

人工投喂与野生猕猴粪便甲状腺激素和皮质醇激素的差异比较

刘 箐

右江民族医学院生命科学研究院, 广西 百色

收稿日期: 2025年5月28日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月10日

摘 要

为了从生理角度评估同域分布灵长类的生理状态, 本文采用非损伤性方法分别对广西龙虎山人工投喂猕猴(*Macaca mulatta*)和崇左野生猕猴粪便中的甲状腺激素和皮质醇进行研究。研究结果表明, 人工投食群猕猴甲状腺激素含量在12.75~23.66 ng/g之间, 平均含量为 17.81 ± 2.53 ng/g。野生猕猴群甲状腺激素含量在12.25~17.93 ng/g之间, 平均含量为 15.50 ± 1.64 ng/g。人工投食群猕猴皮质醇含量在7.11~12.60 μ g/g之间, 平均含量为 9.99 ± 1.48 μ g/g。野生猕猴皮质醇含量在5.02~10.03 μ g/g之间, 平均含量为 7.53 ± 1.64 μ g/g。分析发现, 人工投食群猕猴的粪便甲状腺激素($\chi^2 = 14.489, df = 1, P < 0.001$)和皮质醇激素($\chi^2 = 34.591, df = 1, P < 0.001$)显著高于野生猕猴的粪便中甲状腺和皮质醇激素的含量, 这可能与人工投喂猕猴受到更多的人为干扰有关。本研究评估了人工投喂与野生猕猴的能量代谢和应激水平差异, 可为珍稀野生动物的科学保护提供参考依据。

关键词

猕猴, 皮质醇, 甲状腺激素

Variations in Fecal Triiodothyronine and Cortisol Levels of Rhesus Macaques Living in Limestone Forests in Southwest Guangxi, China

Zheng Liu

Institute of Life Sciences, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

Received: May 28th, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 10th, 2025

Abstract

In order to evaluate the physiological status of primates in different habitats from a physiological perspective, non-invasive methods were used to study the cortisol and Triiodothyronine in rhesus macaque (*Macaca mulatta*) in Chongzuo and in Longhu Mountain. The results showed that the thyroid hormone content of provisioned macaques ranged from 12.75 to 23.66 ng/g, with an average of 17.81 ± 2.53 ng/g. The thyroid hormone content in wild macaque ranges from 12.25 to 17.93 ng/g, with an average of 15.50 ± 1.64 ng/g. The cortisol content in the provisioned macaques ranged from 7.11 to 12.60 $\mu\text{g/g}$, with an average of 9.99 ± 1.48 $\mu\text{g/g}$. The cortisol content in wild macaques ranged from 5.02 to 10.03 $\mu\text{g/g}$, with an average of 7.53 ± 1.64 $\mu\text{g/g}$. This study also showed that the levels of thyroid hormones ($\chi^2 = 14.489$, $df = 1$, $P < 0.001$) and cortisol hormones ($\chi^2 = 34.591$, $df = 1$, $P < 0.001$) in the feces of provisioned macaques were significantly higher than those in the feces of wild macaques. Moreover, the physiological state of provisioned macaques is affected by human interference. This study evaluates the energy metabolism and stress levels of provisioned and wild macaques, providing important evidence for the protection of rare wild animals.

Keywords

Rhesus Macaque (*Macaca mulatta*), Cortisol, Triiodothyronine

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

野生动物旅游是当前受到众多游客喜爱的旅游方式[1]。然而,越来越多的游客频繁与野生动物接触,使野生动物的行为和生理均发生显著变化[2][3]。例如,近距离的投食导致野生动物应激反应增强并对游客产生攻击行为[4]。长期的人为干扰使野生动物处于慢性压力状态,并不利于野生动物的健康和生存[5]。例如,长期人为干扰对红领狐猴(*Varecia rubra*)行为模式的影响表现为猴群的社会行为频率显著降低,同时刻板行为(如踱步、自我抓挠)出现率明显升高[6]。因此,对野生动物生理指标的有效监测,是实现科学保护的关键环节[7]。

