

野生与半圈养普氏原羚的皮质醇季节变化及性别差异

王亚伦^{1,2} 卢明^{2,3} 马晓藩^{2,3} 刘翰卿^{2,3} 谢冰² 刘锴¹ 张保卫^{1*}

1 安徽大学生命科学学院 合肥 230601; 2 中国科学院动物研究所动物多样性保护与有害动物防控重点实验室
北京 100101; 3 中国科学院大学 北京 100049

摘要: 野生动物在不同生存环境下, 受食物资源、气候和人为干扰等因素影响, 面临不同程度的生理压力。皮质醇作为反映压力水平和生理健康的关键激素, 在动物适应环境变化的生理调节中发挥重要作用。普氏原羚 (*Procapra przewalskii*) 是中国特有的珍稀濒危动物, 面临栖息地破碎化和人类活动等环境干扰, 在探究濒危物种应对环境压力的生理响应机制方面具有重要研究价值。本研究以青海湖湖东区域野生和南岸救助中心半圈养普氏原羚种群为研究对象, 通过放射免疫法 (RIA) 测定粪便样品中皮质醇激素浓度, 分析其季节变化模式及其与环境之间的关系。结果表明, 野生种群的皮质醇浓度整体高于半圈养种群, 尤其在秋季 ($U = 183.0, P = 0.008$) 和冬季 ($U = 166.0, P = 0.039$) 表现更为显著; 两个种群的皮质醇浓度均呈现季节性变化, 即在夏季达到峰值, 冬季最低; 在夏季, 雌性个体的皮质醇浓度显著高于雄性 ($U = 25.0, P = 0.013$), 而在冬季雄性则显著高于雌性 ($U = 102.0, P = 0.023$)。本研究阐明了普氏原羚在不同生存环境和季节下压力激素变化特征及性别差异, 为理解这一珍稀濒危物种对栖息环境变化的生理响应与适应性提供了重要基础信息。

关键词: 普氏原羚; 皮质醇激素; 季节性变化; 生存环境; 性别差异

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2026) 01-105-09

Effects of season and sex on cortisol levels in wild and semi-captive Przewalski's Gazelles

WANG Ya-Lun^{1,2} LU Ming^{2,3} MA Xiao-Fan^{2,3} LIU Han-Qing^{2,3} XIE Bing²
LIU Kai¹ ZHANG Bao-Wei^{1*}

1 School of Life Sciences, Anhui University, Hefei 230601; 2 Key Laboratory of Animal Diversity Conservation and Harmful Animal Control, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: [Objectives] Understanding seasonal and habitat-related variations in stress hormone levels is essential for assessing wildlife physiological responses and adaptation to environmental changes. The

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2022YFF1301500);

* 通信作者, E-mail: zhangbw@ahu.edu.cn;

第一作者介绍 王亚伦, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态与适应性; E-mail: 444518155@qq.com。

收稿日期: 2025-04-02, 修回日期: 2025-05-12 DOI: 10.13859/j.cjz.202625067 CSTR: 32109.14.cjz.202625067

Przewalski's Gazelle (*Procapra przewalskii*), a rare and endangered species endemic to China, has long been affected by habitat fragmentation and human activities. It holds significant research value for exploring the physiological response mechanisms of endangered species to environmental stress. This study aims to compare seasonal fluctuations in fecal cortisol levels between wild and semi-captive populations and investigate sex differences in stress responses. **[Methods]** Fecal samples were collected from wild gazelles in the eastern region of Qinghai Lake and semi-captive individuals at the South Bank Rescue Center across three seasons: summer (June–July), autumn (September–October), and winter (January). Cortisol concentrations were quantified by radioimmunoassay (RIA). Prior to analysis, Shapiro-Wilk tests and Levene's test were performed to assess data normality and homogeneity of variance. Multivariate analysis of variance (MANOVA) was performed to examine the effects of habitat, season, and sex on cortisol levels, followed by Mann-Whitney *U* tests for pairwise comparisons. **[Results]** Cortisol levels varied significantly across seasons ($F_{2, 155} = 48.222, P < 0.001$) and between habitats ($F_{1, 155} = 5.244, P = 0.023$), with wild individuals exhibiting higher cortisol levels than semi-captive ones, particularly in autumn and winter. Seasonal fluctuations followed a distinct pattern, with peak cortisol levels observed in summer and the lowest levels in winter. A significant interaction effect between sex and season was detected ($F_{2, 155} = 4.962, P = 0.008$). In summer, females exhibited higher cortisol levels than males ($U = 25.0, P = 0.013$), whereas this trend became opposite in winter ($U = 102.0, P = 0.023$). The results are illustrated in Figs. 2 and 3. **[Conclusion]** This study provides the first quantitative comparison of stress hormone levels between wild and semi-captive Przewalski's Gazelles, revealing distinct seasonal and sex-related variations. Elevated cortisol levels in wild populations during autumn and winter likely reflect heightened environmental stressors, such as food scarcity and harsh climatic conditions. Seasonal peaks in cortisol correspond to key biological events, with higher summer levels in females potentially associated with reproductive demands and heightened vigilance, while increased winter cortisol levels in males may be linked to mating competition. These findings improve our understanding of the physiological adaptation of this endangered species to environmental stresses and offer critical insights for formulating conservation strategies.

