

光周期和光刺激对雄性灰文鸟行为 及生理状况的影响

刘燕 张志委 赵婷婷 霍雅鹏 万冬梅 殷江霞*

辽宁大学生命科学学院, 辽宁省动物资源与疫病防治重点实验室 沈阳 110036

摘要: 光周期变化是导致动物行为发生变化的重要因素之一。为揭示不同光周期条件下鸟类对光刺激的生理和行为反应, 本文通过比较雄性灰文鸟 (*Lonchura oryzivora*) 在经长 (16L : 8D)、中 (12L : 12D)、短 (8L : 16D) 3 个光周期条件驯化后, 再给予 72 h 的光刺激, 研究其行为、血清皮质酮含量和血清蛋白的变化特征。结果表明, 光周期改变直接影响雄性灰文鸟的行为。雄性灰文鸟的血清皮质酮含量受光周期和光刺激的影响, 中光照周期条件下雄性灰文鸟皮质酮激素对光刺激的响应与长、短光照周期条件下明显不同。不同光周期条件下灰文鸟 α -球蛋白区、 β -球蛋白区和 γ -球蛋白区血清蛋白的成分存在差异。上述结果表明, 光周期显著影响雄性灰文鸟对光刺激的生理应激反应方式。

关键词: 光周期; 皮质酮激素; 光刺激; 血清蛋白; 灰文鸟

中图分类号: Q958, Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 06-954-10

Influence of Photoperiod and Photostimulation on the Behavior and Physiology of Male Java Sparrow (*Lonchura oryzivora*)

LIU Yan ZHANG Zhi-Wei ZHAO Ting-Ting HUO Ya-Peng WAN Dong-Mei YIN Jiang-Xia*

Key Laboratory of Animal Resource and Epidemic Disease Prevention, Department of Life Sciences, Liaoning University,
Shenyang 110036, China

Abstract: Photostimulation affects a range of physiological and behavioral characters in birds. However, whether such changes would be affected by photoperiod largely remain unknown. In order to reveal the role of photoperiods in mediating the responses of male Java Sparrow (*Lonchura oryzivora*) to photostimulation, a total of 18 Java Sparrows were randomly separated into three groups with each containing six individuals. These three groups were housed in separate chambers and exposed to mid photoperiod (12L : 12D, supplemented with artificial lights between 6:00 to 18:00), artificial long (16L : 8D, lights on 6:00 to 22:00) and short (8L : 16D, lights on 6:00 to 14:00) photoperiods respectively. In either case, artificial lights were provided with white fluorescent lamps (light intensity at cage level 550 lx) which were operated by automatic

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31100271);

* 通讯作者, E-mail: xia0615@126.com;

第一作者介绍 刘燕, 女, 硕士; 研究方向: 鸟类学; E-mail: 978515620@qq.com。

收稿日期: 2017-03-23, 修回日期: 2017-07-13 DOI: 10.13859/j.cjz.201706004

programmed devices. After 30 days, the birds belonging to each photoperiodic group were subsequently separated into two subgroups each with three individuals. Each photoperiodic experiment group was provided uninterrupted light for 72 h and the control group remain unchanged with the behavior in both groups being completely monitored by digital cameras. The quantity of corticosterone in serum was estimated by ELISA Kit and serum proteins were separated and identified by SDS-PAGE electrophoresis after 72 h photostimulation. Videos were then analyzed, with the length of all kinds of behavior (activity, nest, perch, feeding and preening) being recorded. Behavioral data and the changes of corticosterone were analyzed by two-way analysis of variance (ANOVA). The migration rate of SDS-PAGE gel (R_f value) was calculated, and the serum protein zoning was divided according to the range of R_f . The results showed that: 1. Photoperiod affected the behavior of Java Sparrow (Fig. 1). 2. Photoperiod affected corticosterone hormones in male Java Sparrow, with the response of corticosterone in mid photoperiod differed from the other two photoperiods (Fig. 2). 3. Serum protein components were affected by photoperiod (Table 1). All these results suggested that photoperiod mediated physiological responses of male Java Sparrow to photostimulation.

Key words: Light cycle; Corticosterone hormone; Photostimulation; Serum protein, Java Sparrow

光周期的改变会导致动物的行为和生理过程发生变化 (Goldman 2001), 以适应外界不断变化的环境 (Bradley et al. 1999)。大多数动物的生活史策略与外界环境的光周期有关 (Russ et al. 2015), 光周期为动物的发育、繁殖、休眠和迁徙等不可逆转的生理及发育过程提供了抉择性的信号 (Bradshaw et al. 2007)。鸟类的许多行为受光周期的影响, 如光照条件变长, 黑顶山雀 (*Parus atricapillus*) 的贮食行为增强 (Shettleworth et al. 1995), 雌性蓝冠山雀 (*Cyanistes caeruleus*) 对雄性个体的择偶偏好强度增强 (Reparaz et al. 2014), 切除松果体家麻雀 (*Passer domesticus*) 的鸣唱曲目大小和日鸣唱率迅速增强 (Wang et al. 2014)。

