检测。检测指标:白细胞计数(WBC)、红细胞计数(RBC)、血红蛋白(Hb)、红细胞比容(Hct)、平均红细胞体积(MCV)、平均红细胞血红蛋白含量(MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(MCHC)、血小板计数(PLT)、血小板压积(PCT)、淋巴细胞绝对值(Lymph#)、淋巴细胞百分比(Lymph%)、中性粒细胞绝对值(Neu#)、中性粒细胞百分比(Neu%)、单核细胞绝对值(Mono#)、单核细胞百分比(Mono%)、嗜酸性粒细胞绝对值(Eos#)、嗜酸性粒细胞百分比(Eos%)、嗜碱性粒细胞绝对值(Baso#)、嗜碱性粒细胞百分比(Baso%)、红细胞体积分布宽度变异系数(RDW-CV)、平均血小板体积(MPV)和血小板体积分布宽度(PDW)。此外,将 300 μ L 血清置于贝克曼 AU680 全自动生化分析仪中,对 18 项指标进行检测:血清天门冬氨酸转氨酶(AST)、血清丙氨酸氨基转移酶(ALT)、血清碱性磷酸酶(ALP)、血清总蛋白(TP)、血清白蛋白(Alb)、血清 R-谷氨酰转氨酶(R-GT)、总胆红素(TBil)、直接胆红素(DBil)、白蛋白/球蛋白比值(A/G)、间接胆红素(IBil)、尿酸(UA)、尿素氮(BUN)、血清肌酐(Crea)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密

度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和血糖(GLU)。

1.4 统计分析

所有数据采用 SPSS 26.0 进行正态性检验和方差齐性检验,做单因素 ANOVA 分析,以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示血液指标结果。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。用正态分布法求出双侧 95% 可信区间作为血液指标的参考范围^[1]。

2 结果与分析

2.1 川金丝猴血常规检测结果

共获得 22 项神农架川金丝猴的血常规指标,制定了雄性和雌性、亚成年和成年血常规参考范围,并分析了不同性别、年龄、季节和饲养方式对这些血常规指标的影响。由表 2 可知,雄性川金丝猴血液中的 RBC 极显著高于雌性($P < 0.01$),Hb 显著高于雌性($P < 0.05$),其余血常规指标差异不显著($P > 0.05$);此外,除 RBC 和 Hb 外,雄性和雌性血常规其余指标的参考范围高度相近。亚成年和成年川金丝猴的各项血常规指标差异均不显著,其血常规参考范围也相近。在季节方面,夏季川金丝猴血液中的 MCH 显著高于冬季($P < 0.05$),而冬季 PLT 极显著高于夏季($P < 0.01$),RDW-CV 显著高于夏季($P < 0.05$),

表2 性别、年龄、饲养方式和季节对神农架川金丝猴血常规指标的影响
Table 2 The effects of sex, age, raising pattern, and season on blood routine of Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia

