

广西崇左野生猕猴粪便甲状腺激素水平的季节差异

廖良龙

崇左市林业发展中心, 广西 崇左

收稿日期: 2025年4月9日; 录用日期: 2025年5月10日; 发布日期: 2025年5月30日

摘要

动物体内甲状腺激素水平在生理评估具有重要作用, 常用来表征动物能量代谢水平。本研究采用酶联免疫法对广西崇左野生猕猴(*Macaca mulatta*)粪便甲状腺激素的含量进行测定, 并分析不同季节的含量差异。结果表明: 崇左猕猴粪便甲状腺激素T3在12.54~25.97 ng/g之间, 平均值为 17.24 ± 3.40 ng/g。T4含量在26.21~54.53 ng/g之间, 平均值为 37.51 ± 8.22 ng/g。夏季猕猴粪便甲状腺T3平均含量为 19.68 ± 3.31 ng/g, 冬季为 15.14 ± 1.63 ng/g。夏季猕猴粪便甲状腺T4平均含量为 43.23 ± 7.87 ng/g, 冬季 32.55 ± 4.51 ng/g。分析发现, 崇左野生猕猴甲状腺激素T3 ($t = -4.705, df = 26, P < 0.001$)和T4 ($t = -4.482, df = 26, P < 0.001$)含量在夏季均高于冬季。这可能与猴群夏季时期采食更多的果实等高质量食物有关。本研究评估了石山地区猕猴的能量代谢水平, 为保护石山灵长动物提供了重要的生理数据。

关键词

猕猴, 甲状腺激素, 季节比较

Seasonal Variation in Fecal Thyroid Hormone Levels of Rhesus Macaques Living in Chongzuo, Guangxi

Lianglong Liao

Chongzuo Forest Development Center, Chongzuo Guangxi

Received: Apr. 9th, 2025; accepted: May 10th, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

The level of thyroid hormone plays an important role in physiological evaluation of animals and has

been commonly used to characterize the energy metabolism level of animals. This study used enzyme-linked immunosorbent assay to determine the content of thyroid hormones in the feces of wild macaques (*Macaca mulatta*) in Chongzuo, and analyzed the differences in content in different seasons. The results showed that the fecal thyroid hormone T3 in Chongzuo macaques ranged from 12.54 to 25.97 ng/g, with an average value of 17.24 ± 3.40 ng/g. The T4 content ranges from 26.21 to 54.53 ng/g, with an average of 37.51 ± 8.22 ng/g. The average thyroid T3 content in macaque feces during summer is 19.68 ± 3.31 ng/g, and during winter it is 15.14 ± 1.63 ng/g. The average thyroid T4 content in macaque feces during summer is 43.23 ± 7.87 ng/g, and during winter it is 32.55 ± 4.51 ng/g. Analysis found that the levels of thyroid hormones T3 ($t = -4.705$, $df = 26$, $P < 0.001$) and T4 ($t = -4.482$, $df = 26$, $P < 0.001$) in wild macaques in Chongzuo were higher in summer than in winter. This study evaluated the energy metabolism level of macaques in limestone, providing important physiological data for the protection of primates in limestone forest.

Keywords

Rhesus Macaque (*Macaca mulatta*), Thyroid Hormone, Seasonal Variation

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

甲状腺激素(Thyroid hormones)主要包括四碘甲状腺原氨酸(Hydroxine, T4)和三碘甲状腺原氨酸(Triiodothyronine, T3), 在促进生长发育和能量代谢具有重要作用[1]。甲状腺激素常用作表征动物的能量代谢水平的指标因子[2]。动物通过甲状腺激素的释放量来调节体内的基础代谢率, 进而维持代谢平衡[3]。为了适应生存, 恒温动物体内的甲状腺对环境温度变化反应迅速, 通过释放或减少甲状腺激素含量将体温维持在一定的范围内, 维持能量代谢平衡[4] [5]。另外, 动物体内的甲状腺激素受到气候变化影响。例如, 雌性狒狒在食物缺乏的旱季, 减少释放甲状腺激素 T3 来降低体内的基础代谢率以应对食物短缺[6]。大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的研究也有相似的结果[7]。