光周期还会影响鸟类体内多种激素的分泌量 (Shettleworth et al. 1995)。例如, 光照条件变长, 白冠带鹀 (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) 的促黄体释放激素的含量增加一倍 (Follett et al. 1975), 紫翅椋鸟 (*Sturnus vulgaris*) 的促黄体释放激素的含量迅速增高 (Ebling et al. 1982), 家麻雀的皮质酮激素含量高 (Rich et al. 2001)。鸟类所分泌糖皮质激素的 95% 为皮质酮。在鸟类中, 皮质酮为最主要的糖皮质激素 (Koren et al. 2012)。与正常生

理状态相比, 鸟类在急性应激状态下皮质酮激素的浓度会显著增加, 因此, 皮质酮水平的升高常被视为急性应激状态的标志 (Wingfield et al. 1999), 体内皮质酮的变化可调节其行为和生理变化以应对外界环境的变化 (Bonier et al. 2007)。

血清蛋白的季节性变化与光周期变化有关 (Gill et al. 1985)。例如, 光周期影响田鼠 (*Microtus arvalis*) 的血清总蛋白、白蛋白和 α_2 -球蛋白的含量, 而对 γ -球蛋白和 α_1 -球蛋白的含量无影响 (Dobrowolska et al. 1983)。鸟类突然经历光刺激后, 机体会产生一系列的生理变化, 重新建立内环境稳态 (Boonstra 2005)。鸟类血清蛋白的条带数量也与光刺激有关 (Pandey et al. 2015)。然而, 涉及光周期影响鸟类对光刺激响应的研究较少, 此方面的研究有助于揭示鸟类对光刺激等压力的适应机理 (Coppack et al. 2004)。

灰文鸟 (*Lonchura oryzivora*) 隶属于鸟纲 (Aves) 雀形目 (Passeriformes) 梅花雀科 (Estrildidae), 是一种常见的观赏鸟 (Islam 1997, 张宪德等 2016)。本实验研究了 3 个不同的光周期条件下对雄性灰文鸟进行 72 h 光刺激后其行为、体内皮质酮含量和血清蛋白的变

化特征,以期探知光周期和光刺激诱导的鸟类生理和行为的响应机制,研究结果将有助于进一步认识鸟类对外界环境中光信号变化的生理适应机制。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2016年7月,从沈阳市花鸟市场获得18只健康的雄性灰文鸟,体重(19.85 ± 1.86)g。实验前将所有灰文鸟饲养在实验室环境下适应1周,食物、水等充足,温度(25.92 ± 0.71) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $47.21\% \pm 7.08\%$,使其适应自然光周期(14L:10D)。

1.2 实验方法

将18只灰文鸟随机分成长光照周期组(16L:8D,光照时间6:00~22:00时),中光照周期组(12L:12D,光照时间6:00~18:00时)和短光照周期组(8L:16D,光照时间6:00~14:00时),光照强度均为550 lx,每组6只(Maitra et al. 2000, Wang et al. 2013)。室内温度 25°C ,相对湿度47%,食物、水等充足且其他条件相同。以上3组在相应的光周期处理条件下驯化30 d后,分别将每组光周期的灰文鸟再随机分成光刺激(实验)组(3只)和对照组(3只),对光刺激组连续进行72 h光刺激(光照强度550 lx)处理(Pandey et al. 2015),对照组则继续保持已建立的光周期且不接受光刺激。从光刺激实验开始时,用数码摄像机72 h不间断监测各光刺激组和对照组灰文鸟的行为(对照组黑暗条件时默认为在巢内),包括活动、静栖、取食、在巢内和整羽行为(杨晓君等 1998)。视频录制完成后,观看视频记录灰文鸟上述5种行为的时间长度。72 h光刺激结束后,3 min内对实验组和对照组灰文鸟进行翼下静脉取血0.1 ml,置于经高温灭菌的EP管内,不加抗凝血剂,室温静置30 min至血液凝固,在JW-3021HR高速冷冻离心机中以 4°C 4 000 r/min,离心20 min,上清液保存在 -20°C 冰箱内(闫佳绩等 2015)。

使用ELISA试剂盒(CK-E20382B,北京冬歌博业生物科技公司)测定灰文鸟血清中皮质酮含量。依据不同浓度标准品(0 $\mu\text{g/L}$ 、7.5 $\mu\text{g/L}$ 、15 $\mu\text{g/L}$ 、30 $\mu\text{g/L}$ 、60 $\mu\text{g/L}$ 、120 $\mu\text{g/L}$)的吸光度值A制作标准曲线。待测样品重复3次测得吸光度值A,根据标准曲线得到待测样品的皮质酮浓度。

用聚丙烯酰胺凝胶电泳法(SDS-PAGE)测定血清蛋白组分。将血清样品用PBS稀释2倍,加5倍蛋白上样缓冲液,100 $^{\circ}\text{C}$ 金属浴3 min。配制8 ml,8%分离胶,室温静置30 min后,配制2 ml 5%浓缩胶。30 min后,加入电泳缓冲液,上样量8 μl ,浓缩胶电压80 V,电泳30 min,分离胶电压120 V,电泳至距离下边缘2 cm时,停止电泳。考马斯亮蓝染色80 min,冰醋酸-乙醇脱色至背景色为无色,利用Dolphin-Doc紫外凝胶成像仪进行拍照。