| 检测项目 Test item | 性别 Sex | | | | 年龄 Age | | | | 季节 Season | | | | 饲养方式 Raising pattern | |
|--|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| | ♀ (n=13) | | ♂ (n=11) | | 成年 Sub-adult (n=8) | | 成年 Adult (n=16) | | 夏季 Summer (n=20) | | 冬季 Winter (n=4) | | 圈养 Captive (n=13) | 放养 Free-ranging (n=11) |
| | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | $\bar{X} \pm SD$ |
| WBC / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 10.02 ± 2.10 | 8.81 ~ 11.23 | 8.49 ± 1.56 | 7.38 ~ 9.60 | 9.41 ± 2.43 | 7.38 ~ 11.44 | 9.37 ± 1.85 | 8.38 ~ 10.35 | 9.59 ± 2.11 | 8.35 ± 0.99 | 8.35 ± 0.99 | 10.26 ± 2.26 | 8.76 ± 1.60 | |
| RBC / (10 ¹² ·L ⁻¹) | 5.40 ± 0.47 | 5.13 ~ 5.67 | 5.98 ± 0.47** | 5.64 ~ 6.31 | 5.49 ± 0.47 | 5.10 ~ 5.89 | 5.72 ± 0.57 | 5.41 ~ 6.02 | 5.64 ± 0.55 | 5.66 ± 0.58 | 5.66 ± 0.58 | 5.81 ± 0.46 | 5.52 ± 0.58 | |
| Hb / (g·L ⁻¹) | 129.43 ± 8.68 | 124.42 ~ 134.44 | 140.00 ± 12.59* | 131.00 ~ 149.00 | 129.63 ± 6.84 | 123.90 ~ 135.35 | 135.94 ± 12.95 | 129.04 ~ 142.84 | 134.80 ± 11.31 | 129.00 ± 13.09 | 129.00 ± 13.09 | 134.5 ± 8.09 | 133.36 ± 13.76 | |
| Hct / % | 0.38 ± 0.03 | 0.37 ~ 0.40 | 0.42 ± 0.05 | 0.38 ~ 0.45 | 0.38 ± 0.02 | 0.36 ~ 0.40 | 0.41 ± 0.05 | 0.38 ~ 0.43 | 0.40 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.41 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | |
| MCV / fL | 71.04 ± 3.17 | 69.20 ~ 72.87 | 70.43 ± 3.20 | 68.14 ~ 72.72 | 71.23 ± 2.79 | 68.89 ~ 73.56 | 70.56 ± 3.35 | 68.78 ~ 72.35 | 71.22 ± 3.25 | 68.60 ± 0.74 | 68.60 ± 0.74 | 71.23 ± 2.12 | 70.46 ± 3.74 | |
| MCH / pg | 24.26 ± 1.45 | 23.42 ~ 25.10 | 23.92 ± 1.14 | 23.11 ~ 24.73 | 24.49 ± 1.41 | 23.31 ~ 25.66 | 23.93 ± 1.27 | 23.25 ~ 24.61 | 24.39 ± 1.28 | 22.78 ± 0.10* | 22.78 ± 0.10* | 24.02 ± 1.07 | 24.19 ± 1.50 | |
| MCHC / (g·L ⁻¹) | 334.64 ± 22.73 | 321.52 ~ 347.77 | 333.90 ± 26.22 | 315.14 ~ 352.66 | 336.25 ± 26.54 | 314.06 ~ 358.44 | 333.38 ± 23.00 | 321.12 ~ 345.63 | 334.80 ± 26.03 | 332.00 ± 2.00 | 332.00 ± 2.00 | 322.00 ± 32.13 | 343.14 ± 8.82* | |
| PLT / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 193.50 ± 90.51 | 141.24 ~ 245.76 | 230.00 ± 92.08 | 164.13 ~ 295.87 | 189.13 ± 76.60 | 125.09 ~ 253.16 | 218.50 ± 98.29 | 166.13 ~ 270.87 | 181.80 ± 69.73 | 343.25 ± 61.42** | 343.25 ± 61.42** | 143.40 ± 45.26 | 255.36 ± 87.28** | |
| PCT / % | 0.24 ± 0.29 | 0.08 ~ 0.41 | 0.19 ± 0.08 | 0.13 ~ 0.25 | 0.29 ± 0.38 | 0 ~ 0.61 | 0.19 ± 0.09 | 0.14 ~ 0.23 | 0.20 ± 0.24 | 0.31 ± 0.05 | 0.31 ± 0.05 | 0.24 ± 0.35 | 0.21 ± 0.08 | |
| Lymph# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 4.31 ± 0.96 | 3.76 ~ 4.87 | 4.18 ± 0.75 | 3.65 ~ 4.71 | 4.14 ± 1.13 | 3.19 ~ 5.08 | 4.32 ± 0.73 | 3.93 ~ 4.71 | 4.16 ± 0.87 | 4.78 ± 0.71 | 4.78 ± 0.71 | 3.76 ± 0.79 | 4.61 ± 0.75* | |
| Lymph% / % | 46.89 ± 12.82 | 39.48 ~ 54.29 | 49.36 ± 16.91 | 37.26 ~ 61.46 | 47.69 ± 18.78 | 31.98 ~ 63.39 | 48.03 ± 12.32 | 41.47 ~ 54.6 | 46.10 ± 14.92 | 57.03 ± 6.34 | 57.03 ± 6.34 | 40.40 ± 17.90 | 53.29 ± 8.29* | |
| Neut# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 4.54 ± 1.60 | 3.61 ~ 5.46 | 3.71 ± 1.49 | 2.65 ~ 4.77 | 4.36 ± 2.29 | 2.45 ~ 6.28 | 4.11 ± 1.16 | 3.49 ~ 4.72 | 4.40 ± 1.64 | 3.15 ± 0.57 | 3.15 ± 0.57 | 4.91 ± 1.79 | 3.68 ± 1.22 | |
| Neut% / % | 44.81 ± 9.05 | 39.59 ~ 50.04 | 41.38 ± 10.18 | 34.10 ~ 48.66 | 43.83 ± 13.66 | 32.40 ~ 55.25 | 43.16 ± 7.10 | 39.38 ~ 46.95 | 44.53 ± 9.78 | 37.68 ± 5.57 | 37.68 ± 5.57 | 46.39 ± 11.46 | 41.24 ± 7.49 | |
| Mono# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0.49 ± 0.36 | 0.28 ~ 0.70 | 0.39 ± 0.24 | 0.22 ~ 0.56 | 0.49 ± 0.46 | 0.10 ~ 0.87 | 0.43 ± 0.23 | 0.30 ~ 0.55 | 0.49 ± 0.33 | 0.23 ± 0.05 | 0.23 ± 0.05 | 0.68 ± 0.34 | 0.28 ± 0.16** | |
| Mono% / % | 4.91 ± 2.68 | 3.36 ~ 6.45 | 4.35 ± 2.05 | 2.88 ~ 5.82 | 4.55 ± 3.44 | 1.68 ~ 7.42 | 4.74 ± 1.82 | 3.77 ~ 5.71 | 5.03 ± 2.48 | 2.93 ± 0.57 | 2.93 ± 0.57 | 6.41 ± 2.54 | 3.44 ± 1.33** | |
| Eos# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Eos% / % | 0.08 ± 0.06 | 0.05 ~ 0.11 | 0.05 ± 0.05 | 0.01 ~ 0.09 | 0.05 ± 0.08 | 0 ~ 0.11 | 0.08 ± 0.04 | 0.05 ~ 0.10 | 0.08 ± 0.06 | 0.03 ± 0.05 | 0.03 ± 0.05 | 0.05 ± 0.05 | 0.08 ± 0.06 | |
| Baso# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0.19 ± 0.11 | 0.13 ~ 0.25 | 0.16 ± 0.10 | 0.09 ~ 0.23 | 0.18 ± 0.10 | 0.09 ~ 0.26 | 0.18 ± 0.10 | 0.13 ~ 0.24 | 0.18 ± 0.11 | 0.20 ± 0.08 | 0.20 ± 0.08 | 0.19 ± 0.12 | 0.17 ± 0.09 | |
| Baso% / % | 1.92 ± 0.82 | 1.45 ~ 2.40 | 1.98 ± 0.81 | 1.40 ~ 2.56 | 1.89 ± 0.78 | 1.24 ~ 2.54 | 1.98 ± 0.83 | 1.53 ~ 2.42 | 1.87 ± 0.84 | 2.35 ± 0.39 | 2.35 ± 0.39 | 1.95 ± 1.00 | 1.94 ± 0.66 | |
| RDW-CV / % | 16.21 ± 8.22 | 11.47 ~ 20.96 | 14.15 ± 0.67 | 13.67 ~ 14.63 | 14.04 ± 0.43 | 13.67 ~ 14.40 | 16.01 ± 7.68 | 11.92 ~ 20.10 | 13.96 ± 0.54 | 22.33 ± 14.92* | 22.33 ± 14.92* | 14.00 ± 0.61 | 16.32 ± 8.19 | |
| MPV / fL | 8.63 ± 0.83 | 8.15 ~ 9.11 | 8.34 ± 0.99 | 7.63 ~ 9.05 | 8.38 ± 0.81 | 7.70 ~ 9.05 | 8.58 ± 0.95 | 8.07 ~ 9.08 | 8.39 ± 0.89 | 9.13 ± 0.66 | 9.13 ± 0.66 | 8.93 ± 0.87 | 8.21 ± 0.80* | |
| PDW / fL | 12.80 ± 1.58 | 11.89 ~ 13.71 | 12.27 ± 2.15 | 10.73 ~ 13.81 | 12.38 ± 1.99 | 10.71 ~ 14.04 | 12.68 ± 1.78 | 11.73 ~ 13.63 | 12.46 ± 1.89 | 13.20 ± 1.41 | 13.20 ± 1.41 | 12.99 ± 2.37 | 12.29 ± 1.30 | |

注：* 差异显著 (P < 0.05)；** 差异极显著 (P < 0.01)。

Note: * The difference is significant (P < 0.05); ** The difference is extremely significant (P < 0.01).

