

不同光照时长对 NIH 小鼠体重和学习记忆能力的影响

张楠, 李怀银, 连晓娣, 魏娟鹏, 高明

(兰州生物制品研究所有限责任公司, 兰州 730046)

[摘要] **目的** 研究不同光照时长对发育期 NIH 小鼠体重和学习记忆能力的影响。**方法** 实验选取体重相近的发育期 NIH 小鼠 40 只, 雌雄各半。小鼠经每天 12 h 光照时长适应性饲养 1 周后, 被随机分为每天 0、6、12、18、24 h 光照时长组, 每组 8 只, 实验周期为 7 周, 其中前 5 周为不同光照时长条件下的饲养阶段, 后 2 周为行为学实验阶段。通过体重监测以及 T 型迷宫、新位置识别和八臂迷宫等行为学实验, 分析光照时长对小鼠体重和学习记忆能力的影响。**结果** 在光照处理期间, 各组小鼠间的体重变化无显著差异 ($P > 0.05$); 在光照处理第 2 周和第 3 周, 每天 24 h 光照时长组小鼠的体重增长量显著高于每天 0 h 和 6 h 光照时长组 ($P < 0.05$)。在光照处理 5 周后, T 型迷宫实验中, 每天 0 h 光照时长组小鼠的潜伏期时间极显著长于每天 12 h 光照时长组 ($P < 0.01$); 每天 24 h 光照时长组小鼠的潜伏期时间显著长于每天 12 h 光照时长组 ($P < 0.05$)。新位置识别实验中, 每天 12 h 光照时长组小鼠的辨别指数和新位置观察时间均长于其他组, 且与每天 18 h 光照时长组差异极显著 ($P < 0.01$), 与每天 24 h 光照时长组差异显著 ($P < 0.05$); 八臂迷宫实验中, 每天 12 h 光照时长组小鼠找到饲料的时间、参考记忆错误比率和工作记忆错误比率均短于每天 0 h 光照时长组, 且差异显著 ($P < 0.05$); 而每天 24 h 光照时长组小鼠的工作记忆错误比率高于每天 12 h 光照时长组, 且差异显著 ($P < 0.05$)。**结论** 每天 24 h 光照会影响 NIH 小鼠的体重增长, 而每天光照时长超过 18 h 或低于 6 h 会减弱 NIH 小鼠的学习记忆能力。

[关键词] NIH 小鼠; 光照时长; 体重; 学习记忆能力

[中图分类号] Q95-33; R-332 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2025)01-0073-06



Effects of Different Durations of Light Exposure on Body Weight and Learning and Memory Abilities of NIH Mice

ZHANG Nan, LI Huaiyin, LIAN Xiaodi, WEI Juanpeng, GAO Ming

(Lanzhou Institute of Biological Products Co., Ltd., Lanzhou 730046, China)

Correspondence to: GAO Ming (ORCID: 0009-0003-2618-6587), E-mail: gaominglss@163.com

[ABSTRACT] **Objective** This study aims to investigate the effects of varying durations of light exposure on body weight and learning and memory abilities of pubertal NIH mice. **Methods** Forty pubertal NIH mice, evenly split by gender and with similar initial weights, were subjected to a 12 h light-dark cycle for one week. They were then randomly assigned to groups with daily light exposure durations of 0, 6, 12, 18, and 24 hours, with 8 mice in each group. The experimental period lasted for 7 weeks, with the first 5 weeks as the feeding phase under different light exposure conditions, and the last 2 weeks as the behavioral testing phase. Their body weight was monitored, and learning and memory abilities were assessed using the T-maze, object location test, and eight-arm maze tests. **Results** During the light exposure period, there were no significant differences in body weight among groups ($P > 0.05$). However, the weight gain of mice in the 24 h group was significantly higher than that of the 0 h group and the 6 h group during the second and third weeks of light exposure ($P < 0.05$). After five weeks of light exposure, in the T-maze test, the latency time of the 0 h light exposure group was significantly longer than that of the 12 h group ($P < 0.01$), and the latency time of the 24 h light exposure group was significantly longer than that of the 12 h group ($P < 0.05$). In the object location test, the mice in 12 h group exhibited a higher discrimination index and spent more time observing the new