1.3 数据处理与统计分析

将得到的SDS-PAGE凝胶(切去浓缩胶),用直尺测出指示染料泳动的距离和蛋白泳动的距离,依据公式计算其迁移率(R_f)(王宗仁等 1991): $R_f = \text{蛋白泳动的距离} / \text{指示染料泳动的距离}$ 。

按照 R_f 值范围划分血清蛋白分区:白蛋白区($R_f > 0.612$)、 α -球蛋白区($R_f 0.410 \sim 0.611$)、 β -球蛋白区($R_f 0.191 \sim 0.400$)、 γ -球蛋白区($R_f 0 \sim 0.190$)(闫佳绩等 2015)。使用双因素方差分析检测光周期和光刺激对灰文鸟取食、在巢内、整羽、活动和静栖行为时间比例(1 d内各行为所占的时间比例)以及皮质酮浓度等指标的影响。所有统计分析使用SPSS 21.0进行,显著性水平设置在 $P < 0.05$ 。数据采用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。

2 结果

2.1 不同光周期下雄性灰文鸟行为的时间分配

在光刺激72 h的范围内,光周期对雄性灰文鸟的取食行为和静栖行为有显著影响。长光

照周期对照组灰文鸟取食 ($F = 11.25$, $df = 2$, $P < 0.05$, 图 1a) 和静栖 ($F = 15.57$, $df = 2$,