表3 性别、年龄、饲养方式和季节对神农架川金丝猴血生化指标的影响

Table 3 The effects of sex, age, raising pattern, and season on blood biochemistry of Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia

| 检测项目 Test item | 性别 Sex | | | | 年龄 Age | | | | 季节 Season | | 饲养方式 Raising pattern | |
|--|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|---|--|--|---|
| | ♀ (n=13) | | ♂ (n=11) | | 亚成年 Sub-adult (n=8) | | 成年 Adult (n=16) | | 夏季 Summer ($\bar{X} \pm SD, n=20$) | 冬季 Winter ($\bar{X} \pm SD, n=4$) | 圈养 Captive ($\bar{X} \pm SD, n=13$) | 放养 Free-ranging ($\bar{X} \pm SD, n=11$) |
| | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | $\bar{X} \pm SD$ | 参考范围 Reference range | | | | |
| AST/(U·L ⁻¹) | 74.04 ± 31.61 | 55.79 ~ 92.29 | 66.14 ± 21.70 | 50.61 ~ 81.67 | 79.28 ± 34.43 | 50.49 ~ 108.06 | 66.49 ± 23.70 | 53.86 ~ 79.12 | 73.41 ± 27.09 | 57.48 ± 30.60 | 78.42 ± 24.09 | 65.27 ± 29.57 |
| ALT/(U·L ⁻¹) | 21.93 ± 8.63 | 16.95 ~ 26.91 | 17.48 ± 3.87 | 14.71 ~ 20.25 | 18.95 ± 3.85 | 15.74 ~ 22.17 | 20.64 ± 8.56 | 16.08 ~ 25.20 | 18.58 ± 5.88 | 27.58 ± 9.84* | 17.44 ± 3.12 | 21.96 ± 8.82 |
| ALP/(U·L ⁻¹) | 475.56 ± 349.98 | 273.49 ~ 677.63 | 279.95 ± 261.19 | 93.11 ~ 466.79 | 334.81 ± 428.4 | 23.34 ~ 692.97 | 423.68 ± 271.12 | 279.20 ~ 568.15 | 371.67 ± 346.38 | 505.98 ± 172.98 | 350.54 ± 318.79 | 425.14 ± 337.68 |
| TP/(g·L ⁻¹) | 60.06 ± 5.39 | 56.95 ~ 63.18 | 59.51 ± 6.72 | 54.70 ~ 64.32 | 56.43 ± 3.13 | 53.81 ~ 59.04 | 61.54 ± 6.21* | 58.23 ~ 64.84 | 58.28 ± 4.96 | 67.60 ± 3.07** | 57.29 ± 5.33 | 61.65 ± 5.68 |
| Alb/(g·L ⁻¹) | 51.39 ± 3.69 | 49.26 ~ 53.51 | 52.50 ± 2.68 | 50.58 ~ 54.42 | 50.46 ± 2.74 | 48.17 ~ 52.75 | 52.54 ± 3.39 | 50.73 ~ 54.35 | 51.05 ± 2.58 | 55.85 ± 3.90** | 52.22 ± 2.35 | 51.59 ± 3.89 |
| TC/(U·L ⁻¹) | 110.06 ± 36.94 | 88.73 ~ 131.38 | 119.19 ± 41.40 | 89.57 ~ 148.81 | 133.84 ± 29.83 | 108.90 ~ 158.77 | 103.88 ± 38.84 | 83.18 ~ 124.57 | 119.67 ± 37.22 | 84.83 ± 33.08 | 114.93 ± 47.04 | 113.1 ± 32.48 |
| TBil/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 2.53 ± 1.23 | 1.82 ~ 3.24 | 2.68 ± 1.56 | 1.56 ~ 3.80 | 3.01 ± 0.64 | 2.47 ~ 3.55 | 2.38 ± 1.56 | 1.55 ~ 3.22 | 3.11 ± 0.71 | 0** | 3.23 ± 0.68 | 2.14 ± 1.54* |
| DBil/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.29 ± 0.34 | 0.09 ~ 0.49 | 0.29 ± 0.33 | 0.05 ~ 0.53 | 0.39 ± 0.45 | 0.02 ~ 0.76 | 0.24 ± 0.26 | 0.10 ~ 0.38 | 0.31 ± 0.35 | 0.20 ± 0.18 | 0.30 ± 0.35 | 0.29 ± 0.33 |
| AG | 6.32 ± 2.71 | 4.75 ~ 7.89 | 8.99 ± 6.14 | 4.60 ~ 13.38 | 9.51 ± 6.21 | 4.32 ~ 14.70 | 6.39 ± 3.21 | 4.68 ~ 8.11 | 7.66 ± 4.74 | 6.30 ± 3.77 | 9.83 ± 5.61 | 5.72 ± 2.70* |
| IBil/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 2.77 ± 0.65 | 2.40 ~ 3.15 | 3.14 ± 0.92 | 2.49 ~ 3.79 | 2.73 ± 0.72 | 2.12 ~ 3.33 | 3.03 ± 0.80 | 2.60 ~ 3.45 | 3.03 ± 0.78 | 2.43 ± 0.56 | 3.23 ± 0.92 | 2.71 ± 0.60 |
| UA/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 10.68 ± 6.23 | 7.09 ~ 14.28 | 13.43 ± 12.16 | 4.73 ~ 22.13 | 14.84 ± 11.76 | 5.00 ~ 24.67 | 10.33 ± 7.31 | 6.43 ~ 14.22 | 10.65 ± 8.93 | 17.73 ± 8.11 | 12.99 ± 10.90 | 11.00 ± 7.78 |
| BUN/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 8.76 ± 1.80 | 7.72 ~ 9.79 | 7.96 ± 2.88 | 5.90 ~ 10.01 | 9.56 ± 1.96 | 7.92 ~ 11.19 | 7.86 ± 2.28 | 6.64 ~ 9.07 | 8.37 ± 1.91 | 8.68 ± 4.10 | 8.50 ± 2.07 | 8.37 ± 2.50 |
| Crea/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 70.25 ± 8.21 | 65.51 ~ 74.99 | 72.72 ± 13.80 | 62.85 ~ 82.59 | 74.39 ± 13.27 | 63.29 ~ 85.48 | 69.73 ± 9.22 | 64.81 ~ 74.64 | 71.18 ± 10.71 | 71.8 ± 12.19 | 75.48 ± 12.96 | 68.28 ± 7.90 |
| TC/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 4.54 ± 0.49 | 4.26 ~ 4.82 | 4.36 ± 0.61 | 3.93 ~ 4.79 | 4.47 ± 0.40 | 4.13 ~ 4.80 | 4.46 ± 0.60 | 4.14 ~ 4.78 | 4.44 ± 0.56 | 4.58 ± 0.46 | 4.46 ± 0.50 | 4.47 ± 0.57 |
| TC/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 0.82 ± 0.22 | 0.69 ~ 0.94 | 0.67 ± 0.17 | 0.55 ~ 0.79 | 0.72 ± 0.19 | 0.56 ~ 0.88 | 0.77 ± 0.22 | 0.66 ~ 0.89 | 0.72 ± 0.20 | 0.92 ± 0.18 | 0.67 ± 0.14 | 0.82 ± 0.23 |
| HDL-C/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 2.56 ± 0.74 | 2.14 ~ 2.99 | 2.42 ± 0.77 | 1.87 ~ 2.97 | 2.43 ± 0.90 | 1.68 ~ 3.18 | 2.54 ± 0.68 | 2.18 ~ 2.90 | 2.49 ± 0.75 | 2.56 ± 0.77 | 2.34 ± 0.69 | 2.62 ± 0.78 |
| LDL-C/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 2.59 ± 0.41 | 2.35 ~ 2.83 | 2.34 ± 0.33 | 2.10 ~ 2.57 | 2.60 ± 0.39 | 2.27 ~ 2.92 | 2.43 ± 0.39 | 2.22 ~ 2.64 | 2.46 ± 0.40 | 2.60 ± 0.40 | 2.56 ± 0.45 | 2.43 ± 0.35 |
| GLU/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) | 5.10 ± 0.81 | 4.63 ~ 5.56 | 5.31 ± 0.69 | 4.82 ~ 5.81 | 5.22 ± 0.70 | 4.63 ~ 5.80 | 5.17 ± 0.80 | 4.75 ~ 5.60 | 5.08 ± 0.70 | 5.73 ± 0.90 | 5.12 ± 0.66 | 5.24 ± 0.83 |