Key words: *Procapra przewalskii*; Cortisol; Seasonal variation; Habitat; Sex difference

生存环境对动物的生理健康有着重要影响，不同的环境会引起不同程度的应激反应。野生动物与圈养动物通常面临不同的环境压力。在野外，动物长期暴露于多种压力源，包括食物匮乏、寄生虫侵扰、疾病、人类活动干扰、生境破碎化与丧失、气候变化、偷猎以及外来物种入侵 (Di Marco et al. 2014, Hing et al. 2016, Yom-Tov et al. 2020, Karaer et al. 2023); 相比之下，圈养或半圈养动物虽然食物资源有保障，但人工管理和空间限制可能带来新的应激因素，影响其行为和生理状态 (Karaer et al. 2023)。

皮质醇是调节动物应对外部压力和生理需求的重要激素，也是评估动物生理健康状况与应激水平的关键指标 (Menargues et al. 2013)。通过监测皮质醇浓度的变化，研究者能够评估物种在不同环境条件 (如季节、压力或资源可用性) 下的应激反应及生理适应能力 (Sapolsky et al. 2000, Romero et al. 2009, Donini et al. 2022)。环境条件是影响野生动物皮质醇激素分泌的重要因素 (Donini et al. 2022)。此外，皮质醇水平受配偶竞争、哺乳和育幼需求的影响，可能会随着繁殖阶段的变化而波动。因此，在季节性繁殖的物种中，皮质醇水平通常呈现显

著的季节性变化 (Donini et al. 2022)。旅游活动和交通流量在旅游季和非旅游季的波动, 也可能影响动物的应激水平, 导致皮质醇水平的季节性变化 (Creel et al. 2002)。

普氏原羚 (*Procapra przewalskii*) 是中国特有的珍稀濒危动物, 为国家一级重点保护野生动物, 并被世界自然保护联盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 列为濒危 (Endangered, EN) 级物种。历史上, 该物种曾广泛分布于青海、甘肃和内蒙古等地, 但由于环境变化和人类活动影响, 其分布范围已大幅缩小, 目前主要栖息于青海湖周边。由于栖息地破碎化严重, 普氏原羚被分割成十余个大小不等的野生种群, 面临与家畜的食物竞争、旅游等人类活动干扰和捕食者威胁 (Li and Jiang 2008, Li et al. 2012, You et al. 2013, Zhang et al. 2013, 2014)。除野生种群外, 青海湖南岸的普氏原羚救助中心有一个半圈养种群, 主要来源于野外受伤个体。该种群以围栏内的天然植被为主要食物, 仅在冬季适当补充饲料与水源 (Zhang et al. 2024)。野生与半圈养种群的栖息环境存在显著差异, 因此两者所面临的环境压力也不同。本研究旨在比较野生和半圈养状态下普氏原羚皮质醇水平的变化特征, 并探讨皮质醇水平在性别与季节性上的差异。研究结果可为理解该濒危物种在生理水平上对环境变化的适应机制提供重要基础资料。

1 研究方法

1.1 研究地点与对象

本研究以栖息在两个不同生存环境 (野生和半圈养) 中的普氏原羚种群为对象。野生种群分布于青海省海晏县与共和县之间的青海湖湖东区域 (36°30'12" ~ 36°49'3" N, 100°32'40" ~ 100°50'13" E; 图 1), 海拔 3 173 ~ 3 353 m, 属于大陆性半干旱高山草原气候。该区域的主要植被包括芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、狼毒 (*Stellera chamaejasme*)、沙蒿 (*Artemisia desertorum*)、冷蒿 (*A. frigida*)、疏花针茅 (*Stipa*

penicillata)、沙生针茅 (*S. glareosa*) 及马蔺 (*Iris lactea*) 等 (周立业和蒲秀瑛 2012)。2023 年普氏原羚种群数量调查 (未发表数据) 显示, 该区域约有 42 只个体, 包括成年雄性 9 只、成年雌性 28 只及幼龄个体 5 只。

半圈养种群位于青海省共和县青海湖南岸的普氏原羚救助中心 (36°33'34" N, 100°32'47" E; 图 1), 生活在面积约 26.27 hm² (394 亩) 的独立围栏内, 海拔约 3 200 m, 围栏四周主要由草地、村镇及公路组成。该区域植被类型为高寒草原, 优势植物包括疏花针茅和芨芨草, 普氏原羚可食用的植物包括莎草 (*Carex*)、疏花针茅、芨芨草和紫苑 (*Aster*) 等 (Zhang et al. 2024)。此外, 从每年 10 月到次年 3 月, 救助中心定期投放燕麦草 (*Avena sativa*) 以补充普氏原羚的食物资源。救助中心自 2017 年 12 月建立以来, 救护的普氏原羚在围栏内自然繁殖, 种群数量稳步增长。截至 2024 年 9 月, 救助中心内成年个体数量约为 80 只。