[第一作者] 张楠 (1996—), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为实验动物学。E-mail: 1765062156@qq.com。ORCID: 0009-0009-0481-956X

[通信作者] 高明 (1992—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为实验动物学。E-mail: gaominglss@163.com。ORCID: 0009-0003-2618-6587

location compared to the other groups, with significant differences in comparison to the 18 h group ($P<0.01$) and the 24 h group ($P<0.05$). In the eight-arm maze test, the time to find food, the reference memory error rate, and the working memory error rate in the 12 h group were all lower than those in the 0 h group, with significant differences ($P<0.05$). Moreover, the working memory error rate in the 24 h group was higher than that in the 12 h group, with significant differences ($P<0.05$). **Conclusion** Continuous 24 h light exposure affects body weight gain, while light exposure durations exceeding 18 h or below 6 h per day weaken the learning and memory abilities of NIH mice.

[Key words] NIH mice; Light exposure duration; Body weight; Learning and memory abilities

对动物而言, 环境光是使生物钟与外部时间同步的关键信号, 不仅支持着小鼠对周围环境的认知及活动, 也对动物体内激素平衡、神经反应、昼夜节律及繁殖等调节具有重要影响^[1-5]。研究发现, 光照变化可以引起动物肥胖和代谢异常^[6], 产生抑郁样行为^[7], 剥夺动物的学习记忆能力^[8]。强光照刺激会使动物脑组织内发生应激和氧化损伤, 诱发认知障碍^[9], 同时会引起哺乳动物生理性紊乱和视网膜损伤, 并导致学习记忆障碍^[10]; 因此, 与正常动物相比, 强光照刺激的动物会产生行为上的变化, 从而影响一些以行为学评价为评估方法的疾病诊断和实验结果。很多关于光照对小鼠影响的研究^[11-13]选取的小鼠不在小鼠发育的关键阶段, 错过了对外界环境的敏感时期, 且光照实验时间较短, 未能更好地观察到其对小鼠产生的影响。所以, 本实验选择发育期的小鼠作为研究对象, 在离乳后至个体成熟的整个阶段进行不同时长光照处理。考虑到小鼠在部分行为学实验中可能因为需要训练而产生压力情绪, 或因为小鼠自身运动障碍对行为学检测结果产生影响, 本实验采用依靠动物自身的探索天性、无训练压力影响的T型迷宫实验和新位置识别实验, 结合八臂迷宫实验来综合分析小鼠的学习记忆能力, 排除了动物自身机能障碍对观察指标产生的影响。本研究为提高NIH小鼠在光照时长方面的动物福利, 降低NIH小鼠自身对未来动物实验结果评估的影响提供了参考。

1 材料与方法

1.1 实验动物

3周龄体重相近的SPF级NIH小鼠40只, 雌雄各半, 均来源于兰州生物制品研究所有限责任公司实验动物室[SCXK(甘)2023-0001], 并饲养于屏障设施中[SYXK(甘)2023-0001]。

1.2 试剂与仪器

分析纯无水乙醇购自国药集团化学试剂有限公司(批号20230208)。T型迷宫、新位置识别探索箱和八

臂迷宫均由本实验室自制, 用料为单层纸板箱, 其内部表面粘有黑色塑料膜。T型迷宫和八臂迷宫跑道的长、宽、臂高均为30 cm×10 cm×30 cm; 新位置识别探索箱是长、宽、高均为40 cm的正方体箱。电子秤购自上海友声衡器有限公司(型号BS-3000L)。