注：*，差异显著 ($P < 0.05$)；**，差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: *, The difference is significant ($P < 0.05$); **, The difference is extremely significant ($P < 0.01$).

其余指标在夏季和冬季间差异不显著。从饲养方式来看，野外放养川金丝猴的 MCHC、Lymph# 和 Lymph% 显著高于圈养 ($P < 0.05$)，PLT 极显著高于圈养 ($P < 0.01$)；而圈养的 MPV 显著高于野外放养 ($P < 0.05$)，Mono# 和 Mono% 极显著高于野外放养 ($P < 0.01$)；其他指标在圈养和野外放养间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 川金丝猴血生化检测结果

共获得 18 项神农架川金丝猴的血生化指标，制定了雄性和雌性、亚成年和成年的血生化参考范围，并分析了不同性别、年龄、季节和饲养方式对这些血生化指标的影响。由表 3 可知，雌、雄川金丝猴的血生化指标无显著差异，且其参考范围接近。成年川金丝猴血液中 TP 显著高于亚成年 ($P < 0.05$)，其余指标无显著差异，且其参考范围接近。冬季川金丝猴体内 ALT、TP、Alb 显著或极显著高于夏季 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)，而 TBil 在冬季极显著低于夏季 ($P < 0.01$)，其余血生化指标在冬季和夏季无显著

差异。圈养川金丝猴血液中的 TBil 和 A/G 显著高于野外放养 ($P < 0.05$)，其余指标均无显著差异。

2.3 病毒感染对川金丝猴血液指标的影响

本研究所采集的血液均来自眼观健康、身体强壮和食欲正常的川金丝猴。结合实验室前期对川金丝猴血液中病毒感染情况的检测结果^[7]，研究了隐性感染 MaHV-1、GsmCMV 和 SFV 对其血液指标的影响。由表 4 可知，MaHV-1 阳性川金丝猴血液中的 Eos% 极显著高于 MaHV-1 阴性 ($P < 0.01$)；在血生化指标中，GLU 在感染 MaHV-1 的血液中显著降低 ($P < 0.05$)，其余血液指标则没有显著差异。GsmCMV 阳性川金丝猴血液中仅有 MCV 显著降低 ($P < 0.05$)，其余血液指标无显著差异。SFV 阳性川金丝猴血液中的 RBC 和 Hct 显著降低 ($P < 0.05$)，而 Lymph#、Baso#、RDW-CV 和 Baso% 在阳性血液中的水平显著升高 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)；在血生化指标中，A/G 在 SFV 阳性血液中显著下降 ($P < 0.05$)，TP 水平极显著升高 ($P < 0.01$)，其余血液指标无显著差异。

