DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2025331

· 学习生活环境与学生健康专栏 ·

负性情绪在室外夜间灯光暴露与中小学生睡眠质量关系间的作用

朱文迪[1],汤佳雯[1],张锡彦[1,2],王欣[2],杨文漪[2],杜伟[3],杨婕[1,2]

1.南京医科大学公共卫生学院,江苏 211166;2.江苏省疾病预防控制中心儿童青少年健康促进所;3.东南大学公共卫生学院

【摘要】 目的 探究室外夜间灯光(LAN)暴露和中小学生睡眠质量之间的关系,以及抑郁、压力和焦虑症状等负性情绪在其中的路径作用,为优化学校卫生环境和提升学生身心健康提供参考。**方法** 2024 年 12 月,按照分层整群抽样方法纳入苏州市、南通市和常州市 154 所中小学的 36 885 名学生为研究对象,使用匹兹堡睡眠质量指数(PSQI)、流调中心用抑郁量表(CES-D)、7 项广泛性焦虑量表(GAD-7)和抑郁-焦虑-压力量表(DASS-21)收集学生的睡眠、负性情绪情况;室外 LAN 暴露数据来源于国家地球系统科学数据中心的类国家极轨伙伴卫星可见光红外成像辐射计套件夜间灯光数据集(NPP-VIIRS NTL)。采用多因素 Logistic 回归模型分析不同地区室外 LAN 暴露与睡眠质量之间的关联,并以监测点进行分层分析;采用 Spearman 相关性分析室外 LAN、负性情绪和睡眠质量的关系,Process 宏程序 Model 4 对负性情绪的中介作用进行检验。**结果** 中小学生抑郁症状的检出率为 13.95%(5 147 名),压力症状检出率为 16.72%(6 166 名),焦虑症状检出率为 17.49%(6 451 名),室外 LAN 暴露中位值为 28.85(19.10,41.44)nW/(cm^2 · sr)。多因素 Logistic 回归分析结果显示,调整混杂因素后,高 LAN 暴露水平(*Q*4)与睡眠质量问题呈正相关(城区:*OR* = 1.28,95%*CI* = 1.17~1.41;郊县:*OR* = 1.21,95%*CI* = 1.07~1.36,*P* 值均<0.05)。Spearman 相关性分析显示,室外 LAN 暴露、抑郁、压力、焦虑症状及中小学生睡眠质量两两均呈正相关(*r* = 0.03~0.75,*P* 值均<0.01)。中介效应检验显示,负性情绪各维度(抑郁、压力、焦虑症状)在高 LAN 暴露水平和睡眠质量之间有中介作用[中介效应值(95%*CI*)分别为 0.03(0.02~0.05),0.05(0.03~0.08),0.07(0.05~0.09),*P* 值均<0.01],31.9%由中介变量负性情绪解释,其中焦虑症状路径占比最高(14.89%),压力(10.64%)与抑郁症状(6.38%)次之。**结论** 减少较高的室外 LAN 暴露、干预负性情绪有助于改善中小学生睡眠质量。

【关键词】 情绪;光;环境暴露;睡眠;回归分析;学生

【中图分类号】 G 444 Q 428 B 845.6 J 714.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2025)11-1539-06

Role of negative affects in the association between outdoor light at night exposure and sleep quality among primary and secondary school students

ZHU Wendi*, TANG Jiawen, ZHANG Xiyan, WANG Xin, YANG Wenyi, DU Wei, YANG Jie

** School of Public Health, Nanjing Medical University, Nanjing* 211166, *Jiangsu Province, China*

【Abstract】 Objective To investigate the association between outdoor light at night (LAN) exposure and sleep quality among primary and secondary school students, and to examine the pathways of negative affects including depressive, stress and anxiety symptoms, so as to provide a theoretical basis for optimizing the school environment and enhancing the physical and mental well-being of students. **Methods** In December 2024, a total of 36 885 students from 154 primary and secondary schools in Suzhou, Nantong, and Changzhou were included via a stratified cluster sampling method. Sleep quality and negative affect were assessed by using the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D), Generalized Anxiety Disorder-7 (GAD-7), and Depression, Anxiety and Stress Scale-21 (DASS-21), respectively. Outdoor LAN exposure data were obtained from the national polar-orbiting partnership visible infrared imaging radiometer suite nighttime light(NPP-VIIRS NTL) dataset provided by the National Earth System Science Data Center. Multivariate Logistic regression model was employed to analyze the association between LAN exposure and sleep quality across different regions, with stratification by monitoring site. Spearman correlation analysis was used to examine the relationships between LAN, negative affect, and sleep quality. The mediating role of negative affect was tested by using Model 4 of the PROCESS macro. **Results** The detection rates among students were 13.95%(*n* = 5 147) for depressive symptom, 16.72%(*n* = 6 166) for stress symptom, and 17.49%(*n* = 6 451) for anxiety symptom. The median outdoor LAN exposure was 28.85(19.10, 41.44)nW/(cm^2 · sr). After adjusting for confounders, multivariate Logistic regression a-

【基金项目】 江苏省重点研发计划(社会发展)专项项目(BE2021617)