通过非损伤性采样评估野生保护动物的是一种良好的手段[1]。早期的生理学研究主要通过采血液来测量动物生理参数[8] [9]。但是, 采血过程中需要捕捉或麻醉动物, 额外的刺激影响测量结果[10]。目前, 通过毛发、粪便等非损伤性取样手段在保护野生动物中得到认可并得到广泛运用[2] [11]。动物体内的甲状腺激素经肝脏和肾脏代谢后随尿液和粪便排出体外[12]。在野外对野生动物的尿液的获取和保存具有挑战性, 粪便收集更多被应用于非损伤性评估[13]。因此, 使用粪便中甲状腺激素作为指标检测动物的能量代谢水平具有可行性。

目前, 对石山猕猴生理状况了解较少。本研究通过非损伤性采样比较不同季节猕猴粪便甲状腺激素了解石山生境下猕猴的能量代谢水平, 比较不同时期猕猴的甲状腺水平差异, 从生理角度探讨该物种对石山生境的适应策略, 以期对石山灵长类种群保护提供新的视角。

2. 研究方法

2.1. 研究地点和研究对象

本研究地点位于广西崇左市江州区板利乡(107°31'57"E, 22°13'42"N)。该区域毗邻广西白头叶猴国家级自然保护区, 覆盖典型的喀斯特石山季雨林; 该地区的喀斯特地貌发育完整, 峰林谷地和峰丛洼地镶嵌

嵌分布[14]。受北热带季风气候的影响,研究区域的年降雨量约 1200 mm,年平均气温约 22.4℃ [15]。由于雨热条件分布的季节性变化,本区域一年经历明显的旱季和雨季。

本次研究对象是保护区内一群野生猕猴。在采集粪便前,提前确认猴群夜宿点,次日在猴群离开夜宿点前到达夜宿地下方,待猴群排便后立即采集新鲜粪便样品做好标记后放入干冰盒中,待当日样品采集完毕后立即转移回实验室中的超低温冰箱保存待测。尽管样品采集和保存过程中可能会存在粪便中激素降解,然而该方法能最大限度保存粪便中的激素,并在野生动物粪便激素研究中取得了很好的效果[1] [2]。

2.2. 样品处理和测定

研究于 2023 年 6 月和 12 月进行。共收集到野生猕猴粪便样品 28 份,其中夏季(6 月)13 份,冬季(12 月)15 份。

采用酶联免疫法测定猕猴粪便中三碘甲腺原氨酸(T3)、四碘甲腺原氨酸(T4)的含量。从超低温冰箱中取出样品采集管,用 0.001 g 精度的电子天平称量 1.000 g 干燥粪便样品,加入 9 g 的磷酸缓冲盐溶液(pH = 7.3),混匀。25℃室温下离心 20 min,离心机转速为 2500 r/min;静置,回收离心管中的上清液用于后续实验。取酶标板,依次设置空白孔、标准孔和待测样品孔,加入标准品溶液 50 μ l。按 4:1 的比例把样品稀释液和离心后收集的上清液样品加到待测样品孔中。37℃温育 30 min,甩干,加满洗涤液,静置 30 s,完成一次洗涤。用同样的方法洗涤 5 次后拍干。在标准孔和样品孔内分别加入 50 μ l 酶标试剂,继续重复洗涤步骤 5 次。分别加入 50 μ l 显色剂 A、B,在 37℃条件下显色 15 min,溶液变蓝后加入 50 μ l 终止液,样品混合溶液呈现出黄色。采用分光光度计测定溶液的吸光度(OD 值),波长为 450 nm。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。本实验所测定的三碘甲腺原氨酸(T3)和四碘甲腺原氨酸(T4)的单位为 ng/g。

2.3. 数据处理

三碘甲腺原氨酸(T3)和四碘甲腺原氨酸(T4)含量用平均值 $\pm$ 标准差表示。Kolmogorov-Smirnov Test 检验结果表明,不同季节的猕猴粪便中的 T3 和 T4 含量均服从正态分布($P > 0.05$)。因此,本文采用 t 检验来比较不同季节 T3 和 T4 含量的季节性差异。本文所有检验的显著水平设为 0.05,双尾检验。所有数据处理在 R4.3.3 上完成。