1.3 实验分组

选取体重相近的3周龄SPF级NIH小鼠40只, 随机分为5组, 每组8只, 雌雄各半分笼(即每笼4只)进行预饲养。大鼠、小鼠维持饲料购自北京科澳协力饲料有限公司, 满足动物营养需求。不同组的小鼠饲养在屏障系统同一区域的不同房间(此区域为其他区域维保时待用区, 实验进行时为闲置状态), 环境条件: 室温(23±2)℃, 相对湿度维持在(60±5)%, 动物笼盒长、宽、高为26 cm×15 cm×12 cm, 聚丙烯PP塑料盒, 锯末垫料。LED白光灯置于饲养盒上方30 cm处, 光照强度为300 lx, 光照时长为12 h, 小鼠在此条件下适应7 d。于小鼠4周龄时, 将5组的光照时长分别设置为每天0 h(光照剥夺)、6 h、12 h(对照组)、18 h和24 h(持续光照)。实验期间, 小鼠共饲养7周, 其中前5周为不同光照时长条件下的饲养阶段, 除每周不超出0.5 h的称量动物体重、添加饲料和饮水、更换饲养盒等工作在工作照度下进行外, 其余时间小鼠均处于实验设置的光照环境中; 后2周为行为学实验阶段, 八臂迷宫实验需要对小鼠限饲, 需在最后进行, 防止对其他行为学实验有影响。除行为学实验前训练时间和行为学实验时间在工作照度下进行外, 其余时间小鼠同样均处于实验设置的光照环境中。实验结束后, 各组小鼠均采用二氧化碳吸入法致死。本实验方案已通过兰州生物制品研究所有限责任公司实验动物管理和使用委员会福利伦理审批(审批编号: IACUC-LIBP-202402004)。

1.4 小鼠体重的测定

预饲养结束后称量小鼠体重。光照实验开始后, 每周记录1次各组小鼠的体重, 持续记录5周以进行统计分析。

1.5 T型迷宫实验

光照处理5周后,进行T型迷宫实验。实验开始前5 d,每天抓取、轻抚动物,使动物熟悉实验人员。实验开始时,将动物限制在T型迷宫的主干臂上10 s。解除限制,当动物自由选择一个目标臂(以尾尖进入目标臂为标准),将动物限制在目标臂上30 s,然后将动物放回主干臂。限制其在主干臂内10 s再进行下一轮实验;若动物60 s内没有进入任何臂,则记录实验失败,开始进行下一轮实验,每只动物共循环进行5次实验。用摄像装置记录动物连续进入不同臂的次数,这些次数为交替数,基于交替数来计算交替百分比,以评价动物的空间记忆能力,交替百分比越高则空间记忆能力越强,交替百分比 $(\%) = (\text{交替数}/5) \times 100$,以及选择的潜伏期(动物从主干臂解除限制后到进入一个目标臂之间的时间),来评价动物的运动能力和对环境探索的积极性,动物的积极性与运动能力越强则潜伏期越短,反之潜伏期越长。每只动物实验结束后用75%的乙醇溶液擦拭迷宫,待干燥后进行下一只动物实验。完成一个实验的上限时间为2 min,若动物超时,将其从迷宫中移出,放回饲养笼,这次实验视为无效,至少30 min后再次进行测试。

1.6 新位置识别实验

T迷宫实验结束1 d后进行新位置识别实验,将动物放入没有物体的实验箱中,适应3 d,每只每天10 min。3 d后在实验箱中放入两个完全相同的物体。打开摄像装置,将动物背向物体放入,进行5 min的识别活动,活动结束后用75%乙醇溶液对实验箱和物体进行擦拭。2 h后开始测试实验,将两物体中的一个移到新的位置。再次将动物背向物体放入并计时5 min,记录动物对两物体的识别时间;实验结束后,用75%乙醇溶液对实验箱和物体进行擦拭。识别行为为动物鼻子朝向物体,且鼻尖距离该物体2 cm以内。辨别指数 $= (\text{新位置物体的识别时间} - \text{旧位置物体的识别时间}) / \text{识别总时长}$,辨别指数和新位置观察时间越长,则表示动物对新位置物体的兴趣更大,具有更好的空间记忆能力。

1.7 八臂迷宫实验

新位置识别实验结束1 d后,对各组小鼠进行限饲,每天每只仅给予正常饲料2~3粒,直至八臂迷宫实验结束。实验期间每天称量各组小鼠体重,保证每只小鼠体重不低于限饲前体重的85%。第2天,在八臂与中央区撒几粒饲料,每次将4只小鼠一起放入中央区,自由进食、探索10 min;第3天,重复第2天的