动物的应激反应涉及神经、激素和免疫系统的相互作用,受到刺激后通过肾上腺分泌糖皮质激素,其中皮质醇是灵长类研究常用的重要指标[8]。栖息地丧失、生境破碎化、旅游开发等人为干扰因素是野生动物发生生理应激的主要源头,受干扰种群与自然种群相比,其糖皮质激素呈现显著升高趋势[9]。研究表明,当髯毛吼猴(*Alouatta palliata*)暴露在日益增加的噪音污染中或靠近牧区活动时,猴群会表现出更强的警觉行为,同时体内的糖皮质激素水平也随之上升[10]。动物的生存和繁衍离不开能量供应[11]。食物可获得性是影响野生动物生理应激的关键因子[12]。例如,野生红腹狐猴(*Eulemur rubriventer*)在果实供应不足的季节体内皮质醇激素增加,表明食物资源与其应激压力呈正相关[13]。另外,动物的能量代谢水平也是评估其生理状态的重要指标,甲状腺激素是常用的检测指标[14]。甲状腺激素受到能量摄入的影响,随着能量摄入其甲状腺激素升高,反之降低[15]。例如,研究发现黑猩猩(*Pan troglodytes*)尿液中的甲状腺激素随摄入量增多而升高[16]。

为了解人工投喂猕猴和野生猕猴的生理状态,本研究比较广西龙虎山自然保护区的人工投喂猕猴和广西崇左白头叶猴国家级自然保护区的野生猕猴能量代谢水平和压力水平的差异。广西龙虎山自然保护

区内的野生猕猴长期与游客接触,猴群主要采食保护区内的野生植物,另外还会接受管理员和游客投喂的玉米、花生和水果等食物。保护区内游客与猴群的频繁互动成为潜在的应激源。而崇左的猕猴栖息在自然环境下,几乎不与人接触,主要采食保护区内原生的野生植物。两地猴群的食物获取途径和人类接触频率之间的差异,为探究其应激反应和能量代谢水平差异提供了新视角。本研究从生理的角度探讨珍稀濒危野生动物的保护策略,同时也为人工投食猴群的管理提供更多方面的参考。

2. 研究方法

2.1. 研究地点和研究对象

广西龙虎山自然保护区(22°42'N, 107°30'E)位于广西南宁市隆安县乔建镇和屏山乡的交界,地貌类型为峰林谷底型岩溶地貌,山峰海拔约为 300~500 m [17]。广西崇左白头叶猴国家级自然保护区(22°15'~22°17'N, 107°29'~107°32'E)位于崇左市江州区和扶绥县境内。地貌类型为石灰岩溶地貌,多峰林谷地和峰丛洼地,山峰海拔约为 200~300 m [18]。广西崇左白头叶猴国家级自然保护区与广西龙虎山自然保护区都处在石山地区,具有相似的植被和气候。崇左栖息地破碎化严重,但保护区内猴群与人类接触较少。崇左保护区研究对象为 20 只野生猕猴。广西龙虎山自然保护区选取观景台的猕猴群作为研究对象,约有 400 只。

2.2. 粪便样品处理和测定

崇左猕猴粪便收集在夜宿地下方进行。待猴群清晨排便后,研究人员立即用无菌竹签采集新鲜粪便样品放入 15 ml 离心管中,标记后储存在-80℃冰箱中待测。龙虎山猕猴粪便收集在猴群日常活动区域内进行。研究人员距离猴群两米内观察猕猴状态,排便后立即采集新鲜的粪便,标记后储存在-80℃冰箱中待测。龙虎山粪便样品收集在 2018 年 10 月、11 月和 12 月进行,共收集粪便样品 51 个。崇左猕猴粪便样品收集在 2018 年 9 月、11 月和 12 月进行,共收集粪便样品 23 个。两个猴群共计收集 74 个粪便样品。

取 9 g pH=7.3 的磷酸缓冲盐溶液和粉碎后的粪便样品 1 g 放入离心管中,室温下放入离心机以 2500 r 离心 20 min,静置后回收上清液至新的离心管待测。采用 ELISA 试剂盒测定待测上清液中的皮质醇和甲状腺激素浓度。步骤如下:在酶标板分别设置空白孔、标准孔、样品孔。向标准孔中加入标准品溶液 50 μ l,样品孔稀释 5 倍的样品 50 μ l。酶标板在 37℃培养箱温育 30 min,甩干后用洗涤液重复洗涤 5 次。在标准孔和样品孔内分别加入 50 μ l 酶标试剂,重复洗涤 5 次。分别加入 50 μ l 显色剂,溶液变蓝色后加入 50 μ l 终止液。使用分光光度计(波长为 450 nm)测定溶液的吸光度(OD 值),以标准品和 OD 值绘制标准曲线,最后根据稀释倍数计算出样品实际浓度。本实验所测定的糖皮质激素指标为皮质醇,单位为 μ g/g。测定甲状腺激素指标为三碘甲腺原氨酸(T3),单位为 ng/g。