青海湖南岸救助中心与湖东区野生种群栖息地的气候和植被条件相似。该地区夏季凉爽而短暂, 冬季漫长且寒冷, 昼夜温差大, 无霜期较短。年均气温约为 3 °C, 春季 (3 ~ 5 月) 平均气温 0 ~ 15 °C, 夏季 (6 ~ 8 月) 平均气温 4 ~ 16 °C, 秋季 (9 ~ 11 月) 平均气温 8 ~ 19 °C, 冬季 (12 月至翌年 2 月) 平均气温 -7 ~ 6 °C。年降水量为 291 ~ 579 mm, 其中夏季 (6 ~ 8 月) 降水占全年降水量的 76%, 年均蒸发量为 1 300 ~ 2 000 mm。

1.2 粪便样品采集

粪便样品的采集覆盖三个季节, 分别为 2023 年 6 月和 7 月 (夏季)、9 月和 10 月 (秋季) 和 2024 年 1 月 (冬季)。本研究共采集到 167 份粪便样本, 采样点分布如图 1 所示, 各季节的样品数量详见表 1。

采样过程中, 当观察到个体排泄行为后, 立即前往排泄区域采集新鲜粪便。新鲜粪便通常呈黑亮色, 表面附有黏膜和光泽, 质地较软。为减少土壤、沙石等外部污染, 采集时优先选

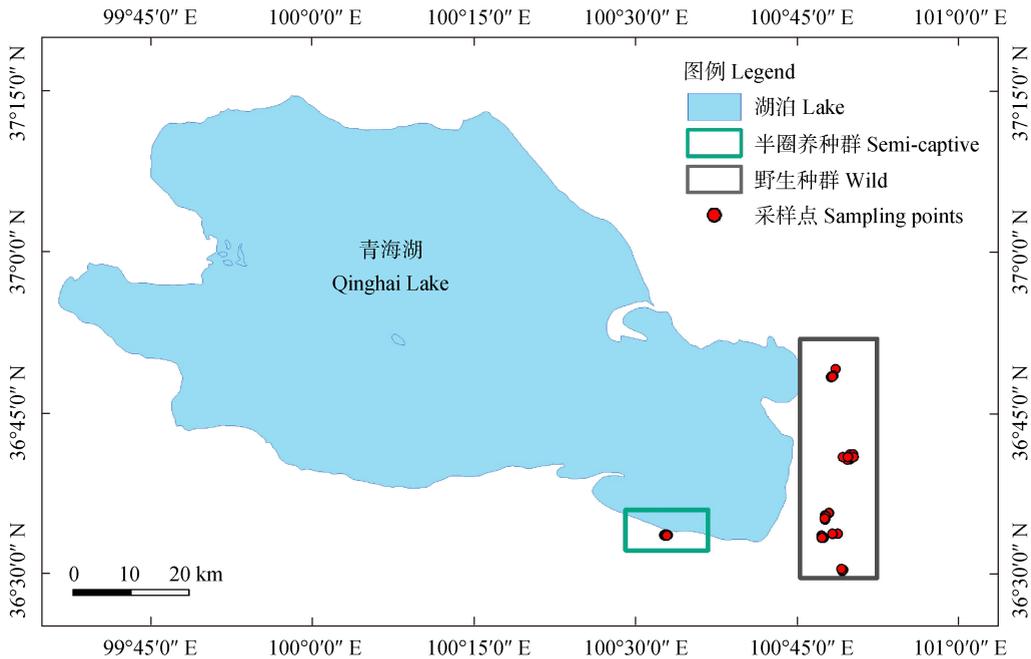


图 1 青海湖湖东区普氏原羚野生种群与湖南岸半圈养种群分布及采样点图

Fig. 1 Distribution of wild and semi-captive *Procapra przewalskii* and sampling points in the Qinghai Lake region

表 1 野生与半圈养普氏原羚粪便样本采集数量
(按性别与季节分布)

Table 1 Number of fecal samples collected from wild and semi-captive Przewalski's Gazelles (classified by sex and season)

性别 Sex	种群 Population	采样季节 Sampling season		
		夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
雌性 Female	野生 Wild	7	18	18
	半圈养 Semi-captive	10	16	9
	总数 Total	17	34	27
雄性 Male	野生 Wild	33	3	20
	半圈养 Semi-captive	13	15	5
	总数 Total	46	18	25

取粪便中间部分。采集后，清除表面杂物，将样品装入 50 ml 离心管，并记录编号、采集日期和样品地理坐标等信息。所有样品暂时存放于干冰桶中低温保存，并在当天转移至-40 °C