内容;第4天,每次放入1只动物,每个臂的外端放1粒饲料,小鼠自由摄食,饲料吃完或者10 min结束停止实验;第5天,重复第4天的内容;第6天摄像记录,随机选择4个臂外端放1粒饲料,将动物限制在迷宫中央30 s,然后让动物自由探索,直到动物将饲料吃完或10 min仍没吃完饲料,终止实验,每只动物进行5次重复实验,其间间隔1.5 h。动物去除气味方法同上。测试指标:工作记忆错误比率,即动物再次进入已经吃过饲料的臂中的次数/总入臂次数;参考记忆错误比率,即动物进入不曾放过饲料的臂中的次数/总入臂次数;找到饲料的时间,即臂门打开后至第一次找到饲料的时间,用工作记忆错误比率和参考记忆错误比率来评价动物的学习记忆能力,比率越高说明对记忆削弱的影响力越大,用找到饲料的时间来评价动物的运动活性,时间越短则运动活性越强。

1.8 数据分析

采用SPSS 26.0软件对实验结果进行统计分析,结果数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示。各组数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA);当多组间有差异时,采用LSD多重比较方法进行两两比较分析。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

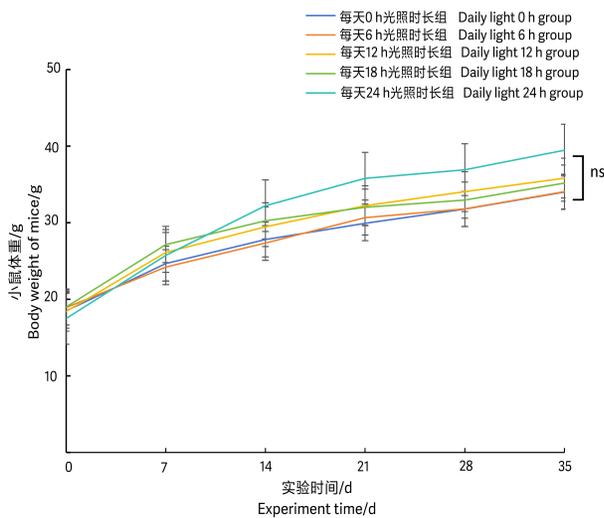
2.1 光照时长对小鼠体重变化的影响

由图1可知,5组小鼠在光照处理各阶段的体重无显著差异($P > 0.05$)。比较光照处理各阶段的体重可知,光照处理1周后,每天6 h光照时长组小鼠体重增长量均小于其他组,且与每天12 h和18 h光照时长组小鼠相比差异显著($P < 0.05$),与每天24 h光照时长组小鼠相比差异极显著($P < 0.01$);光照处理2周后,每天24 h光照时长组小鼠体重增长量均大于每天0 h和6 h光照时长组,且与每天0 h光照时长组小鼠相比差异显著($P < 0.05$),与每天6 h光照时长组小鼠相比差异极显著($P < 0.01$);光照处理3周后,每天24 h光照时长组小鼠体重增长量均大于每天0 h和6 h光照时长组,且差异显著($P < 0.05$);光照处理4周后,每天24 h光照时长组小鼠体重增长量大于每天6 h光照时长组,且差异显著($P < 0.05$);光照处理5周后,各组小鼠体重增长量基本趋于一致($P > 0.05$)。

2.2 光照时长对小鼠学习记忆能力的影响

2.2.1 T型迷宫实验结果

由表1可知,5组小鼠T型迷宫实验的潜伏期差异具有统计学意义:每天0 h光照时长组小鼠的潜伏期极



注: ns, 差异无统计学意义; 每组小鼠各8只。

Note: ns, differences were not statistically significant; There are 8 mice in each group.