3. 结果

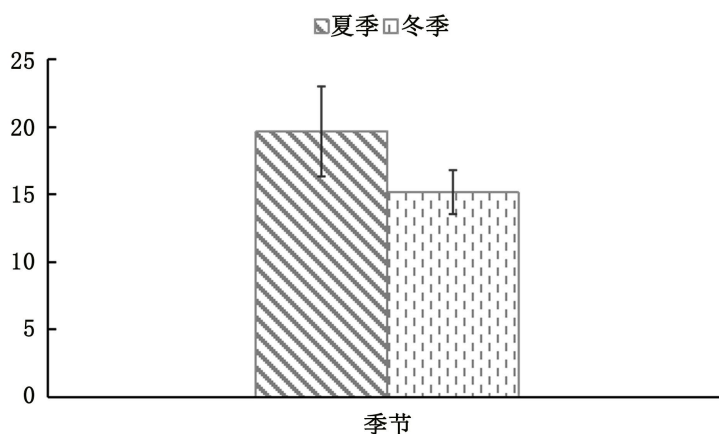


Figure 1. Seasonal difference in fecal T3 of wild rhesus macaques
图 1. 甲状腺激素 T3 含量季节变化

研究结果表明, 崇左猕猴粪便甲状腺激素 T3 含量在 12.54~25.97 ng/g 之间波动, 平均值为 17.24 ± 3.40 ng/g。猕猴夏季甲状腺激素 T3 含量在 13.65~25.97 ng/g 之间变化, 冬季甲状腺激素 T3 含量在 5.02~9.55 ng/g 之间波动。崇左野生猕猴粪便甲状腺激素 T3 含量有明显的季节性变化($t = -4.705$, $df = 26$, $P < 0.001$), 具体表现为猴群夏季粪便甲状腺激素 T3 含量(9.04 ± 0.99 ng/g)显著高于冬季时期的粪便甲状腺激素 T3 含量(6.84 ± 1.55 ng/g) (图 1)。

崇左猕猴粪便甲状腺激素 T4 含量在 26.21~54.53 ng/g 之间, 平均值为 37.51 ± 8.22 ng/g。猕猴夏季甲状腺激素 T4 含量在 28.83~54.53 ng/g 之间波动, 冬季甲状腺激素 T4 含量在 26.21~39.25 ng/g 之间变化。崇左野生猕猴粪便甲状腺激素 T4 含量存在显著的季节性差异($t = -4.482$, $df = 26$, $P < 0.001$), 具体表现为夏季时期猕猴粪便甲状腺激素 T4 含量(43.23 ± 7.87 ng/g)显著高于冬季时期的猴群粪便甲状腺激素 T4 含量(32.55 ± 4.51 ng/g) (图 2)。

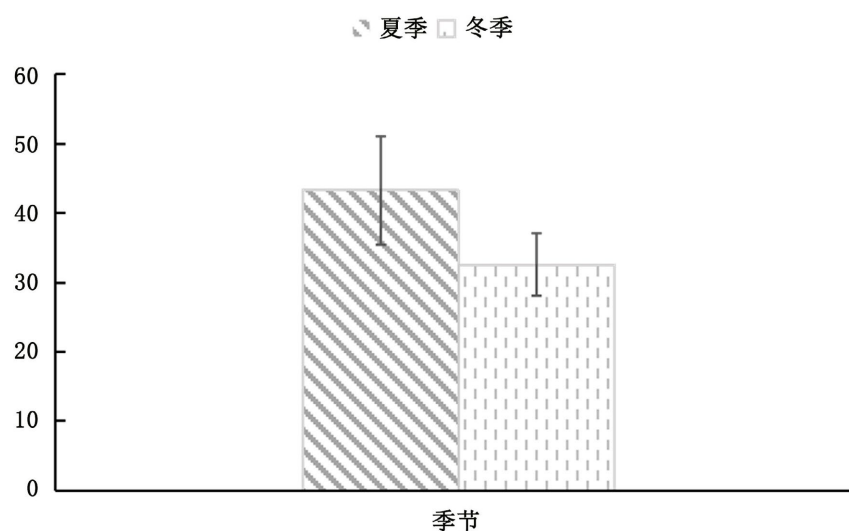


Figure 2. Seasonal difference in fecal T4 of wild rhesus macaques
图 2. 野生猕猴甲状腺激素 T4 含量季节差异比较