表 4 MaHV-1、GsmCMV 和 SFV 感染对神农架川金丝猴血常规和血生化指标的影响

Table 4 The effects of MaHV-1, GsmCMV and SFV on blood parameters of Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia

| 指标类型 Parameter types | 检测项目 Test item | MaHV-1 | | GsmCMV | | SFV | |
|------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | 阴性 Negative (n = 10) | 阳性 Positive (n = 14) | 阴性 Negative (n = 15) | 阳性 Positive (n = 9) | 阴性 Negative (n = 19) | 阳性 Positive (n = 5) |
| 血常规 Hematological parameters | WBC / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 9.40 ± 2.23 | 9.37 ± 1.92 | 9.26 ± 2.03 | 9.59 ± 2.07 | 9.19 ± 2.20 | 10.12 ± 0.65 |
| | RBC / (10 ¹² ·L ⁻¹) | 5.62 ± 0.56 | 5.66 ± 0.55 | 5.63 ± 0.59 | 5.67 ± 0.49 | 5.78 ± 0.53 | 5.14 ± 0.16* |
| | Hb / (g·L ⁻¹) | 131.40 ± 10.47 | 135.57 ± 12.31 | 133.33 ± 11.82 | 134.67 ± 11.67 | 136.00 ± 11.30 | 125.60 ± 9.07 |
| | Hct / % | 0.40 ± 0.04 | 0.40 ± 0.04 | 0.40 ± 0.04 | 0.39 ± 0.04 | 0.41 ± 0.04 | 0.37 ± 0.02* |
| | MCV / fL | 71.81 ± 2.52 | 70.05 ± 3.40 | 71.81 ± 3.00 | 69.07 ± 2.67* | 70.98 ± 2.93 | 70.04 ± 4.09 |
| | MCH / pg | 24.19 ± 1.35 | 24.06 ± 1.34 | 24.33 ± 1.41 | 23.76 ± 1.13 | 24.11 ± 1.29 | 24.14 ± 1.59 |
| | MCHC / (g·L ⁻¹) | 327.9 ± 27.83 | 338.93 ± 20.05 | 330.73 ± 26.24 | 340.33 ± 18.55 | 331.68 ± 25.85 | 344.40 ± 7.77 |
| | PLT / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 198.5 ± 75.55 | 216.00 ± 102.81 | 201.87 ± 75.63 | 220.11 ± 116.53 | 215.05 ± 96.54 | 184.60 ± 69.16 |
| | PCT / % | 0.29 ± 0.34 | 0.18 ± 0.09 | 0.25 ± 0.28 | 0.18 ± 0.10 | 0.24 ± 0.25 | 0.16 ± 0.08 |
| | Lymph# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 4.02 ± 0.95 | 4.43 ± 0.79 | 4.04 ± 0.82 | 4.62 ± 0.86 | 4.08 ± 0.85 | 4.94 ± 0.59* |
| | Lymph% / % | 46.28 ± 16.10 | 49.09 ± 13.50 | 46.77 ± 11.98 | 49.83 ± 18.32 | 49.21 ± 13.45 | 43.02 ± 18.31 |
| | Neu# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 4.43 ± 2.04 | 4.02 ± 1.21 | 4.39 ± 1.65 | 3.86 ± 1.47 | 4.12 ± 1.74 | 4.48 ± 0.76 |
| | Neu% / % | 45.11 ± 12.04 | 42.15 ± 7.39 | 45.40 ± 8.45 | 40.02 ± 10.62 | 43.22 ± 10.33 | 44.02 ± 5.93 |
| | Mono# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0.47 ± 0.42 | 0.43 ± 0.23 | 0.47 ± 0.37 | 0.40 ± 0.22 | 0.46 ± 0.34 | 0.38 ± 0.23 |
| | Mono% / % | 4.90 ± 2.85 | 4.51 ± 2.12 | 4.97 ± 2.70 | 4.18 ± 1.85 | 4.82 ± 2.61 | 4.12 ± 1.45 |
| | Eos# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Eos% / % | 0.03 ± 0.05 | 0.09 ± 0.05** | 0.05 ± 0.05 | 0.09 ± 0.06 | 0.06 ± 0.06 | 0.08 ± 0.04 |
| | Baso# / (10 ⁹ ·L ⁻¹) | 0.19 ± 0.09 | 0.17 ± 0.11 | 0.17 ± 0.08 | 0.20 ± 0.13 | 0.15 ± 0.08 | 0.28 ± 0.11* |
| Baso% / % | 2.07 ± 0.68 | 1.86 ± 0.89 | 1.86 ± 0.67 | 2.09 ± 1.01 | 1.73 ± 0.65 | 2.76 ± 0.85** | |
| RDW-CV / % | 17.09 ± 9.72 | 14.11 ± 0.59 | 15.96 ± 7.97 | 14.34 ± 0.50 | 14.08 ± 0.58 | 20.20 ± 13.71* | |
| MPV / fL | 8.88 ± 0.82 | 8.25 ± 0.87 | 8.68 ± 0.87 | 8.22 ± 0.91 | 8.51 ± 0.89 | 8.50 ± 0.98 | |
| PDW / fL | 12.68 ± 1.74 | 12.51 ± 1.92 | 12.61 ± 2.11 | 12.53 ± 1.30 | 12.58 ± 2.00 | 12.56 ± 0.99 | |