$P < 0.05$, 图 1b) 的时间比例显著长于中光照和短光照周期对照组。灰文鸟在巢内行为受光

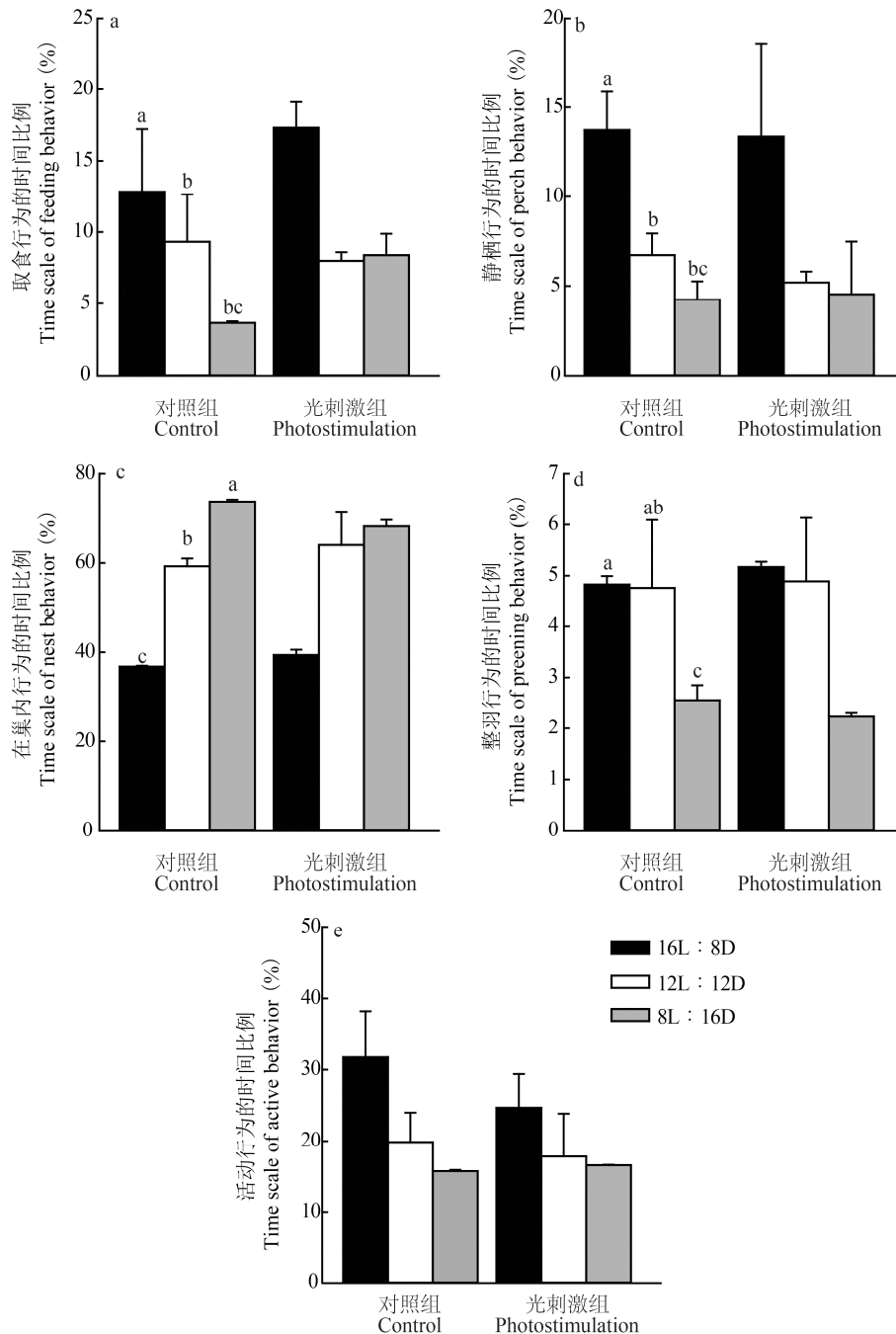


图 1 72 h 光刺激后雄性灰文鸟的行为变化

Fig. 1 Male Java Sparrow's behavior changes during 72 h photostimulation

图中同一分组 (对照组或光刺激组) 柱形图上不同上标字母代表有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Different superscripts above bars at the same group are significantly different ($P < 0.05$).

周期的影响,短光照周期对照组灰文鸟在巢内的时间比例最高,而长光照周期对照组比例最低 ($F = 75.789, P < 0.05$, 图 1c)。光周期对雄性灰文鸟整羽行为也有显著影响,长光照和中光照周期对照组灰文鸟的整羽行为显著减少 ($F = 18.392, df = 2, P < 0.05$, 图 1d)。但光周期对雄性灰文鸟的活动行为(对照组)没有显著影响 ($F = 1.338, df = 2, P > 0.05$, 图 1e)。

72 h 光刺激对雄性灰文鸟的取食 ($F = 2.687, df = 1, P > 0.05$)、活动 ($F = 2.943, df = 1, P > 0.05$)、静栖 ($F = 1.520, df = 1, P > 0.05$)、在巢内 ($F = 0.07, df = 1, P > 0.05$) 和整羽 ($F = 6.020, df = 1, P > 0.05$) 行为均无显著影响(图 1)。

光周期和 72 h 光刺激对雄性灰文鸟的取食 ($F = 1.855, P > 0.05$)、活动 ($F = 4.699, P > 0.05$)、静栖 ($F = 4.128, P > 0.05$)、在巢内 ($F = 2.886, P > 0.05$) 和整羽 ($F = 0.191, P > 0.05$) 行为的影响均不存在交互作用(图 1)。

2.2 不同光周期下雄性灰文鸟的血清皮质酮

激素含量变化

光周期对雄性灰文鸟血液中皮质酮含量具有显著影响 ($F = 133.314, df = 2, P < 0.05$)。长光照周期对照组灰文鸟皮质酮激素含量显著低于中光照和短光照周期对照组(均 $P < 0.05$);中光照周期对照组灰文鸟皮质酮激素含量显著低于短光照周期对照组 ($P < 0.05$)。72 h 光刺激对雄性灰文鸟的皮质酮含量也有显著影响 ($F = 13.442, df = 1, P < 0.05$)。光周期和 72 h 光刺激对雄性灰文鸟的皮质酮含量的影响存在显著交互作用 ($F = 434.491, df = 2, P < 0.05$, 图 2),具体表现为:长光照周期光刺激组和短光照周期光刺激组灰文鸟的皮质酮激素含量分别显著低于长光照和短光照周期对照组 ($P < 0.05$),而中光照周期光刺激组灰文鸟的皮质酮激素含量显著高于中光照周期对照组 ($P < 0.05$)。

2.3 不同光周期下雄性灰文鸟血清蛋白

长光照周期对照组雄性灰文鸟的血清蛋白共分离出 15 条谱带,长光照周期光刺激组共分

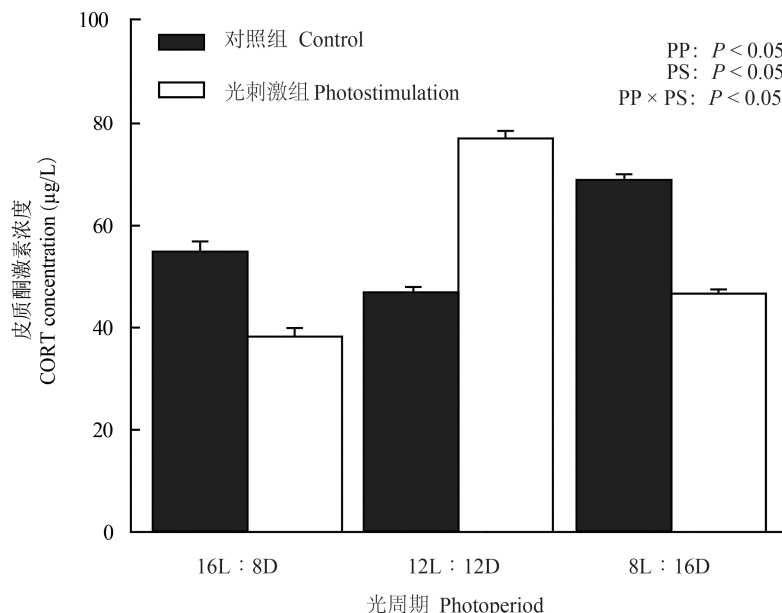


图 2 不同光周期下雄性灰文鸟血清皮质酮含量的比较

Fig. 2 Male Java Sparrows' serum hormone corticosterone levels under different photoperiods

数据以平均值 ± 标准差形式表示; PP. 光周期; PS. 72 h 光刺激。

The data represents Mean ± SD; PP. Photoperiod; PS. 72 h photostimulation.