4. 讨论

动物的甲状腺激素水平和有机体的能量代谢水平有密切关系[1][3]。一般来说, 甲状腺激素水平与动物的能量代谢水平正相关, 主要与动物的基础代谢调控有关。在高质量食物丰盛时期, 动物的甲状腺激素水平相应提高; 在高质量食物缺乏时期, 动物通过降低甲状腺激素水平来降低基础代谢率, 从而达到减少能量消耗的目的[7][16]。例如, 在果实丰盛季节, 野生髯毛吼猴(*Alouatta palliata*)的食物组成中有较高比例的果实, 甲状腺激素水平高于果实缺乏季节; 而在喜食食物缺乏的季节, 猴群果实摄入量减少后体内甲状腺激素含量随之下降, 这证实髯毛吼猴通过调节甲状腺激素的释放量来控制体内的基础代谢率, 从而维持能量平衡[17]。本研究中, 崇左野生猕猴的甲状腺激素 T3 和 T4 含量在季节上均存在差异, 表现出夏季时期猴群的甲状腺激素水平高于冬季时期, 这可能与夏季时期猴群的食物质量较高有关系。受气候影响, 石山地区的食物资源存在差异, 雨季食物资源丰富, 而旱季食物资源可利用性降低[18][19]。前期研究表明, 石山森林中的猕猴主要以树叶、花和果实为食物; 在果实缺乏季节, 猴群对树叶的采食比例提高, 以此来应对石山森林剧烈的物候变化[19][20]。一般来说, 果实富含果糖等物质, 比树叶的营养价值更高[21]。猕猴夏季甲状腺激素含量高于冬季也证实了夏季从食物中获取充足的能量。冬季猕猴甲

甲状腺激素释放比夏季更低的甲状腺激素含量,可能是猴群通过减少基础代谢来维持能量代谢平衡[3]-[5]。由于食物的缺乏,动物可能会被迫降低新陈代谢,表现出猴群的甲状腺激素水平降低[1] [16]。实际上,在应对食物数量下降时,动物可能会被迫降低新陈代谢,表现出不同时空环境中动物的甲状腺激素水平存在显著差异[22]。在对狒狒(*Papio*)种群研究中发现,雌性狒狒在应对食物短缺会减少释放甲状腺激素以调节体内能量代谢平衡[6]。另一方面,野生动物还可以通过行为调节觅食策略应对低质量的食物季节[23]。受气候和地形因素影响,猕猴喜食的果实生产周期短且产量少[24]。崇左地区的猕猴在高质量食物不足的季节,猕猴通过拓宽食谱、增加低质量食物数量、觅食时间补充能量[19][25]。因此,冬季的猕猴比夏季释放更低的甲状腺激素含量以适应石山地区食物的季节性变化。