续表4

| 指标类型 Parameter types | 检测项目 Test item | MaHV-1 | | GsmCMV | | SFV | |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | 阴性 Negative (n = 10) | 阳性 Positive (n = 14) | 阴性 Negative (n = 15) | 阳性 Positive (n = 9) | 阴性 Negative (n = 19) | 阳性 Positive (n = 5) |
| 血生化指标 Biochemical parameters | AST/(U·L ⁻¹) | 72.76 ± 27.01 | 69.31 ± 29.04 | 75.01 ± 22.02 | 63.64 ± 35.5 | 71.49 ± 29.02 | 67.94 ± 24.41 |
| | ALT/(U·L ⁻¹) | 21.07 ± 7.74 | 19.36 ± 7.13 | 21.09 ± 8.01 | 18.39 ± 5.89 | 18.67 ± 3.85 | 25.40 ± 13.89 |
| | ALP/(U·L ⁻¹) | 310.65 ± 299.81 | 453.63 ± 339.82 | 341.49 ± 312.98 | 481.66 ± 344.15 | 397.10 ± 319.55 | 382.48 ± 384.24 |
| | TP/(g·L ⁻¹) | 59.22 ± 5.95 | 60.27 ± 5.95 | 59.04 ± 5.20 | 61.16 ± 6.90 | 58.05 ± 4.95 | 66.62 ± 3.63** |
| | Alb/(g·L ⁻¹) | 51.96 ± 2.95 | 51.77 ± 3.62 | 51.52 ± 2.55 | 52.40 ± 4.37 | 52.14 ± 3.50 | 50.76 ± 2.30 |
| | R-GT/(U·L ⁻¹) | 112.04 ± 40.41 | 115.16 ± 38.12 | 106.68 ± 38.09 | 125.83 ± 37.54 | 114.13 ± 40.38 | 112.86 ± 32.77 |
| | TBil/(μmol·L ⁻¹) | 2.46 ± 1.34 | 2.69 ± 1.40 | 2.53 ± 1.15 | 2.69 ± 1.70 | 2.48 ± 1.24 | 3.02 ± 1.81 |
| | DBil/(μmol·L ⁻¹) | 0.30 ± 0.34 | 0.29 ± 0.34 | 0.29 ± 0.31 | 0.29 ± 0.38 | 0.29 ± 0.33 | 0.28 ± 0.36 |
| | A/G | 9.51 ± 5.99 | 5.95 ± 2.48 | 6.85 ± 3.09 | 8.41 ± 6.41 | 8.54 ± 4.50 | 3.24 ± 0.24* |
| | IBil/(μmol·L ⁻¹) | 2.87 ± 0.74 | 2.96 ± 0.82 | 2.90 ± 0.72 | 2.97 ± 0.90 | 2.85 ± 0.74 | 3.20 ± 0.92 |
| | UA/(μmol·L ⁻¹) | 14.30 ± 11.04 | 10.07 ± 7.21 | 12.85 ± 9.41 | 10.12 ± 8.63 | 12.26 ± 9.49 | 10.18 ± 7.76 |
| | BUN/(mmol·L ⁻¹) | 8.82 ± 2.36 | 8.14 ± 2.27 | 8.53 ± 2.31 | 8.24 ± 2.37 | 8.68 ± 2.42 | 7.44 ± 1.44 |
| | Crea/(μmol·L ⁻¹) | 72.46 ± 12.83 | 70.44 ± 9.28 | 70.98 ± 11.58 | 71.78 ± 9.65 | 70.61 ± 11.26 | 73.82 ± 8.66 |
| | TC/(mmol·L ⁻¹) | 4.45 ± 0.49 | 4.48 ± 0.58 | 4.44 ± 0.44 | 4.50 ± 0.69 | 4.49 ± 0.44 | 4.35 ± 0.86 |
| | TG/(mmol·L ⁻¹) | 0.68 ± 0.14 | 0.81 ± 0.24 | 0.69 ± 0.14 | 0.85 ± 0.27 | 0.74 ± 0.20 | 0.83 ± 0.25 |
| | HDL-C/(mmol·L ⁻¹) | 2.28 ± 0.73 | 2.66 ± 0.73 | 2.59 ± 0.73 | 2.36 ± 0.78 | 2.46 ± 0.78 | 2.68 ± 0.56 |
| | LDL-C/(mmol·L ⁻¹) | 2.58 ± 0.46 | 2.41 ± 0.33 | 2.54 ± 0.41 | 2.39 ± 0.36 | 2.48 ± 0.35 | 2.51 ± 0.57 |
| GLU/(mmol·L ⁻¹) | 5.59 ± 0.91 | 4.90 ± 0.47* | 5.35 ± 0.88 | 4.91 ± 0.39 | 5.06 ± 0.70 | 5.67 ± 0.85 | |

注：表中数据为平均值 ± 标准差。*：差异显著($P < 0.05$)；**：差异极显著($P < 0.01$)。

Note: The data in the table are presented as mean ± SD. *: The difference is significant ($P < 0.05$); **: The difference is extremely significant ($P < 0.01$).

3 讨论

3.1 性别对川金丝猴血液指标的影响

本研究中雄性和雌性血液指标的均值和参考范围与陕西秦岭川金丝猴^[4]及上海野生动物园的圈养川金丝猴^[5]符合度较高。然而,在TP和Alb指标上,本研究与秦岭川金丝猴结果一致,均为上海川金丝猴研究结果的10倍。考虑到本研究结果与人类指标^[8-9]相近,因此本研究结果更具可信度。此外,本研究发现神农架雄性川金丝猴的RBC和Hb显著高于雌性猴,这与上海川金丝猴的血液指标结果^[5]一致,虽然秦岭川金丝猴的研究结果中RBC和Hb无显著差异,但雄性指标均高于雌性^[4]。据报道,雌性动物RBC较低是雌激素对红细胞生成具有抑制作用,而雄性动物Hb较高则归因于雄性激素及肌肉对更多氧气的需求^[10-11]。上海动物园雄性和雌性川金丝猴在Neu#、Neu%、Lymph#和Lymph%指标上均存在显著差异^[5],但本研究显示这些指标之间无显著差异。考虑到上述4个与白细胞相关的指标均与疾病发生或机体异常相关,而本研究所采集样品的川金丝猴均处于健康状态,因此本研究数据更能反映动

物的自身健康状况。在所有检测的血生化指标中,神农架雄性和雌性川金丝猴之间无显著差异,这与上海川金丝猴的研究结果不同。在上海川金丝猴的研究中^[5],雄性和雌性在GPT、TBil、GLU和Alb指标上存在显著差异。GPT是肝脏损伤最敏感的指标,当肝脏受损时其浓度会增高;TBil与凝血功能相关, TBil越高,凝血功能越差,提示肝损伤越严重;肝脏损伤还会降低Alb浓度。因此,上海川金丝猴研究中这些指标的显著差异,提示了肝脏损伤的可能性。本研究结果显示无显著差异,符合研究中川金丝猴的健康状况。环尾狐猴(*Lemur catta*)^[1,12]和陕西川金丝猴^[4]的研究也显示雄性和雌性的血生化指标无显著差异,本结果与上述研究一致。然而,非洲绿猴(*Chlorocebus sabaues*)^[13]和绵耳狨猴(*Callithrix jacchus*)^[14]的血生化结果显示部分指标在雄性和雌性间具有显著差异,本结果与其存在一定出入,这可能与物种及饲养环境不同相关。