2.3. 数据处理

建立广义线性混合模型(GLMM)比较龙虎山和崇左猕猴甲状腺激素和皮质醇的差异[19]。以猕猴的甲状腺激素和皮质醇的含量分别作为响应因子(Response variable),以粪便样品数量作为随机效应变量(Random factor),以龙虎山(A)和崇左(B)两地作为固定效应变量(Fixed factor),使用方差分析(Likelihood ratio test, ANOVA 分析)分别检验猕猴甲状腺激素和皮质醇在两个研究地点的差异。当 $P < 0.05$ 时,不同地点对模型的效应明显,表明不同地点差异显著[20]。数据处理和分析在 R 4.0.5 上完成。

3. 结果

3.1. 甲状腺激素

总体来看,人工投食猕猴甲状腺激素含量在 12.75~23.66 ng/g 之间,平均含量为 17.81 ± 2.53 ng/g。

野生猕猴群甲状腺激素含量在 12.25~17.93 ng/g 之间，平均含量为 15.50 ± 1.64 ng/g。人工投食猕猴粪便甲状腺激素含量与野生猕猴的粪便甲状腺激素含量存在显著差异($\chi^2 = 14.489$, $df = 1$, $P < 0.001$)，表现为人工投食猕猴粪便甲状腺激素含量显著高于野生猕猴的粪便甲状腺激素含量(图 1)。

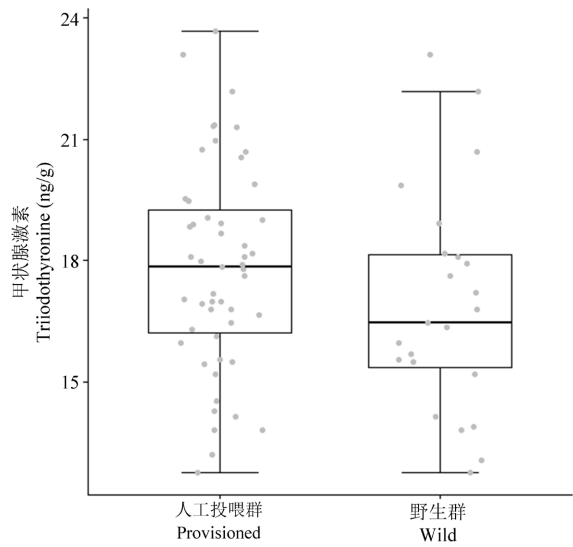


Figure 1. Variation in fecal triiodothyronine between the provisioned and wild of rhesus macaques

图 1. 猕猴粪便甲状腺激素差异比较

3.2. 皮质醇

总体来看，人工投食猕猴皮质醇含量在 7.11~12.60 $\mu\text{g/g}$ 之间，平均含量为 9.99 ± 1.48 $\mu\text{g/g}$ 。野生猕猴皮质醇含量在 5.02~10.03 $\mu\text{g/g}$ 之间，平均含量为 7.53 ± 1.64 $\mu\text{g/g}$ 。人工投食猕猴粪便中皮质醇含量高于野生猕猴的粪便皮质醇含量($\chi^2 = 34.591$, $df = 1$, $P < 0.001$) (图 2)。

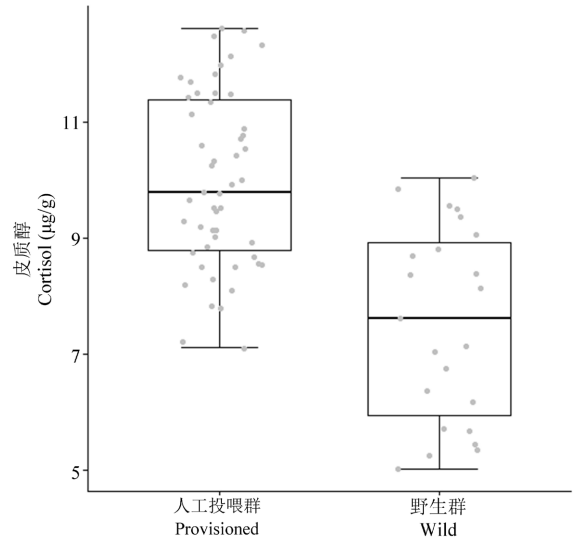


Figure 2. Variation in fecal cortisol between the provisioned and wild rhesus macaques