5. 小结

崇左猕猴调节甲状腺激素释放量和灵活采取觅食策略是适应石山生境的关键因素,而石山猕猴夏季粪便甲状腺激素显著高于冬季,主要是受到石山地区食物季节性变化的影响。

参考文献

- [1] 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>
- [2] Wasser, S.K., Azkarate, J.C., Booth, R.K., Hayward, L., Hunt, K., Ayres, K., *et al.* (2010) Non-Invasive Measurement of Thyroid Hormone in Feces of a Diverse Array of Avian and Mammalian Species. *General and Comparative Endocrinology*, **168**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2010.04.004>
- [3] Cristóbal-Azkarate, J., Maréchal, L., Semple, S., Majolo, B. and MacLarnon, A. (2016) Metabolic Strategies in Wild Male Barbary Macaques: Evidence from Faecal Measurement of Thyroid Hormone. *Biology Letters*, **12**, Article 20160168. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0168>
- [4] Li, Y., Huang, X. and Huang, Z. (2020) Behavioral Adjustments and Support Use of François' Langur in Limestone Habitat in Fusui, China: Implications for Behavioral Thermoregulation. *Ecology and Evolution*, **10**, 4956-4967. <https://doi.org/10.1002/ece3.6249>
- [5] Silva, J.E. (2003) The Thermogenic Effect of Thyroid Hormone and Its Clinical Implications. *Annals of Internal Medicine*, **139**, 205-213. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-139-3-200308050-00010>
- [6] Gesquiere, L.R., Pugh, M., Alberts, S.C. and Markham, A.C. (2018) Estimation of Energetic Condition in Wild Baboons Using Fecal Thyroid Hormone Determination. *General and Comparative Endocrinology*, **260**, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.02.004>
- [7] Nie, Y., Speakman, J.R., Wu, Q., Zhang, C., Hu, Y., Xia, M., *et al.* (2015) Exceptionally Low Daily Energy Expenditure in the Bamboo-Eating Giant Panda. *Science*, **349**, 171-174. <https://doi.org/10.1126/science.aab2413>
- [8] Smail, P.J., Faiman, C., Hobson, W.C., Fuller, G.B. and Winter, J.S.D. (1982) Further Studies on Adrenarche in Nonhuman Primates. *Endocrinology*, **111**, 844-848. <https://doi.org/10.1210/endo-111-3-844>
- [9] 沈果, 田军东, 郭相保, 等. 野生太行山猕猴血液生理生化指标测定与分析[J]. 四川动物, 2011, 30(2): 254-257.
- [10] Washburn, B.E., Millsaugh, J.J., Schulz, J.H., Jones, S.B. and Mong, T. (2003) Using Fecal Glucocorticoids for Stress Assessment in Mourning Doves. *The Condor*, **105**, 696-706. <https://doi.org/10.1093/condor/105.4.696>
- [11] Garber, P.A., McKenney, A., Bartling-John, E., Bicca-Marques, J.C., De la Fuente, M.F., Abreu, F., *et al.* (2020) Life in a Harsh Environment: The Effects of Age, Sex, Reproductive Condition, and Season on Hair Cortisol Concentration in a Wild Non-Human Primate. *PeerJ*, **8**, e9365. <https://doi.org/10.7717/peerj.9365>
- [12] 陈璐, 岳曦. 非损伤性取样研究进展[J]. 四川动物, 2007, 26(1): 224-226.
- [13] Eleftheriou, A., Palme, R. and Boonstra, R. (2020) Assessment of the Stress Response in North American Deermice: Laboratory and Field Validation of Two Enzyme Immunoassays for Fecal Corticosterone Metabolites. *Animals*, **10**, Article 1120. <https://doi.org/10.3390/ani10071120>
- [14] 谭伟福. 广西自然保护区[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [15] 黄万辉, 潘文石. 广西白头叶猴栖息地特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 605-610.
- [16] Silva, J.E. (2006) Thermogenic Mechanisms and Their Hormonal Regulation. *Physiological Reviews*, **86**, 435-464.

- <https://doi.org/10.1152/physrev.00009.2005>
- [17] 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>
- [18] 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>
- [19] Tang, C., Huang, L., Huang, Z., Krzton, A., Lu, C. and Zhou, Q. (2015) 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>
- [20] 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.
- [21] 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>
- [22] Rimbach, R., Pillay, N. and Schradin, C. (2016) Both Thyroid Hormone Levels and Resting Metabolic Rate Decrease in African Striped Mice When Food Availability Decreases. *Journal of Experimental Biology*, **220**, 837-843. <https://doi.org/10.1242/jeb.151449>
- [23] Lambert, J.E. and Rothman, J.M. (2015) Fallback Foods, Optimal Diets, and Nutritional Targets: Primate Responses to Varying Food Availability and Quality. *Annual Review of Anthropology*, **44**, 493-512. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102313-025928>
- [24] 周岐海, 唐华兴, 韦春强, 等. 桂林七星公园猕猴的食物组成及季节性变化[J]. 兽类学报, 2009, 29(4): 419-426.
- [25] 唐创斌, 蒋建波, 黄乘明, 等. 环境和社会因素对喀斯特石山猕猴日活动节律和活动时间分配的影响[J]. 兽类学报, 2017, 37(2): 131-138.