冰柜中冷冻。由于野外采样无法进行个体识别，每个自然日采集的所有粪便样本均被视为独立样本。

1.3 性别鉴定

1.3.1 DNA 提取 将-40 °C冷冻保存的粪便解冻，依照 DNA 提取试剂盒 (MP Biomedicals SPINeasy DNA Kit for Feces) 说明书进行 DNA 提取。

1.3.2 巢式 PCR 扩增 利用聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction, PCR) 对 Y 染色体上的 *SRY* 基因进行扩增 (Yamazaki et al. 2011)。扩增反应体系 (50 μl) 包括 19 μl ddH₂O、25 μl 2 × Rapid Taq Master Mix、2 μl (10 μmol/L) 上游引物 (SRY-F: 5'-CGAAGA CGA AAG KTG GCT CT-3'，其中，K 为简并碱基 G 或 T)、2 μl (10 μmol/L) 下游引物 (SRY-R: 5'-TGT GCC TCC TCAAAG AAT GG -3') 及 2 μl (50 mg/L) 模板 DNA。PCR 扩增程序为：以 95 °C 进行 3 min 初始变性，随后以 94 °C 变性 30 s、60 °C

退火 30 s、72 °C 延伸 1 min 的条件进行 35 个循环，最后在 72 °C 延伸 5 min。扩增产物储存于 4 °C。

1.3.3 电泳检测 取 5 μ l PCR 产物，在经 GelRed 染色的 2% 琼脂糖凝胶中进行电泳，电压 220 V、电泳时间 20 min。

1.3.4 性别判断 通过凝胶成像系统获取电泳图像，根据电泳条带判断性别：雌性个体无法检测到 *SRY* 基因扩增条带，而雄性个体能检测到明显的 *SRY* 基因扩增条带。最终成功鉴定 167 份粪便样品的性别，其中雌性 78 份，雄性 89 份。

1.4 粪便中皮质醇激素浓度的测定

粪便样品中皮质醇激素的提取参照张树苗等 (2021) 提取麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 粪样皮质醇激素的方法。首先，将冷冻保存的粪便样品在 4 °C 下解冻，称取约 0.3 g 湿粪置于 15 ml 离心管，加入 5 ml 提取液（甲醇与水体积比 9 : 1 的混合液），使用旋涡震荡器（MIX-VS，上海拓赫机电科技有限公司）震荡 5 min。随后，使用高速冷冻离心机（Sigma 3K15，Sigma Laborzentrifugen GmbH 公司）以 2 500 r/min 离心 15 min，收集 1 ml 上清液，并向离心管内沉淀中再次加入同浓度的提取液 5 ml，重复上述步骤，将两次得到的上清液混合均匀，取 1 ml 混合液置于新的离心管中，并于 -20 °C 下保存待测。待测粪便样品经电热鼓风干燥箱（DHG-9145A，上海一恒科学仪器有限公司）在 40 °C 下烘干 12 h 达到恒重状态。样品送至北京北方生物技术公司进行检测。检测采用北京北方生物技术研究所研发的皮质醇（高灵敏）放射免疫分析药盒：标准范围为 0.313 ~ 50 μ g/L；灵敏度为 0.16 μ g/L；精密度为批内变异系数（CV）小于 10%，批间变异系数（CV）小于 15%；实验仪器为西安核仪器厂的 XH6080 型放射免疫 γ 计数器。

1.5 统计分析

根据粪便含水量和溶液浓度（ μ g/L）的检测结果，计算每克干粪的皮质醇浓度（ng/g），

并应用于后续分析。首先对皮质醇浓度数据进行了 Shapiro-Wilk 正态性检验和 Levene 方差齐性检验，以评估是否符合多因素方差分析的前提条件。随后，采用多因素方差分析（multivariate analysis of variance, MANOVA），以栖息环境（野生与半圈养）、季节（夏季、秋季、冬季）和性别（雌性与雄性）为固定因素，评估各因素及其交互作用对皮质醇浓度的影响。其次，对于具有显著影响的因素及交互作用，采用 Mann-Whitney *U* 检验进行两两比较，并结合 Bonferroni 方法对多重比较结果进行校正。在不同季节中不同性别的比较中，选取夏季和秋季的半圈养种群样本以及冬季的野生种群样本。另外三组样本（夏季和秋季野生种群、冬季的半圈养种群）因数据比例失衡或样本量过小（ ≤ 5 ）而未纳入分析。所有统计分析均使用 SPSS 24.0 软件完成。