离出 14 条谱带；中光照周期对照组共分离出 15 条谱带，中光照周期光刺激组共分离出 13 条谱带；短光照周期对照组共分离出 10 条谱带，短光照周期光刺激组共分离出 12 条谱带（图 3），各组谱带的蛋白数量见表 1。

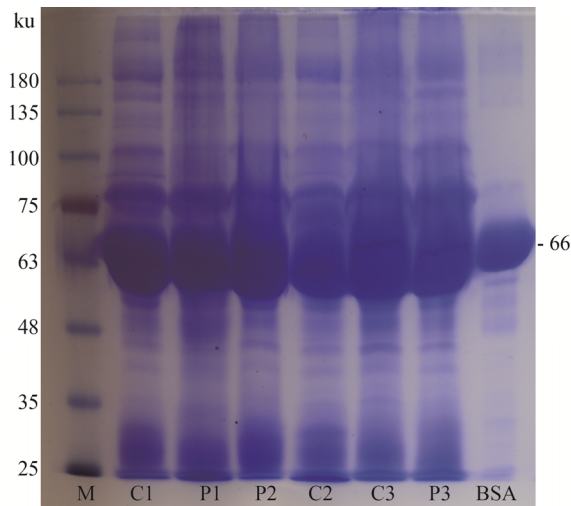


图 3 不同光周期下雄性灰文鸟的血清蛋白电泳图谱

Fig. 3 Male Java Sparrows' serum protein map under different photoperiods

M. 彩虹 mark (11 ~ 180 ku); C1. 长光照周期对照组; P1. 长光照周期光刺激组; C2. 中光照周期对照组; P2. 中光照周期光刺激组; C3. 短光照周期对照组; P3. 短光照周期光刺激组; BSA. 牛血清标准品。

M. Rainbow mark (11 - 180 ku); C1. Long photoperiod control group; P1. Long photoperiod photostimulation group; C2. Mid photoperiod control group; P2. Mid photoperiod photostimulation group; C3. Short photoperiod control group; P3. Short photoperiod photostimulation group; BSA. Bovine serum standard.

3 讨论

3.1 光周期和光刺激对雄性灰文鸟行为的影响

鸟类的下丘脑视交叉上核 (suprachiasmatic nucleus, SCN) 神经元活动与其行为存在因果关系 (Houben et al. 2009)。光周期作用于鸟类的下丘脑视交叉上核神经元调节其行为

(Kalsbeek et al. 2008)，使其快速适应外界环境状况 (LaFreniere et al. 2013)，避免面临致命的环境条件 (Bradshaw et al. 2007)。本研究中，雄性灰文鸟在长光周期条件下的取食、在巢内、整羽和静栖行为发生明显变化，可能是因为 SCN 神经元的电活动在白天较高，夜间较低 (Houben et al. 2009)，长光周期条件下，白天的持续时间较长，促进其行为活动发生变化 (Ebihara et al. 1981)。

夜间光刺激可以影响鸟类的行为。例如，光刺激影响短耳鸮 (*Asio flammeus*, Clarke 1983) 和欧洲乌鸫 (*Turdus merula*, Russ et al. 2015) 的取食行为，光刺激影响美洲知更鸟 (*T. migratorius*) 的鸣唱行为 (Miller 2006) 等。然而，本研究中，72 h 光刺激对雄性灰文鸟的 5 类行为均没有显著影响。其原因可能是，光刺激虽然可扰乱鸟类行为 (Chepesiuk 2009)，延长昼行性种类的活跃期 (Dominoni et al. 2013)，但灰文鸟夜间经历光刺激时躲避到鸟巢中，避免光刺激对自身的伤害。本研究中，光周期没有影响雄性灰文鸟对光刺激的响应行为。这可能是因为不同光周期条件下雄性灰文鸟的内源性昼夜节律受到光刺激的影响较小。

3.2 光周期和光刺激对雄性灰文鸟皮质酮激素含量的影响

皮质酮可以反映鸟类的健康状况和资源再分配情况 (Bonier et al. 2009a)，较高水平的皮质酮可能意味着鸟类面临严峻的环境，导致鸟类活动紊乱，影响鸟类的健康 (Bonier et al. 2009b)。研究结果显示光周期显著影响雄性灰文鸟血清皮质酮含量，在对照组中，中光周期条件下灰文鸟血液中的皮质酮激素含量显著低于长光周期和短光周期条件下。这是因为光周期可直接改变机体内的昼夜节律 (Aton et al. 2004)，不同光周期条件下灰文鸟皮质酮变化不同，有助于生物体适应和预测环境的变化 (Benstaali et al. 2001)。然而，本研究发现雄性灰文鸟的血清皮质酮含量普遍高于家麻雀 (Rich et al. 2001) 和树麻雀 (*Passer montanus*)