图 2. 猕猴粪便皮质醇差异比较

4. 讨论

在野生灵长类动物中, 体内甲状腺激素水平和皮质醇水平与食物资源有紧密关系[13] [15]。研究表明, 野生动物摄入的食物量越多, 其体内甲状腺激素的分泌水平往往也越高[21]。在食物缺乏时期, 当能量摄入不足时动物会减少释放甲状腺激素降低自身代谢保存能量; 当能量摄入充足时, 动物增加甲状腺激素的释放提高代谢率[14]。例如, 鬃毛吼猴摄入营养成分较高的果实时, 猴群的甲状腺激素升高, 并且与果实的摄入量呈正相关关系, 而与嫩叶的摄入量呈负相关关系[15]。这种差异很可能和不同食物的营养成分差异有关。食性分析显示, 相较于龙虎山人工投喂的猕猴种群, 崇左猕猴的主要食物以天然植被为主。而龙虎山的猕猴活动在生态旅游景区内, 平常除了天然的果实和树叶外, 还有景区管理员和游客额外投喂的花生、玉米、香蕉等食物。与天然的树叶相比, 人为投喂的花生、玉米和零食等食物营养含量更高[22]。比较发现, 龙虎山人工投食猕猴和崇左野生猕猴粪便中甲状腺激素存在明显差异, 表现为人工投食群猕猴粪便甲状腺激素含量显著高于野生猕猴群粪便中的激素含量。这些结果表明龙虎山猕猴摄入的能量要比野生猕猴群摄入的能量更为充足。

一般来说, 野生动物食物摄入量与皮质醇分泌呈显著负相关关系, 猴群在食物短缺的季节性可能会面临营养压力, 处在较高的应激状态其体内的皮质醇分泌显著升高[23]。例如, 雌性黑猩猩在果实等高质量食物摄入较少的月份体内皮质醇水平升高, 表现出明显的应激压力[24]。比较龙虎山猕猴和崇左猕猴粪便皮质醇发现, 龙虎山猕猴粪便皮质醇更高。这结果与其他研究不同, 因此两地猕猴的皮质醇产生差异的原因可以排除食物营养压力。对两地猕猴的食源分析表明, 石山生境中食物资源的时空分布呈现显著的季节性差异, 雨季食物可利用性高于旱季[25]。石山猕猴调整相应的觅食策略, 季节性的果实短缺迫使猕猴更依赖采食植物叶片, 采食比例远高于亚洲猕猴的平均值[26]。例如通过采食更多种类的食物或者增加采食低质量的食物来平衡旱季可能面临的食物营养压力[26]。在石山地区, 野生植物的叶片分散且容易获得, 食物的季节性变化给石山猕猴带来的食物营养压力相对有限。研究结果显示, 尽管栖息在石山地区的野生猴群获取的食物资源相对有限, 但其应激水平并未出现显著升高。从另一方面来说, 两地猕猴粪便皮质醇含量的显著差异, 可能与其栖息地食物资源的可获得性和种内食物竞争有关。石山猕猴在食物丰盛的雨季其体内的皮质醇高于旱季, 雨季表现出更高的应激压力[27]。猕猴偏好果实, 石山地区果实产量受降雨量的影响低于其他地区, 主要出现在雨季[28]。果实所含的营养成分显著优于植物叶片[22]。对高质量食物的竞争使猕猴在雨季保持较高应激水平。类似地, 龙虎山猕猴常常集中在一个平台上, 管理员定点定量投喂玉米、花生、水果等食物后, 猴群会抢夺限量的食物, 为抢夺食物产生打斗行为较为常见。这可能是导致龙虎山猕猴长期处于高应激状态的重要原因。另外, 龙虎山是旅游景区, 猕猴的应激水平还可能受到游客投食和猴群的互动的的影响。游客的不可预测的行为都会让猴群产生额外的应激压力导致皮质醇的释放。类似地, 对黑吼猴的研究发现, 频繁接触游客的猴群表现出更高的应激压力, 其原因主要是源于游客制造高分贝噪音、拍打树木以及直接挑逗猴群等行为[23]。因此, 龙虎山猕猴粪便皮质醇激素高于野生猕猴群粪便中的皮质醇激素含量可能受到人为干扰因素的影响。