图1 不同组别小鼠的体重变化

Figure 1 Changes in the body weight of mice in different groups

显著长于每天12 h光照时长组 ($P < 0.01$); 每天24 h光照时长组小鼠的潜伏期显著长于每天12 h光照时长组 ($P < 0.05$)。对于T型迷宫实验的交替百分比, 5组小鼠间的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但是每天12 h光照时长组的交替百分比在所有组别中最高。

2.2.2 新位置识别实验结果

由表2可知, 5组小鼠新位置识别实验的辨别指数差异具有统计学意义: 与每天24 h光照时长组相比,

表1 5周光照实验后第1周光照时长对NIH小鼠T型迷宫实验结果的影响

Table 1 Effects of light exposure duration in the first week after a 5-week light experiment on the results of T-maze test in NIH mice

组别(每天光照时长)	潜伏期/s	交替百分比/%
Groups (daily light duration)	Incubation period/s	Alternation percentage/%
0 h	26.50±5.42**	0.53±0.18
6 h	18.86±3.60	0.48±0.26
12 h	17.86±3.44	0.60±0.24
18 h	17.00±5.18	0.42±0.20
24 h	22.75±4.43*	0.50±0.28

注: 以每天12 h光照时长组为对照组, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 每组 $n=8$ 。
Note: The daily 12 h light exposure group was used as the control group, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, $n=8$.

每天12 h光照时长组小鼠的辨别指数显著更高 ($P < 0.05$); 与每天18 h光照时长组相比, 每天12 h光照时长组小鼠的辨别指数极显著更高 ($P < 0.01$)。小鼠新位置识别实验的新位置观察时间具有统计学意义 ($P < 0.05$): 与每天24 h光照时长组相比, 每天12 h光照时长组小鼠的新位置观察时间显著更长 ($P < 0.05$); 与每天18 h光照时长组相比, 每天12 h光照时长组小鼠的新位置观察时间极显著更长 ($P < 0.01$)。

表2 5周光照实验后第1周光照时长对NIH小鼠新位置识别实验结果的影响

Table 2 Effects of light exposure duration in the first week after a 5-week light experiment on the results of new location observation test in NIH mice

组别(每天光照时长)	辨别指数	新位置观察时间/s
Groups (daily light duration)	Discrimination index	Exploration time/s
0 h	0.17±0.09	59.14±15.01
6 h	0.34±0.23	67.15±11.40
12 h	0.38±0.24	69.10±11.77
18 h	-0.30±0.34**	48.53±16.88**
24 h	0.06±0.27*	52.75±13.22*

注: 以每天12 h光照时长组为对照组, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 每组 $n=8$ 。
Note: The daily 12 h light exposure group was used as the control group, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, $n=8$.

2.2.3 八臂迷宫实验结果

由表3可知, 5组小鼠八臂迷宫实验找到饲料的时间差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 与每天12 h光照时长组相比, 每天0 h光照时长组小鼠找到饲料的时间显著更长 ($P < 0.05$); 5组小鼠八臂迷宫实验参考记忆错误比率差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 与每天12 h光照时长组相比, 每天0 h光照时长组小鼠的参考记忆错误比率显著更高 ($P < 0.05$); 5组小鼠八臂迷宫实验工作记忆错误比率差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 与每天12 h光照时长组相比, 每天0 h和24 h光照时长组小鼠的工作记忆错误比率显著更高 ($P < 0.05$)。

3 讨论

本次实验发现, 在不同的光照条件下小鼠的体重均有增加, 其中经过每天24 h持续光照处理的小鼠, 其体重及平均体重增长速度均比其他组高, 这与余丽芝等^[14]的研究结论相一致。但并不是光照时长越长就越有利于动物的生长。昼夜节律系统使动物在特定

表3 5周光照实验后第2周光照时长对NIH小鼠八臂迷宫实验结果的影响

Table 3 Effects of light exposure duration in the second week after the 5-week light experiment on the results of eight-arm maze test in NIH mice

组别(每天光照时长) Groups (daily light duration)	找到饲料的时间/s Time to find food/s	参考记忆错误比率/% Reference memory error rate/%	工作记忆错误比率/% Working memory error rate/%
0 h	18.50±10.41*	29.13±8.63*	31.63±6.41*
6 h	7.13±4.94	19.00±9.26	19.71±8.01
12 h	10.75±8.63	18.13±7.61	16.38±8.16
18 h	7.63±3.34	18.63±5.76	18.88±8.29
24 h	11.75±6.71	25.50±9.12	28.63±6.21*

($\bar{x}\pm s$)注:以每天12 h光照时长组为对照组,* $P < 0.05$,每组 $n=8$ 。Note: The daily 12 h light exposure group was used as the control group, * $P < 0.05$, $n=8$.