3.2 年龄对川金丝猴血液指标的影响

本研究显示年龄对血常规指标无显著影响,但随着年龄的增长,部分血常规和血生化指标会逐渐升高或趋于稳定,如RBC、Hb、Hct和PLT等。幼年

川金丝猴获取食物的能力不及成年,因此在出现微量元素缺乏或营养不良的情况下,RBC会出现降低。幼年川金丝猴的造血功能处于生长完善期,其RBC轻微偏低应属于正常的生理现象。同样,一些血液指标也会随着年龄增长而出现轻微下降现象,如WBC、Neu和Mono等^[15]。这些指标与动物免疫能力有关,随着年龄的增长,川金丝猴免疫能力下降,造成以上指标轻微下降。值得注意的是,本研究显示TP在成年川金丝猴中显著高于亚成年,这与人类指标^[8-9]一致,亚成年川金丝猴由于其自身合成蛋白能力弱于成年,因此其血清中的TP含量相对偏低,这与非洲绿猴的研究结果^[13]一致。

3.3 季节对川金丝猴血液指标的影响

血液指标的季节差异可能是外部环境如温度、光照和湿度的改变引起的,也可能是外部环境的变化导致动物自身生理调控机制改变引起^[16]。关于血液指标冬季高、夏季低的现象,最著名的解释是血液稀释-浓缩理论。该理论认为,夏季血液稀释,冬季血液浓缩,从而导致血液指标夏季降低,冬季升高^[16]。本研究共发现7个血液指标在冬季和夏季川金丝猴血液中差异显著,分别是冬季达到最高值的ALT、TP、Aib、PLT和RDW-CV以及夏季达到最高值的TBil和MCH。ALT是动物体内重要的转氨酶,其活性随着季节的变化较大^[15]。ALT在健康人群和大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)中均呈现冬季显著升高的趋势^[15-16],本研究结果与上述研究一致。大熊猫的TBil和MCH在夏季显著高于冬季,而PLT则在冬季达到最高,夏季最低,本研究结果与其^[15]一致。蛋白质是机体物质代谢和生理活动的基础,其含量能够反映动物的营养状况。例如,TP可以反映外源蛋白摄入或内源蛋白的代谢情况。本研究发现川金丝猴的TP在冬季显著高于夏季,与其他川金丝猴的血液研究数据^[4]相比,本研究中夏季川金丝猴的TP含量仍处于正常范围内,表明神农架川金丝猴在冬季可能获取更多的人工蛋白补充。

3.4 饲养方式对川金丝猴血液指标的影响

野外放养和圈养动物血液学指标的差异可归因于几个不同的因素,包括动物的食物类型和喂养行为、环境中食物资源的可用性、固有致病性病原感染、大群体之间的社会地位、野外环境和生活条件以及地理位置等^[11,17-18]。本研究发现野外放养川金丝猴血液中的MCHC显著高于圈养,这可能与野外放

养的更大活动量有关。Lymph和Mono是机体白细胞的重要组成部分,有报道称猕猴(*Macaca sp.*)的突然兴奋或恐惧可引起生理性白细胞增多^[19]。本研究发现,Lymph#和Lymph%在野外放养猴中显著升高,而Mono#和Mono%在圈养中显著升高。考虑到川金丝猴健康状况良好,推测以上指标的变化可能与川金丝猴在野外活动方式、食物争抢以及打斗频率的不同有关。在圈养和野生猕猴(*Macaca mulatta*)中也观察到Lymph和Mono数量和比率之间的显著差异^[11],本研究结果与此一致。与血常规相比,本研究发现不同饲养方式对血生化指标的影响较小,这一结果与猕猴研究中的发现^[11]一致。圈养川金丝猴的TBil和A/G显著高于野外放养,TBil和A/G的增高提示动物机体可能存在炎症以及肝脏损伤等健康问题。

3.5 病毒隐性感染对川金丝猴血液指标的影响

MaHV-1和SFV属于疱疹病毒,猴被感染后通常终身携带抗体,抗体阳性表示该猴曾有过感染史。MaHV-1感染后,病毒在黏膜上皮细胞上进行复制,形成初发感染,进而在皮肤或局部如肝脏上出现病变,导致继发性肝损伤或明显的皮肤病变^[20]。本研究显示MaHV-1阳性川金丝猴的肝脏指标,如AST和ALT轻微降低,与食蟹猴(*Macaca fascicularis*)的研究结果相反,后者显示AST和ALT轻微升高^[20],但两者均未表现出显著差异。食蟹猴感染MaHV-1后出现显著的TBil升高,而本研究的川金丝猴感染MaHV-1后TBil也有升高,但不显著。本研究结果显示,川金丝猴感染MaHV-1、SFV和GsmCMV后,其血液学变化主要表现为RBC和WBC的改变。具体而言,MaHV-1感染造成Eos显著升高,SFV感染引起Lymph#、Baso#、Baso%和RDV-CV显著升高。这些变化可能与病毒的持续感染导致白细胞群增加有关。血清中蛋白的含量能反映慢性肝损伤的程度,本研究中SFV阳性的川金丝猴,A/G显著降低,与食蟹猴和恒河猴的研究结果^[20]一致,提示SFV阳性猴群中可能出现了肝脏合成和代谢功能的障碍。

总体来说,本研究首次对神农架地区的川金丝猴进行了较为详细的血液学研究。本研究的不足之处在于川金丝猴的珍稀性,导致只能采集到24份有效的血液样本。与其他常见物种血液学研究相比,样本数量不足可能增加了结果的误差,影响了血液指标的准确性。因此,未来在保障川金丝猴安全的前提下,需要进一步扩大样本量,积累更多的血液指

标数据,将有助于更准确地反映川金丝猴血液的真实情况,并建立更完善的血液指标参考范围。与陕西和上海川金丝猴血液学研究^[4-5]相比,本研究涵盖的评估指标更为广泛,包括年龄、性别、饲养方式和季节对血液学指标的影响,同时结合流行病学数据,进一步研究了病毒隐性感染对血液学的影响。这些研究结果对川金丝猴的健康监测、种群保护和疾病控制具有重要意义。