综上所述, 同域分布的猕猴的生理激素可能受到食物资源和人为干扰的影响。人工投食的猕猴粪便甲状腺激素和皮质醇激素含量都高于崇左野生猕猴粪便中甲状腺和皮质醇激素含量, 结果表明龙虎山猕猴的能量摄入更充足。龙虎山猕猴人工投食给猴群带来额外的能量补给, 然而人为干扰使人工投食猕猴表现出比野生猕猴群更大的应激压力。另外, 野生动物身上携带着多种人畜共患病, 建议加强对游客宣讲, 避免近距离与猴群接触, 保障游客和野生动物的安全。

参考文献

- [1] 钟林生, 马向远, 曾瑜哲. 中国生态旅游研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 679-690.

- [2] 范鹏来, 向左甫. 旅游干扰对非人灵长类动物的影响[J]. 动物学研究, 2013, 34(1): 55-58.
- [3] 匡中帆, 吴忠荣, 韩联宪. 黔灵山公园野放猕猴伤人事件分析[J]. 野生动物, 2012, 33(5): 267-270.
- [4] 刘箏, 李友邦, 黄中豪. 桂林七星公园猕猴对游客的行为反应[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2020, 38(6): 114-121.
- [5] Breuner, C.W., Delehanty, B. and Boonstra, R. (2012) Evaluating Stress in Natural Populations of Vertebrates: Total CORT Is Not Good Enough. *Functional Ecology*, **27**, 24-36. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12016>
- [6] Vaglio, S., Kaburu, S.S.K., Pearce, R., *et al.* (2021) Effects of Scent Enrichment on Behavioral and Physiological Indicators of Stress in Zoo Primates. *American Journal of Primatology*, **83**, e23247.
- [7] Dantzer, B., Fletcher, Q.E., Boonstra, R. and Sheriff, M.J. (2014) Measures of Physiological Stress: A Transparent or Opaque Window into the Status, Management and Conservation of Species? *Conservation Physiology*, **2**, cou023. <https://doi.org/10.1093/conphys/cou023>
- [8] Palme, R. (2019) Non-Invasive Measurement of Glucocorticoids: Advances and Problems. *Physiology & Behavior*, **199**, 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.11.021>
- [9] Kaisin, O., Fuzessy, L., Poncin, P., Brotcorne, F. and Culot, L. (2021) A Meta-Analysis of Anthropogenic Impacts on Physiological Stress in Wild Primates. *Conservation Biology*, **35**, 101-114. <https://doi.org/10.1111/cobi.13656>
- [10] Cañadas Santiago, S., Dias, P.A.D., Garau, S., Coyohua Fuentes, A., Chavira Ramírez, D.R., Canales Espinosa, D., *et al.* (2019) Behavioral and Physiological Stress Responses to Local Spatial Disturbance and Human Activities by Howler Monkeys at Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Conservation*, **23**, 297-306. <https://doi.org/10.1111/acv.12541>
- [11] Sadoughi, B., Girard-Buttoz, C., Engelhardt, A., Heistermann, M. and Ostner, J. (2021) Non-Invasive Assessment of Metabolic Responses to Food Restriction Using Urinary Triiodothyronine and Cortisol Measurement in Macaques. *General and Comparative Endocrinology*, **306**, Article 113736. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2021.113736>
- [12] Gesquiere, L.R., Onyango, P.O., Alberts, S.C. and Altmann, J. (2010) Endocrinology of Year-Round Reproduction in a Highly Seasonal Habitat: Environmental Variability in Testosterone and Glucocorticoids in Baboon Males. *American Journal of Physical Anthropology*, **144**, 169-176. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21374>
- [13] Tecot, S.R. (2012) Variable Energetic Strategies in Disturbed and Undisturbed Rain Forests: *Eulemur rubriventer* Fecal Cortisol Levels in South-Eastern Madagascar. In: Masters, J., Gamba, M. and Génin, F., Eds., *Leaping Ahead*, Springer, 185-195. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4511-1_21