2 结果

2.1 多因素方差分析结果

多因素方差分析结果表明，季节对皮质醇浓度具有显著影响（ $F_{2, 155} = 48.222, P < 0.001$ ），整体呈现夏季浓度最高，冬季最低的趋势。栖息环境对皮质醇浓度的影响亦显著，野生个体的皮质醇浓度显著高于半圈养个体（ $F_{1, 155} = 5.244, P = 0.023$ ）。性别对皮质醇浓度影响不显著（ $F_{1, 155} = 2.091, P = 0.150$ ），但季节与性别的交互效应达到显著性水平（ $F_{2, 155} = 4.962, P = 0.008$ ），提示性别对皮质醇浓度的影响依赖季节变化。此外，栖息环境与季节（ $F_{2, 155} = 0.880, P = 0.417$ ）、栖息环境与性别（ $F_{1, 155} = 0.788, P = 0.376$ ）的交互效应均未达到显著性水平。三者之间的交互效应同样不显著（ $F_{2, 155} = 0.547, P = 0.580$ ）（表 2）。

2.2 皮质醇水平的季节性变化

Mann-Whitney *U* 检验结果显示，在野生种群中，冬季的皮质醇浓度与夏季（ $U = 133.0, P < 0.001$ ）和秋季（ $U = 161.0, P < 0.001$ ）均存在显著差异，冬季的皮质醇浓度显著低于夏

季与秋季，但夏季与秋季之间无显著差异 ($U = 311.0, P = 0.098$)。在半圈养种群中，三个季节间的皮质醇浓度均存在显著差异，其中，冬季皮质醇浓度显著低于夏季 ($U = 1.0, P < 0.001$) 和秋季 ($U = 51.0, P < 0.001$)，同时，秋季皮质醇浓度也显著低于夏季 ($U = 101.0, P < 0.001$)。总体而言，两个种群的皮质醇浓度均在夏季达到峰值，秋季开始下降，冬季显著降低 (图 2)。

表 2 栖息环境、季节与性别对皮质醇浓度的影响 (MANOVA 结果)

Table 2 Effects of habitat, season, and sex on cortisol concentration (MANOVA results)

因素 Factor	F	P
栖息环境 Habitats	5.244	0.023
季节 Season	48.222	< 0.001
性别 Sex	2.091	0.150
性别 × 栖息环境 Sex × habitat	0.788	0.376
性别 × 季节 Sex × season	4.962	0.008
栖息环境 × 季节 Habitat × season	0.880	0.417
性别 × 栖息环境 × 季节 Sex × habitat × season	0.547	0.580

F 值表示组间变异与组内变异的比率， F 值越大，说明组间差异相对于组内差异越显著。 P 值用于判断显著性水平，通常 $P < 0.05$ 表示结果具有统计学意义。

The F value represents the ratio of between-group variance to within-group variance. A larger F value indicates that the between-group differences are more pronounced relative to within-group differences. The P value is used to determine the significance level, where $P < 0.05$ generally indicates statistical significance.

2.3 生存环境对普氏原羚皮质醇浓度的影响

Mann-Whitney U 检验结果表明，野生与半圈养种群的皮质醇浓度在秋季 ($U = 183.0, P = 0.008$) 和冬季 ($U = 166.0, P = 0.039$) 均存在显著差异，且野生种群的皮质醇水平显著高于半圈养个体 (图 2)。然而在夏季，野生与半圈养种群的皮质醇浓度无显著差异 ($U = 414.0, P = 0.511$)。

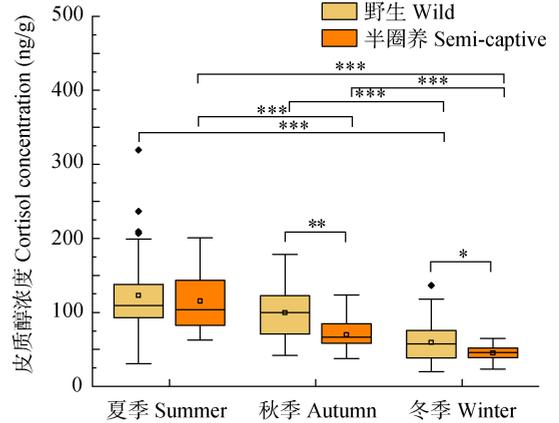


图 2 野生与半圈养普氏原羚皮质醇浓度的季节性变化

Fig. 2 Seasonal variations in cortisol concentrations of wild and semi-captive Przewalski's Gazelles

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

2.4 季节与性别的交互作用对皮质醇水平的影响

多因素方差分析结果表明，季节与性别的交互效应对皮质醇水平有显著影响 ($F_{2, 155} = 4.962, P = 0.008$)。Mann-Whitney U 进一步检验结果显示，夏季雌性个体的皮质醇浓度显著高于雄性 ($U = 25.0, P = 0.013$)，而冬季雄性个体的皮质醇浓度显著高于雌性 ($U = 102.0, P = 0.023$; 图 3)。秋季雌雄个体间的皮质醇浓度差异不显著 ($U = 113.0, P = 0.782$)。