的时间进食,昼夜节律失调使动物在低摄食阶段进食,这会严重影响其健康^[15]。例如在光照期(夜行啮齿动物休息期)喂食的小鼠容易患糖尿病、代谢综合征和肥胖^[16]。在谭吉凤等^[17]的研究中发现,每天12 h光照环境下生活的小鼠体重增加量低于每天24 h光照环境下生活的小鼠,这与本实验的结果相似。由此可以推测:动物体重受一定光照时长的影响,在研究饮食等以体重增长为考量因素的实验时应考虑光照因素,建议动物暴露在光照环境下的时长宜在每天18 h以内。

有研究表明,持续黑暗和持续光照均会使小鼠产生昼夜节律紊乱和心律失常^[18-19]。夜间活动的啮齿动物在黑暗阶段暴露于光线下会增加其抑郁样和焦虑样行为发生的概率^[20]。长期强光照会使动物情绪变得消极,休息行为增加^[21]。在T型迷宫实验中,与每天12 h光照时长组相比,每天0 h光照时长组小鼠的潜伏期极显著更长($P < 0.01$);与每天12 h光照时长组相比,每天24 h光照时长组小鼠的潜伏期显著更长($P < 0.05$)。在八臂迷宫实验中,与每天12 h光照时长组相比,每天0 h光照时长组小鼠找到食物的时间均显著更长($P < 0.05$)。推测在完全黑暗或完全光照环境下生活的小鼠会产生消极或抑郁情绪,最终导致取食行为减少。

在T型迷宫实验中,各光照时长组间的交替百分比无统计学意义($P > 0.05$)。在新位置识别实验中,接近每天12 h光照时长组的小鼠,其辨别指数最高和新位置观察时间最长;且每天18 h、24 h光照时长组小鼠的辨别指数最低。这说明每天光照时长接近12 h时,动物的学习记忆能力可能达到最佳状态;每天光照时长大于18 h时,光照时长越长,对小鼠学习记忆能力的负面影响越大。八臂迷宫实验也得出相似的结果:每天光照时长在12 h左右时,参考记忆和工作记

忆错误比率最低,这与张昊康等^[11]、Huang等^[22]的研究结果相同。值得注意的是,谢雯等^[12]的研究结果表明,光照实验周期为一周,对于小鼠的学习记忆没有影响。可能是因为研究因素上的差异,谢雯等研究的处理条件为光照强度,而本实验为光照时长。此外,本实验光照处理的时间为35 d,比谢雯等研究的处理时间更长。本研究结果显示,光照时间对NIH小鼠辨别指数和新位置识别实验结果有一定影响,如在研究中未考虑光照因素,会影响实验结果的可靠性和准确性。

综合分析体重和3种行为学检测结果可知,每天光照时长为12 h时更适宜NIH小鼠健康生长,且该条件下其学习记忆能力最佳。

【医学伦理声明 Medical Ethics Statement】

本研究所涉及的所有动物实验均已通过兰州生物制品研究所有限责任公司实验动物管理和使用委员会审核批准(批准号:IACUC-LIBP-202402004)。所有实验过程均遵照中国实验动物相关法律法规条例要求进行。

All animal experiments involved in this study have been reviewed and approved by the Laboratory Animal Management and Use Committee of Lanzhou Institute of Biological Products Co., Ltd. (Approval number: IACUC-LIBP-202402004). All experiments were carried out in accordance with the relevant laws and regulations of laboratory animals in China.