- [14] Behringer, V., Deimel, C., Hohmann, G., Negrey, J., Schaebs, F.S. and Deschner, T. (2018) Applications for Non-Invasive Thyroid Hormone Measurements in Mammalian Ecology, Growth, and Maintenance. *Hormones and Behavior*, **105**, 66-85. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2018.07.011>
- [15] Dias, P.A.D., Coyohua-Fuentes, A., Canales-Espinosa, D., Chavira-Ramírez, R. and Rangel-Negrín, A. (2017) Hormonal Correlates of Energetic Condition in Mantled Howler Monkeys. *Hormones and Behavior*, **94**, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2017.06.003>
- [16] Deschner, T., Hohmann, G., Ortmann, S., Schaebs, F.S. and Behringer, V. (2020) Urinary Total T3 Levels as a Method to Monitor Metabolic Changes in Relation to Variation in Caloric Intake in Captive Bonobos (*Pan paniscus*). *General and Comparative Endocrinology*, **285**, Article 113290. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.113290>
- [17] 王骏, 冯敏, 韦汉东, 等. 龙虎山自然保护区哺乳动物资源及其保护[J]. 中山大学学报论丛, 1997(1): 83-88.
- [18] 申兰田, 李汉华. 广西的白头叶猴[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 1982(00): 27-32+46.
- [19] Li, Y., Ma, G., Zhou, Q., Li, Y. and Huang, Z. (2020) Nutrient Contents Predict the Bamboo-Leaf-Based Diet of Assamese Macaques Living in Limestone Forests of Southwest Guangxi, China. *Ecology and Evolution*, **10**, 5570-5581. <https://doi.org/10.1002/ece3.6297>
- [20] Zhang, K., Zhou, Q., Xu, H. and Huang, Z. (2019) Effect of Group Size on Time Budgets and Ranging Behavior of White-Headed Langurs in Limestone Forest, Southwest China. *Folia Primatologica*, **91**, 188-201. <https://doi.org/10.1159/000502812>
- [21] Touitou, S., Heistermann, M., Schülke, O. and Ostner, J. (2021) Triiodothyronine and Cortisol Levels in the Face of Energetic Challenges from Reproduction, Thermoregulation and Food Intake in Female Macaques. *Hormones and Behavior*, **131**, Article 104968. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2021.104968>
- [22] McLennan, M.R. and Ganzhorn, J.U. (2017) Nutritional Characteristics of Wild and Cultivated Foods for Chimpanzees (*Pan troglodytes*) in Agricultural Landscapes. *International Journal of Primatology*, **38**, 122-150. <https://doi.org/10.1007/s10764-016-9940-y>
- [23] Behie, A.M., Pavelka, M.S.M. and Chapman, C.A. (2010) Sources of Variation in Fecal Cortisol Levels in Howler Monkeys in Belize. *American Journal of Primatology*, **72**, 600-606. <https://doi.org/10.1002/ajp.20813>
- [24] Emery Thompson, M., Muller, M.N., Kahlenberg, S.M. and Wrangham, R.W. (2010) Dynamics of Social and Energetic

-
- Stress in Wild Female Chimpanzees. *Hormones and Behavior*, **58**, 440-449. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2010.05.009>
- [25] Huang, Z., Huang, C., Tang, C., Huang, L., Tang, H., Ma, G., *et al.* (2014) Dietary Adaptations of Assamese Macaques (*Macaca assamensis*) in Limestone Forests in Southwest China. *American Journal of Primatology*, **77**, 171-185. <https://doi.org/10.1002/ajp.22320>
- [26] Tang, C., Huang, L., Huang, Z., Krzton, A., Lu, C. and Zhou, Q. (2016) Forest Seasonality Shapes Diet of Limestone-Living Rhesus Macaques at Nonggang, China. *Primates*, **57**, 83-92. <https://doi.org/10.1007/s10329-015-0498-7>
- [27] 吴世军. 广西崇左野生猕猴粪便皮质醇水平季节差异比较[J]. 自然科学, 2023, 11(5): 890-895.
- [28] 路纪琪, 田军东, 张鹏. 中国猕猴生态学研究进展[J]. 兽类学报, 2018, 38(1): 74-84.