表 1 不同光周期下雄性灰文鸟血清蛋白的条带数目

Table 1 Number of male Java Sparrows' serum protein under different photoperiods

血清蛋白 Serum Protein	光周期 Photoperiod					
	长光照 Long photoperiod (16L : 8D)		中光照 Mid photoperiod (12L : 12D)		短光照 Short photoperiod (8L : 16D)	
	对照组 Control	光刺激组 Photo- stimulation	对照组 Control	光刺激组 Photo- stimulation	对照组 Control	光刺激组 Photo- stimulation
白蛋白 (条) Albumin (strip)	6	7	7	6	6	6
α -球蛋白 (条) α -globulin (strip)	3	3	2	1	1	3
β -球蛋白 (条) β -globulin (strip)	4	2	3	4	1	1
γ -球蛋白 (条) γ -globulin (strip)	2	2	3	2	2	2
总计 (条) Total (strip)	15	14	15	13	10	12

(Li et al. 2008, 2012) 等, 这可能是因为外界刺激源的类型不同, 家麻雀和树麻雀经历捕获刺激, 本研究采用光照时间变化作为刺激源 (Pandey et al. 2015), 光刺激诱导的皮质酮变化较捕捉时间对鸟类的影响更大; 也可能是因为不同研究对象所表现出的物种差异 (Romero 2004)。

雄性灰文鸟受到 72 h 光刺激后, 长光照周期和短光照周期条件下的皮质酮含量显著减少。这可能是因为光刺激改变正常的活动规律和昼夜节律 (Dominoni et al. 2013)。雄性灰文鸟通过皮质酮含量的变化来对外界环境产生反应, 以适应新环境 (Russ et al. 2015)。

光刺激和光周期对雄性灰文鸟血清皮质酮含量的影响存在显著交互作用。光刺激对皮质酮含量的影响因光周期的不同而发生改变, 长光照和短光照周期条件下, 光刺激使皮质酮含量降低, 而中光周期条件下, 光刺激使皮质酮含量升高。中光照周期光刺激组灰文鸟的皮质酮含量显著高于对照组, 这是因为剧烈光刺激诱导血清皮质酮激素含量增加 (Sapolsky 1992), 与大多数鸟类暴露于光刺激下皮质酮激素含量升高的结果一致。例如, 大山雀 (*Parus major*, Ouyang et al. 2015) 和欧洲乌鸫 (Russ et al. 2015) 的血清皮质酮含量在光刺激条件下均显著增加。然而, 长光照周期光刺激组灰文鸟

的皮质酮激素浓度显著低于对照组, 这可能与光钝化现象有关, 在持续长光照下, 动物会产生光照不适应性 (Shettleworth et al. 1995), 因而, 突然暴露于剧烈的 72 h 光刺激后, 长光周期下雄性灰文鸟的下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴 (hypothalamic pituitary adrenal axis, HPA 轴) 负反馈作用迅速激活 (Evanson et al. 2010), 降低皮质酮激素浓度 (Munck et al. 1984), 减缓光刺激对灰文鸟的伤害, 使其快速适应突发的环境状况。短光照周期光刺激组灰文鸟的皮质酮激素浓度显著低于对照组, 可能因为短光周期更接近于冬季的光周期, 皮质酮激素浓度较高 (Wingfield et al. 1992)。突然暴露于剧烈的 72 h 光刺激后, 光刺激和持续高浓度的皮质酮激素对机体伤害较大, 为了减缓它们对灰文鸟的伤害 (Stier et al. 2009), 机体自发降低皮质酮激素浓度, 所以光刺激组灰文鸟皮质酮激素低于对照组。3 个光周期条件下的雄性灰文鸟受到 72 h 光刺激后, 它们的血清皮质酮激素含量变化方式不同, 可能与其应对外界刺激源的方式有关。

3.3 光周期和光刺激对雄性灰文鸟血清蛋白的影响

光周期可以影响大多数动物的生理过程 (Pavlidis et al. 1997) 和内分泌激素等, 同时还会使生理条件下的血清总蛋白发生改变

(Batavani et al. 2006)。3 个光周期条件下雄性灰文鸟受到 72 h 光刺激后, 各区血清蛋白的比例发生变化, 可能是因为光周期通过影响激素的分泌, 进而影响雄性灰文鸟各区血清蛋白的比例。

血清白蛋白(清蛋白)常作为反映机体健康状况的指示蛋白(文璐等 2012), 各光周期下白蛋白的条带数目相差不大, 以下两个原因可以解释这一结果: 第一, 3 个光周期下为雄性灰文鸟提供的食物和水完全相同, 光刺激与食物对 3 个光周期下雄性灰文鸟白蛋白的比例影响较小。第二, 光刺激对 3 个光周期下雄性灰文鸟的白蛋白产生影响, 但本研究中充足食物可获得性抵抗光刺激对身体健康产生的负面影响(Russ et al. 2015)。然而, 3 个光周期条件下雄性灰文鸟其他 3 区蛋白条带数发生了不同的变化。可能是因为 3 个光周期条件下雄性灰文鸟为了减少光刺激对自身的伤害, 选择性地改变了血清蛋白各区的组分, 因而 3 个光周期下雄性灰文鸟其他区的蛋白条带数变化方式不同。