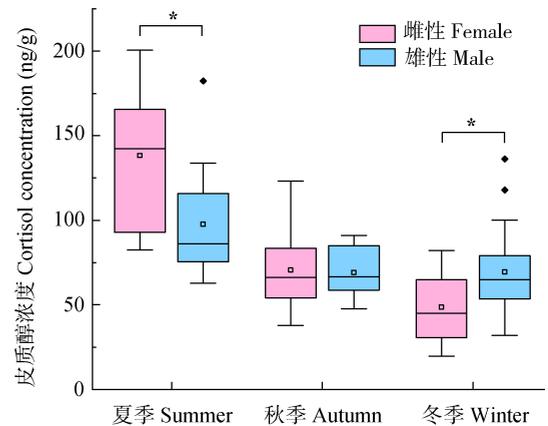


图 3 不同季节和性别普氏原羚的皮质醇浓度

Fig. 3 Cortisol concentrations of Przewalski's Gazelles across different seasons and between sexes

* $P < 0.05$

3 讨论

动物的激素水平往往受环境特征、食物资源、性别及外界干扰等多重因素影响而发生波动 (Goymann 2012, Donini et al. 2022)。本研究发现, 在夏季, 普氏原羚野生种群与半圈养种群的皮质醇水平无显著差异, 而在秋冬季节, 野生种群的皮质醇水平显著高于半圈养种群。这一现象可能与食物资源的季节性变化密切相关。夏季野外食物资源相对充足, 气候适宜, 且根据观察, 普氏原羚活动区内无大规模放牧的家畜, 因此野生和半圈养个体的皮质醇水平差异不显著。然而, 进入秋冬季节后, 天气条件恶化, 野外食物和水资源逐渐短缺, 同时, 大群放牧的家畜回归冬春牧场, 在普氏原羚的活动区内采食, 导致野生个体在冬季面临更大的营养压力 (刘丙万和蒋志刚 2002)。相比之下, 半圈养种群因人工提供饮用水和草饲料, 能够持续获得高质量的食物和水源, 在一定程度上缓解了冬季生存压力, 这可能是其皮质醇浓度显著低于野生种群的重要原因。

前人研究发现, 与野生种群相比, 圈养个体的粪便皮质醇浓度可能因空间受限及人类干扰而升高, 从而对动物的生理健康产生负面影响。例如, 研究表明, 斑鬣狗 (*Crocuta crocuta*) (Goymann et al. 2001, Benhaiem et al. 2012)、猎豹 (*Acinonyx jubatus*) (Terio et al. 2004)、黠鹿 (*Dama dama*) (Konjević et al. 2010, 2016) 和加拿大猞猁 (*Lynx canadensis*) (Fanson et al. 2012) 在圈养环境中的皮质醇水平均有所升高。本研究结果表明, 当圈养环境适宜, 如场地面积足够大, 并提供稳定的水源和饲料供应, 在环境条件较差的季节可能有助于缓解外界压力, 对动物的生理健康具有一定的积极作用 (Karaer et al. 2023)。

普氏原羚的皮质醇浓度呈现显著的季节性变化, 这一现象在马鹿 (*Cervus elaphus*) (Huber et al. 2003)、牛 (*Bos taurus*) (Ogino et al. 2014)、绵羊 (*Ovis aries*) (Snoj et al. 2014) 和山羊 (*Capra aegagrus hircus*) (Chergui et al. 2017)

等其他反刍动物中亦有报道。本研究发现, 普氏原羚的皮质醇浓度在夏季达到最高, 秋季开始下降, 冬季降至最低, 野生和半圈养个体的整体变化趋势相同。皮质醇的释放受下丘脑-垂体-肾上腺轴 (hypothalamic-pituitary-adrenal axis, HPA 轴) 的调控 (Charmandari et al. 2005, Johnstone et al. 2012), 夏季较高的气温和日照时间可能通过增加促肾上腺皮质激素 (adrenocorticotrophic hormone, ACTH) 的分泌, 刺激皮质醇的释放, 从而使得皮质醇水平升高 (Chergui et al. 2017)。秋冬季节, 随着气温逐渐下降、食物资源减少以及普氏原羚活动量降低, ACTH 的分泌可能减少, 进而导致皮质醇水平降低。这种变化反映了普氏原羚对环境适应的生理特征 (Li et al. 2012)。

在夏季和冬季, 雌雄个体的皮质醇浓度存在显著差异。夏季, 雌性个体的皮质醇水平显著高于雄性, 而冬季则相反, 雄性个体的皮质醇水平显著高于雌性。秋季雌雄个体之间的皮质醇水平无显著差异。这一现象可能与普氏原羚在不同季节的生理特征相关。每年的 6 月下旬至 8 月初是普氏原羚的产羔期, 已有研究表明, 有蹄类动物在妊娠期糖皮质激素 (fecal glucocorticoid metabolites, FGMs) 的浓度会增加 (Caslini et al. 2016, Ventrella et al. 2020)。普氏原羚皮质醇浓度的升高可能反映了雌性个体在产仔和育幼期大量的能量消耗及营养需求 (刘若爽等 2023)。雌性普氏原羚在产羔期对捕食者的警觉性显著提高, 这也是其皮质醇水平显著高于雄性的重要因素 (Shi et al. 2010)。每年的 12 月至次年 1 月是普氏原羚的交配期, 雄性为争夺配偶发生激烈竞争, 且在交配期的警觉性显著增加, 这可能导致其皮质醇水平显著高于雌性 (Creel 2005, Fichtel et al. 2007, Girard-Buttoz et al. 2009, Shi et al. 2010)。