【作者贡献 Author Contribution】

张楠负责动物实验、数据分析及撰写论文;
李怀银参与动物实验和查阅文献;
连晓娣参与动物实验和记录数据;
魏娟鹏参与实验动物饲养管理和动物实验;
高明负责审核实验方案、修改论文和定稿。

【利益声明 Declaration of Interest】

所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献 References]

- [1] HANIFIN J P, DAUCHY R T, BLASK D E, et al. Relevance of electrical light on circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral regulation in laboratory animal facilities[J]. *ILAR J*, 2020, 60(2):150-158. DOI: 10.1093/ilar/ilaa010.
- [2] ZHANG Z, BEIER C, WEIL T, et al. The retinal ipRGC-preoptic circuit mediates the acute effect of light on sleep[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1):5115. DOI: 10.1038/s41467-021-25378-w.
- [3] 刘贵珍, 柴艺汇, 王庆学, 等. 光照时长及昼夜饮食节律对大鼠糖脂代谢及单胺类神经递质的影响[J]. *中兽医学杂志*, 2023(11):4-6. DOI: 10.19656/j.cnki.1002-2406.180039.
- LIU G Z, CHAI Y H, WANG Q X, et al. Effects of light duration and circadian diet rhythm on glucose and lipid metabolism and monoamine neurotransmitters in rats[J]. *Chin J Tradit Vet Sci*, 2023(11):4-6. DOI: 10.19656/j.cnki.1002-2406.180039.
- [4] CAIN S W, MCGLASHAN E M, VIDAFAR P, et al. Evening home lighting adversely impacts the circadian system and sleep[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):19110. DOI: 10.1038/s41598-020-75622-4.
- [5] JONG M D, LAMERS K P, EUGSTER M, et al. Effects of experimental light at night on extra-pair paternity in a songbird[J]. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol*, 2018, 329(8-9):441-448. DOI: 10.1002/jez.2193.
- [6] WYSE C A, SELMAN C, PAGE M M, et al. Circadian desynchrony and metabolic dysfunction; did light pollution make us fat? [J]. *Med Hypotheses*, 2011, 77(6):1139-1144. DOI: 10.1016/j.mehy.2011.09.023.
- [7] AN K, ZHAO H, MIAO Y, et al. A circadian rhythm-gated subcortical pathway for nighttime-light-induced depressive-like behaviors in mice[J]. *Nat Neurosci*, 2020, 23(7):869-880. DOI: 10.1038/s41593-020-0640-8.
- [8] 陈洪丽, 高静静, 姜忠迪, 等. 光疗对睡眠剥夺小鼠学习记忆以及BDNF-TrkB信号通路的影响[J]. *中国激光*, 2022, 49(5):0507401. DOI: 10.3788/CJL202249.0507401.
- CHEN H L, GAO J J, JIANG Z D, et al. Effects of phototherapy on learning memory and BDNF-TrkB signaling pathway in sleep-deprived mice[J]. *Chin J Lasers*, 2022, 49(5):0507401. DOI: 10.3788/CJL202249.0507401.
- [9] 彭鸿碧, 贾婷, 朱万龙, 等. 交通噪音对中缅树鼩行为、学习记忆和氧化应激的影响[J]. *兽类学报*, 2021, 41(2):164-172. DOI: 10.16829/j.slxb.150479.
- PENG H B, JIA T, ZHU W L, et al. Effects of traffic noise on behavior, learning and memory and oxidative stress in *Tupaia belangeri*[J]. *Acta Theriol Sin*, 2021, 41(2):164-172. DOI: 10.16829/j.slxb.150479.
- [10] 彭鸿碧, 贾婷, 王政昆, 等. 光照对哺乳动物学习和记忆的影响及其机制研究进展[J]. *野生动物学报*, 2022, 43(2):557-561. DOI: 10.12375/ysdwxb.20220238.
- PENG H B, JIA T, WANG Z K, et al. Research advance on the effects of light on learning and memory in mammalian and their mechanisms[J]. *Chin J Wildl*, 2022, 43(2):557-561. DOI: 10.12375/ysdwxb.20220238.
- [11] 张昊康, 范腾飞, 刘鹏, 等. 光照时长对小鼠情绪及认知活动的影响[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2016, 25(8):673-676. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-6554.2016.08.001.
- ZHANG H K, FAN T F, LIU P, et al. Effect of illumination time on emotion and cognitive activities in mice[J]. *Chin J Behav Med Brain Sci*, 2016, 25(8):673-676. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-6554.2016.08.001.