本研究可以看出, 不同光周期适应后的雄性灰文鸟经历 72 h 光刺激后, 其血清皮质酮激素浓度及蛋白成分都存在差异, 造成这一现象可能是因为光周期显著影响雄性灰文鸟应对光刺激的生理应激反应方式。

参 考 文 献

- Aton S J, Block G D, Tei H, et al. 2004. Plasticity of circadian behavior and the suprachiasmatic nucleus following exposure to non-24-hour light cycles. *Journal of Biological Rhythms*, 19(3): 198–207.
- Batavani R A, Ansari M H, Asri S. 2006. Concentrations of serum total protein and protein fractions during diestrus and pregnancy in Makuui ewes. *Comparative Clinical Pathology*, 15(4): 227–230.
- Benstaali C, Mailloux A, Bogdan A, et al. 2001. Circadian rhythms of body temperature and motor activity in rodents: their relationships with the light-dark cycle. *Life Sciences*, 68(24): 2645–2656.
- Bonier F, Martin P R, Moore I T, et al. 2009a. Do baseline glucocorticoids predict fitness? *Trends in Ecology & Evolution*, 24(11): 634–642.
- Bonier F, Martin P R, Sheldon K S, et al. 2007. Sex-specific consequences of life in the city. *Behavioral Ecology*, 18(1): 121–129.
- Bonier F, Moore I T, Martin P R, et al. 2009b. The relationship between fitness and baseline glucocorticoids in a passerine bird. *General and Comparative Endocrinology*, 163(1): 208–213.
- Boonstra R. 2005. Equipped for life: the adaptive role of the stress axis in male mammals. *Journal of Mammalogy*, 86(2): 236–247.
- Bradley N L, Leopold A C, Ross J, et al. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(17): 9701–9704.
- Bradshaw W E, Holzapfel C M. 2007. Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1): 1–25.
- Chepesiuk R. 2009. Missing the dark: health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117(1): A20.
- Clarke J A. 1983. Moonlight's influence on predator/prey interactions between short-eared owls (*Asio flammeus*) and deer mice (*Peromyscus maniculatus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 13(3): 205–209.
- Coppack T, Pulido F. 2004. Photoperiodic response and the adaptability of avian life cycles to environmental change. *Advances in Ecological Research*, 35(2): 131–150.
- Dobrowolska A, Gromadzka-Ostrowska J. 1983. Influence of photoperiod on morphological parameters, androgen concentration, haematological indices and serum protein fractions in common vole (*Microtus arvalis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 74(2): 427–433.
- Dominoni D M, Helm B, Lehmann M, et al. 2013. Clocks for the city: circadian differences between forest and city songbirds. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280(1763): 20130593.
- Ebihara S, Kawamura H. 1981. The role of the pineal organ and the suprachiasmatic nucleus in the control of circadian locomotor