本研究基于野外观测和高质量粪便样品的采集, 系统分析并比较了青海湖地区野生与半圈养状态下珍稀濒危动物普氏原羚的皮质醇水平, 明确了不同栖息环境、性别和季节条件下

普氏原羚皮质醇激素的变化特征,并探讨了食物资源和环境压力对其生理应激水平的可能影响。研究结果为理解这一珍稀濒危物种对栖息环境变化的响应与适应性提供了重要基础信息。

参 考 文 献

- Benhaïem S, Dehnhard M, Bonanni R, et al. 2012. Validation of an enzyme immunoassay for the measurement of faecal glucocorticoid metabolites in spotted hyenas (*Crocuta crocuta*). *General and Comparative Endocrinology*, 178(2): 265–271.
- Caslini C, Comin A, Peric T, et al. 2016. Use of hair cortisol analysis for comparing population status in wild red deer (*Cervus elaphus*) living in areas with different characteristics. *European Journal of Wildlife Research*, 62(6): 713–723.
- Charmandari E, Tsigos C, Chrousos G. 2005. Endocrinology of the stress response. *Annual Review of Physiology*, 67: 259–284.
- Chergui N, Mormede P, Foury A, et al. 2017. Seasonal effects on plasma cortisol concentrations in the Bedouin buck: circadian studies and response to ACTH. *Animal*, 11(3): 445–451.
- Creel S. 2005. Dominance, aggression, and glucocorticoid levels in social carnivores. *Journal of Mammalogy*, 86(2): 255–264.
- Creel S, Fox J E, Hardy A, et al. 2002. Snowmobile activity and glucocorticoid stress responses in wolves and elk. *Conservation Biology*, 16(3): 809–814.
- Di Marco M, Boitani L, Mallon D, et al. 2014. A retrospective evaluation of the global decline of carnivores and ungulates. *Conservation Biology*, 28(4): 1109–1118.
- Donini V, Iacona E, Pedrotti L, et al. 2022. Temporal stability of fecal cortisol metabolites in mountain-dwelling ungulates. *The Science of Nature*, 109(2): 20.
- Fanson K V, Wielebnowski N C, Shenk T M, et al. 2012. Comparative patterns of adrenal activity in captive and wild Canada Lynx (*Lynx canadensis*). *Journal of Comparative Physiology B*, 182(1): 157–165.
- Fichtel C, Kraus C, Ganswindt A, et al. 2007. Influence of reproductive season and rank on fecal glucocorticoid levels in free-ranging male Verreaux's sifakas (*Propithecus verreauxi*). *Hormones and Behavior*, 51(5): 640–648.
- Girard-Buttoz C, Heistermann M, Krummel S, et al. 2009. Seasonal and social influences on fecal androgen and glucocorticoid excretion in wild male long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*). *Physiology & Behavior*, 98(1/2): 168–175.
- Goymann W. 2012. On the use of non-invasive hormone research in uncontrolled, natural environments: the problem with sex, diet, metabolic rate and the individual. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(4): 757–765.
- Goymann W, East M L, Wachter B, et al. 2001. Social, state-dependent and environmental modulation of faecal corticosteroid levels in free-ranging female spotted hyenas. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268(1484): 2453–2459.
- Hing S, Narayan E J, Andrew Thompson R C, et al. 2016. The relationship between physiological stress and wildlife disease: consequences for health and conservation. *Wildlife Research*, 43(1): 51.
- Huber S, Palme R, Arnold W. 2003. Effects of season, sex, and sample collection on concentrations of fecal cortisol metabolites in red deer (*Cervus elaphus*). *General and Comparative Endocrinology*, 130(1): 48–54.
- Johnstone C P, Reina R D, Lill A. 2012. Interpreting indices of physiological stress in free-living vertebrates. *Journal of Comparative Physiology B*, 182(7): 861–879.
- Karaer M C, Čebulj-Kadunc N, Snoj T. 2023. Stress in wildlife: comparison of the stress response among domestic, captive, and free-ranging animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 10: 1167016.
- Konjević D, Janicki Z, Slavica A, et al. 2010. Non-invasive monitoring of adrenocortical activity in free-ranging fallow deer (*Dama dama* L.). *European Journal of Wildlife Research*, 57(1): 77–81.
- Konjević D, Janicki Z, Slavica A, et al. 2016. Monitoring cortisol metabolites in the faeces of captive fallow deer (*Dama dama* L.). *Veterinarski Arhiv*, 86(3): 363–371.
- Li C L, Jiang Z G, Li L L, et al. 2012. Effects of reproductive status, social rank, sex and group size on vigilance patterns in Przewalski's gazelle. *PLoS One*, 7(2): e32607.
- Li Z Q, Jiang Z G. 2008. Group size effect on vigilance: evidence