参考文献:

- [1] 韩飞. 不同性别、年龄、季节环尾狐猴血液学指标的差异性初步研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2019.
HAN F. Preliminary research on differences in hematological indexes of ring-tailed lemurs of different genders, ages and seasons [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.
- [2] 魏辅文. 中国兽类分类与分布[M]. 北京:科学出版社, 2022:14.
WEI F W. Taxonomy and distribution of mammals in China [M]. Beijing: Science Press, 2022:14.
- [3] WANG L, WU J W, LIU X M, *et al.* A high-quality genome assembly for the endangered golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) [J]. *GigaScience*, 2019, 8(8): giz098.
- [4] 高云芳,蒙世杰,刘诗峰,等. 川金丝猴血象和血液生物化学指标的研究[J]. *动物学报*, 1998, 44(2): 190-194.
GAO Y F, MENG S J, LIU S F, *et al.* Study on haemogram and blood biochemical parameters of Sichuan golden monkeys [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, 44(2): 190-194.
- [5] 冯永其,刘均达,徐静,等. 人工饲养川金丝猴血常规、血液生化指标的测定与比较[J]. *上海畜牧兽医通讯*, 2018(2): 8-9.
FENG Y Q, LIU J D, XU J, *et al.* Determination and comparison of hematological and blood biochemical indices in captive Sichuan snub-nosed monkeys [J]. *Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018(2): 8-9.
- [6] 周友兵,韩文斌,陈文文,等. 神农架世界自然遗产地陆生脊椎动物多样性[J]. *生态科学*, 2018, 37(5): 47-52.
ZHOU Y B, HAN W B, CHEN W W, *et al.* Terrestrial vertebrate diversity in Shennongjia world natural heritage site, China [J]. *Ecological Science*, 2018, 37(5): 47-52.
- [7] QI M P, WANG Q K, WANG Y, *et al.* Epidemiological survey and risk factor analysis of 14 potential pathogens in golden snub-nosed monkeys at Shennongjia National Nature Reserve, China [J]. *Pathogens*, 2023, 12(3): 483.
- [8] 阴斌霞,王香玲,赵丽华,等. 西安地区部分体检人群血清蛋白质参考值调查[J]. *海南医学*, 2008, 19(6): 11-13.
YIN B X, WANG X L, ZHAO L H, *et al.* The investigation of reference values of serum proteins within healthy crowd in Xi'an area [J]. *Hainan Medical Journal*, 2008, 19(6): 11-13.
- [9] 李欣,周琪,王迪,等. 长春市不同年龄段汉族健康儿童血清总蛋白、清蛋白水平观察[J]. *山东医药*, 2016, 56(23): 61-64.
LI X, ZHOU Q, WANG D, *et al.* Observation of serum total protein and albumin levels in healthy Han Chinese children of different age groups in Changchun City [J]. *Shandong Medical Journal*, 2016, 56(23): 61-64.
- [10] KAGIRA J M, NGOTHO M, THUITA J K, *et al.* Hematological changes in vervet monkeys (*Chlorocebus aethiops*) during eight months' adaptation to captivity [J]. *American Journal of Primatology*, 2007, 69(9): 1053-1063.
- [11] SHAH N A, BHATT L K, PATEL R J, *et al.* Hematological and biochemical reference intervals of wild-caught and inhouse adult Indian rhesus macaques (*Macaca mulatta*) [J]. *Laboratory Animal Research*, 2022, 38(1): 33.
- [12] SINGLETON C L, SAUTHER M L, CUOZZO F P, *et al.* Age-related changes in hematology and blood biochemistry values in endangered, wild ring-tailed lemurs (*Lemur catta*) at the Bezà Mahafaly Special Reserve, Madagascar [J]. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 2018, 49(1): 30-47.
- [13] 周小军,袁菊芳,定明,等. 非洲绿猴血液学和血清生化指标的测定及分析[J]. *中国比较医学杂志*, 2017, 27(11): 6-9.
ZHOU X J, YUAN J F, DING M, *et al.* Measurement and analysis of hematologic and serum biochemical parameters in African green monkeys [J]. *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2017, 27(11): 6-9.
- [14] 滕永康,丛日旭,刘云波. 30只普通绵耳猴血液学和血清生化指标的测定及分析[J]. *中国比较医学杂志*, 2018, 28(5): 70-74.
TENG Y K, CONG R X, LIU Y B. Detection and analysis of hematological and serum biochemical indices of thirty common marmosets [J]. *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2018, 28(5): 70-74.
- [15] 邓林华,陈艳,魏荣平,等. 圈养大熊猫生理和血液指标的季节变化[J]. *兽类学报*, 2020, 40(4): 398-406.
DENG L H, CHEN Y, WEI R P, *et al.* Seasonal changes of physiological and blood indices of captive giant panda [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2020, 40(4): 398-406.
- [16] 林婷,帅平,刘玉萍,等. 季节变化对血液指标的影响[J]. *重庆医科大学学报*, 2019, 44(6): 820-824.
LIN T, SHUAI P, LIU Y P, *et al.* Influence of seasonal variation on blood parameters [J]. *Journal of Chongqing Medical University*, 2019, 44(6): 820-824.
- [17] SMITH D G. A comparison of the demographic structure and growth of free-ranging and captive groups of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) [J]. *Primates*, 1982, 23(1): 24-30.
- [18] SIMMONS H A. Age-associated pathology in rhesus macaques (*Macaca mulatta*) [J]. *Veterinary Pathology*, 2016, 53(2): 399-416.
- [19] HALL R L, EVERDS N E. Factors affecting the interpretation of canine and nonhuman primate clinical pathology [J]. *Toxicologic Pathology*, 2003, 31(Suppl. 1): 6-10.
- [20] 黎湘娟,唐艳霞,韦莹,等. 食蟹猴B病毒感染及其血液指标变化情况分析[J]. *广西农学报*, 2023, 38(4): 43-47.
LI X J, TANG Y X, WEI Y, *et al.* Related study between blood parameters and B virus (*Cercopithecine herpesvirus 1*) in cynomolgus monkeys [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2023, 38(4): 43-47.