- rhythms in the Java sparrow, *Padda oryzivora*. *Journal of Comparative Physiology*, 141(2): 207–214.
- Ebling F J P, Goldsmith A R, Follett B K. 1982. Plasma prolactin and luteinizing hormone during photoperiodically induced testicular growth and regression in starlings (*Sturnus vulgaris*). *General and Comparative Endocrinology*, 48(4): 485–490.
- Evanson N K, Tasker J G, Hill M N, et al. 2010. Fast feedback inhibition of the HPA axis by glucocorticoids is mediated by endocannabinoid signaling. *Endocrinology*, 151(10): 4811–4819.
- Follett B K, Farner D S, Mattocks P W. 1975. Luteinizing hormone in the plasma of white-crowned sparrows (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) during artificial photostimulation. *General and Comparative Endocrinology*, 26(1): 126–134.
- Gill J, Jakubów K, Kompanowska-Jezińska E, et al. 1985. Seasonal changes in blood serum protein fractions and in activity of AspAT and AlAT in Arabian brood mares and their foals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 82(1): 167–178.
- Goldman B D. 2001. Mammalian photoperiodic system: formal properties and neuroendocrine mechanisms of photoperiodic time measurement. *Journal of Biological Rhythms*, 16(4): 283–301.
- Houben T, Deboer T, van Oosterhout F, et al. 2009. Correlation with behavioral activity and rest implies circadian regulation by SCN neuronal activity levels. *Journal of Biological Rhythms*, 24(6): 477–487.
- Islam K. 1997. Java Sparrow (*Padda oryzivora*). *The Birds of North America*, 304: 1–12.
- Kalsbeek A, Foppen E, Schali J, et al. 2008. Circadian control of the daily plasma glucose rhythm: an interplay of GABA and glutamate. *PLoS One*, 3(9): e3194.
- Koren L, Whiteside D, Fahlman A, et al. 2012. Cortisol and corticosterone independence in cortisol-dominant wildlife. *General and Comparative Endocrinology*, 177(1): 113–119.
- LaFreniere P, MacDonald K. 2013. A post-genomic view of behavioral development and adaptation to the environment. *Developmental Review*, 33(2): 89–109.
- Li D, Wang G, Wingfield J C, et al. 2008. Seasonal changes in adrenocortical responses to acute stress in Eurasian tree sparrow (*Passer montanus*) on the Tibetan Plateau: comparison with house sparrow (*P. domesticus*) in North America and with the migratory *P. domesticus* in Qinghai Province. *General and Comparative Endocrinology*, 158(1): 47–53.
- Li D, Zhang X, Li Y, et al. 2012. Stress responses of testosterone and corticosterone-binding globulin in a multi-brooded species, Eurasian Tree Sparrows (*Passer montanus*): Does CBG function as a mediator? *Hormones and Behavior*, 61(4): 582–589.
- Maitra S K, Dey M, Dutta S, et al. 2000. Influences of graded dose of melatonin on the levels of blood glucose and adrenal catecholamines in male roseringed parakeets (*Psittacula krameri*) under different photoperiods. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 108(5): 444–450.
- Miller M W. 2006. Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. *The Condor*, 108(1): 130–139.
- Munck A, Guyre P M, Holbrook N J. 1984. Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. *Endocrine Reviews*, 5(1): 25–44.
- Ouyang J Q, de Jong M, Hau M, et al. 2015. Stressful colours: corticosterone concentrations in a free-living songbird vary with the spectral composition of experimental illumination. *Biology Letters*, 11(8): 20150517.
- Pandey E, Khanam S, Srivastava A. 2015. Impact on Behaviour and Serum Proteins of *Coturnix coromandelica* Induced due to Acute Photoperiodic Stress. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 3(3): 241–248.
- Pavlidis M, Berry M, Divanach P, et al. 1997. Diel pattern of haematocrit, serum metabolites, osmotic pressure, electrolytes and thyroid hormones in sea bass and sea bream. *Aquaculture International*, 5(3): 237–247.
- Reparaz L B, van Oers K, Naguib M, et al. 2014. Mate preference of female blue tits varies with experimental photoperiod. *PLoS One*, 9(3): e92527.
- Rich E, Romero L. 2001. Daily and photoperiod variations of basal and stress-induced corticosterone concentrations in house sparrows (*Passer domesticus*). *Journal of Comparative Physiology B*, 171(7): 543–547.
- Romero L M. 2004. Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(5):

- 249–255.
- Russ A, Rüger A, Klenke R. 2015. Seize the night: European Blackbirds (*Turdus merula*) extend their foraging activity under artificial illumination. *Journal of Ornithology*, 156(1): 123–131.
- Sapolsky R M. 1992. *Neuroendocrinology of the stress-response*. Cambridge: MIT Press, 2273–2278.
- Shettleworth S J, Hampton R R, Westwood R P. 1995. Effects of season and photoperiod on food storing by black-capped chickadees, *Parus atricapillus*. *Animal Behaviour*, 49(4): 989–998.
- Stier K S, Almasi B, Gasparini J, et al. 2009. Effects of corticosterone on innate and humoral immune functions and oxidative stress in barn owl nestlings. *Journal of Experimental Biology*, 212(13): 2085–2091.
- Wang G, Harpole C E, Paulose J, et al. 2014. The role of the pineal gland in the photoperiodic control of bird song frequency and repertoire in the house sparrow, *Passer domesticus*. *Hormones and Behavior*, 65(4): 372–379.
- Wang G, Ramenofsky M, Wingfield J C. 2013. Apparent dissociation of photoperiodic time measurement between vernal migration and breeding under dim green light conditions in Gambel's white-crowned sparrow *Zonotrichia leucophrys gambelii*. *Current Zoology*, 59(3): 349–359.
- Wingfield J C, Vleck C M, Moore M C. 1992. Seasonal changes of the adrenocortical response to stress in birds of the Sonoran Desert. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*, 264(4): 419–428.
- Wingfield J, Ramenofsky M. 1999. *Hormones and the behavioral ecology of stress*. Sheffield: Sheffield Press, 1–51.
- 王宗仁, 刘伟华, 叶恩琦, 等. 1991. 五种啮齿类动物核型和血清蛋白质的 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳分析. *兽类学报*, 11(4): 306–309.
- 文璐, 孙圣华. 2012. 肺炎患者血清清蛋白浓度检测的临床意义. *现代医药卫生*, 28(4): 585–586.
- 闫佳续, 金建丽, 杨春文, 等. 2015. 普通鸚雌雄个体血清蛋白比较分析. *西南农业学报*, 28(1): 444–446.
- 杨晓君, 杨岚. 1998. 笼养大紫胸鸚鹅的活动时间分配. *动物学报*, 44(3): 277–285.
- 张宪德, 徐婷婷, 赵婷婷, 等. 2016. 配偶选择中“听众效应”及鸣唱对雌性灰文鸟行为的影响. *生态学报*, 36(16): 5247–5255.