- from Tibetan gazelle in Upper Buha River, Qinghai-Tibet Plateau. *Behavioural Processes*, 78(1): 25–28.
- Menargues A, Urios V, Limiñana R. 2013. Seasonal pattern of salivary cortisol secretion in the greater one-horned rhino (*Rhinoceros unicornis*). *Animal Welfare*, 22(4): 467–472.
- Ogino M, Matsuura A, Yamazaki A, et al. 2014. Plasma cortisol and prolactin secretion rhythms in cattle under varying external environments and management techniques. *Animal Science Journal*, 85(1): 58–68.
- Romero L M, Dickens M J, Cyr N E. 2009. The reactive scope model—a new model integrating homeostasis, allostasis, and stress. *Hormones and Behavior*, 55(3): 375–389.
- Sapolsky R M, Romero L M, Munck A U. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21(1): 55–89.
- Shi J, Li D, Xiao W. 2010. Influences of sex, group size, and spatial position on vigilance behavior of Przewalski's gazelles. *Acta Theriologica*, 56(1): 73–79.
- Snoj T, Jenko Z, Cebulj-Kadunc N. 2014. Fluctuations of serum cortisol, insulin and non-esterified fatty acid concentrations in growing ewes over the year. *Irish Veterinary Journal*, 67(1): 22.
- Terio K A, Marker L, Munson L. 2004. Evidence for chronic stress in captive but not free-ranging cheetahs (*Acinonyx jubatus*) based on adrenal morphology and function. *Journal of Wildlife Diseases*, 40(2): 259–266.
- Ventrella D, Elmi A, Bertocchi M, et al. 2020. Progesterone and cortisol levels in blood and hair of wild pregnant red deer (*Cervus elaphus*) hinds. *Animals*, 10(1): 143.
- Yamazaki S, Motoi Y, Nagai K, et al. 2011. Sex determination of sika deer (*Cervus nippon yesoensis*) using nested PCR from feces collected in the field. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 73(12): 1611–1616.
- Yom-Tov Y, Balaban A, Hadad E, et al. 2020. The plight of the Endangered mountain gazelle *Gazella gazella*. *Oryx*, 55(5): 771–778.
- You Z Q, Jiang Z G, Li C W, et al. 2013. Impacts of grassland fence on the behavior and habitat area of the critically endangered Przewalski's gazelle around the Qinghai Lake. *Chinese Science Bulletin*, 58(18): 2262–2268.
- Zhang L, Liu J Z, McShea W J, et al. 2014. The impact of fencing on the distribution of Przewalski's gazelle. *The Journal of Wildlife Management*, 78(2): 255–263.
- Zhang L, Liu J Z, Wang D J, et al. 2013. Distribution and population status of Przewalski's gazelle, *Procapra przewalskii* (Cetartiodactyla, Bovidae). *Mammalia*, 77(1): 31–40.
- Zhang X Y, Xiang X J, Liu T, et al. 2024. Semi-captive Przewalski's gazelles cope with winter adversity by adjusting their gut bacterial communities. *The Journal of Wildlife Management*, 88(3): e22545.
- 刘丙万, 蒋志刚. 2002. 普氏原羚的采食对策. *动物学报*, 48(3): 309–316. [Liu B W, Jiang Z G. 2002. Foraging strategy of Przewalski's gazelle (*Procapra przewalskii*). *Acta Zoologica Sinica*, 48(3): 309–316.]
- 刘若爽, 石建斌, 刘定震, 等. 2023. 普氏原羚警戒行为和生理应激的影响因素分析. *兽类学报*, 43(5): 479–488. [Liu R S, Shi J B, Liu D Z, et al. 2023. Analysis of factors influencing vigilance and physiological stress in Przewalski's gazelle. *Acta Theriologica Sinica*, 43(5): 479–488.]
- 张树苗, 李夷平, 陈颀, 等. 2021. 北京南海子麋鹿苑春季麋鹿粪样皮质醇激素变化及其指示作用. *野生动物学报*, 42(2): 522–527. [Zhang S M, Li Y P, Chen Q, et al. 2021. Fecal Cortisol steroids assay for tourist disturbance on captive Père David's deer during spring in Beijing Nan-haizi Milu Park. *Chinese Journal of Wildlife*, 42(2): 522–527.]
- 周立业, 蒲秀瑛. 2012. 青海湖湖东区土-草-普氏原羚系统中微量元素含量研究. *草业学报*, 21(6): 145–150. [Zhou L Y, Pu X Y. 2012. Research on the trace element contents of a soil-grass-Przewalski's gazelle ecosystem in Hudong, Qinghai, China. *Acta Prataculturae Sinica*, 21(6): 145–150.]