- [12] 谢雯, 孟凯, 王兴会, 等. 光照对发育期小鼠体重和学习记忆的影响[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2010, 31(5):536-538, 569. DOI: CNKI:SUN:XAYX.0.2010-05-005.
- XIE W, MENG K, WANG X H, et al. Effects of light on body weight, learning and memory of growing mice[J]. *J Xi'an Jiaotong Univ Med Sci*, 2010, 31(5):536-538, 569. DOI: CNKI:SUN:XAYX.0.2010-05-005.
- [13] 田晓康, 仲蕊, 钱冰, 等. 光照强度和光照时间对性未成熟小鼠雌二醇的影响[J]. *中国儿童保健杂志*, 2015, 23(2):150-152. DOI: 10.11852/zgetbjzz2015-23-02-12.
- TIAN X K, ZHONG R, QIAN B, et al. Effect of illumination intensity and time on estradiol of immature mouse[J]. *Chin J Child Health Care*, 2015, 23(2):150-152. DOI: 10.11852/zgetbjzz2015-23-02-12.
- [14] 余灵芝, 罗嘉惠, 张华, 等. 持续光照对大鼠血糖和体重的影响[J]. *中外医学研究*, 2018, 16(12):15-16. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2018.12.006.
- SHE L Z, LUO J H, ZHANG H, et al. Effects of continuous light on blood glucose and body weight in rats[J]. *Chin Foreign Med Res*, 2018, 16(12):15-16. DOI: 10.14033/j.cnki.cfmr.2018.12.006.
- [15] ULGHERAIT M, MIDOUN A M, PARK S J, et al. Circadian autophagy drives iTRF-mediated longevity[J]. *Nature*, 2021, 598(7880):353-358. DOI: 10.1038/s41586-021-03934-0.
- [16] POTTER G D M, CADE J E, GRANT P J, et al. Nutrition and the circadian system[J]. *Br J Nutr*, 2016, 116(3):434-442. DOI: 10.1017/S0007114516002117.
- [17] 谭吉凤, 肖轶卉, 王果, 等. 高脂饮食联合光照周期改变对不同性别小鼠体重的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2022, 22(10):1817-1820, 1855. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2022.10.004.
- TAN J F, XIAO Y H, WANG G, et al. Effects of eight fat diet combined with light cycle change on body weight of mice with different sex[J]. *Prog Mod Biomed*, 2022, 22(10):1817-1820, 1855. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2022.10.004.
- [18] KETELAURI P, SCHAROV K, VON GALL C, et al. Acute circadian disruption due to constant light promotes caspase 1 activation in the mouse hippocampus[J]. *Cells*, 2023, 12(14):1836. DOI: 10.3390/cells12141836.
- [19] ROTINEN M. "defining the independence of the liver circadian clock" & "BMAL1-driven tissue clocks respond independently to light to maintain homeostasis"[J]. *Front Neurosci*, 2020, 14:107. DOI: 10.3389/fnins.2020.00107.
- [20] BEDROSIAN T A, WEIL Z M, NELSON R J. Chronic dim light at night provokes reversible depression-like phenotype: possible role for TNF[J]. *Mol Psychiatry*, 2013, 18(8):930-936. DOI: 10.1038/mp.2012.96.
- [21] FERNANDEZ D C, FOGERSON P M, LAZZERINI OSPRI L, et al. Light affects mood and learning through distinct retina-brain pathways[J]. *Cell*, 2018, 175(1):71-84. e18. DOI: 10.1016/j.cell.2018.08.004.
- [22] HUANG X D, HUANG P C, HUANG L, et al. A visual circuit related to the nucleus reuniens for the spatial-memory-promoting effects of light treatment[J]. *Neuron*, 2021, 109(2):347-362.e7. DOI: 10.1016/j.neuron.2020.10.023.

(收稿日期: 2024-04-26 修回日期: 2024-08-11)

(本文责任编辑: 丁宇菁)

[引用本文]

张楠, 李怀银, 连晓娣, 等. 不同光照时长对 NIH 小鼠体重和学习记忆能力的影响[J]. *实验动物与比较医学*, 2025, 45(1): 73-78. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.062.

ZHANG N, LI H Y, LIAN X D, et al. Effects of different durations of light exposure on body weight and learning and memory abilities of NIH mice[J]. *Lab Anim Comp Med*, 2025, 45(1): 73-78. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.062.