【作者简介】 朱文迪(2001-),女,江苏盐城人,在读硕士,主要研究方向为儿童青少年心理健康。

【通信作者】 杨婕,E-mail:july-summer@jscdc.cn

nalysis showed that high LAN exposure (*Q*4) was positively associated with sleep problems (urban areas: *OR*=1.28, 95%*CI*=1.17-1.41; rural areas: *OR*=1.21, 95%*CI*=1.07-1.36; both *P*<0.05). Spearman correlation analysis revealed significant positive correlations between LAN exposure, depressive symptoms, stress symptoms, anxiety symptoms, and sleep quality (*r*=0.03-0.75, all *P*<0.01). The mediation analysis indicated that all dimensions of negative affect significantly mediated the relationship between high LAN exposure and poor sleep quality (all *P*<0.01). Specifically, the indirect effects were 0.03 (95%*CI*=0.02-0.05) for depressive symptom, 0.05(95%*CI*=0.03-0.08) for stress symptom, and 0.07(95%*CI*=0.05-0.09) for anxiety symptom. Overall, 31.9% of the total effect was mediated by negative affect, with anxiety (14.89%) being the strongest mediator, followed by stress (10.64%) and depression(6.38%). **Conclusion** Reducing high levels of outdoor LAN exposure and implementing interventions targeting negative affect may contribute to improved sleep quality among primary and secondary school students.

【Keywords】 Emotions; Light; Environmental exposure; Sleep; Regression analysis; Students

室外夜间灯光(light at night, LAN)暴露作为一种新兴的环境暴露因素,会增加睡眠障碍和抑郁、焦虑、压力的风险[1]。多项研究表明室外 LAN 暴露会减少儿童青少年的睡眠时长[2],降低睡眠质量,增加睡眠障碍和失眠风险[3-4],且较高或持续的室外 LAN 暴露与青少年情绪障碍,焦虑、抑郁和压力等负性情绪的发生密切相关[5-6],而负性情绪与青少年睡眠问题也存在关联[7]。因此,负性情绪可能是室外 LAN 暴露影响睡眠质量的关键机制之一。本研究旨在探讨抑郁、焦虑和压力症状等负性情绪在室外 LAN 暴露和中小学生睡眠质量之间的路径作用,为优化学校卫生环境和提升学生身心健康提供理论参考。

1 对象与方法

1.1 对象 研究基于 2023 年度江苏省学生常见病和影响因素监测与干预项目,覆盖江苏省 13 个设区市,2024 年 12 月,采取分层随机整群抽样方法选取研究对象,首先以经济分层,选择苏州市、南通市及常州市 3 座城市,从苏州市 10 个市区、南通市 7 个市区和常州市 7 个市区的每个市区采取随机数字表法分别选择 1~2 所小学、1~2 所初中、1~2 所普通高中和 1 所职业高中,共计 154 所中小学的 37 200 名中小学生纳入研究。剔除 315 份有缺失值和异常值的数据后,最终 36 885 名学生纳入分析。其中男生 18 938 名(51.34%),女生 17 947 名(48.66%)。研究经东南大学附属中大医院临床研究伦理委员会批准(批准文号:2023ZDSYLL456-P01),所有学生及其监护人均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 基本信息 人口学基本信息包括学段、性别、父母文化程度、是否住宿、体质量指数(body mass index, BMI)、城乡(城区、郊县)、区人均国内生产总值(gross domestic product, GDP)和人口密度。身高、体重等数据均来自于 2023 年度江苏省学生常见病和影响因素监测与干预项目,BMI = 体重(kg)/[身高(m)]^2。按《学龄儿童青少年超重与肥胖筛查》[8]划分超重和肥胖。人口密度和人均 GDP 来源于 2023 年江苏省统计局的统计年鉴(https://tj.jiangsu.gov.cn/2023/index.htm)。

1.2.2 睡眠质量 匹兹堡睡眠质量指数(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)由 Buysse 等[9]编制,用于评估个体 1 个月内的睡眠质量,包含 7 个维度、18 个条目,各维度按 0~3 等级计分,总分范围为 0~21 分,得分越高表示睡眠质量越差,PSQI 总分>5 分表示存在睡眠问题。本研究该量表的 Cronbach α 系数为0.83。

1.2.3 负性情绪 (1)抑郁症状:采用 Radloff 等[10]编制的流调中心用抑郁量表(Center for Epidemiologic Studies Depression Scale, CES-D),评估研究对象过去 1 周经历的抑郁状况。该量表共计 20 个条目,包含 16 个消极情感条目和 4 个积极情感条目(需反向计分),采用 Likert 4 级计分(0~3 分),总分范围 0~60 分,分数越高说明抑郁程度越高,总分>21 分界定为存在抑郁症状风险。该量表的 Cronbach α 系数为 0.88。(2)焦虑症状:采用 Spitzer 等[11]编制的广泛性焦虑量表(Generalized Anxiety Disorder-7, GAD-7)。该量表共 7 个条目,采用 Likert 4 级计分(0="完全不会"至 3="几乎每天"),总分范围 0~21 分,分数越高焦虑症状越严重,总分>5 分界定为存在焦虑症状风险。该量表的 Cronbach α 系数为 0.93。(3)压力症状:采用 Lovibond 等[12]编制的抑郁-焦虑-压力量表(Depression, Anxiety and Stress Scale-21, DASS-21),选取压力子量表对压力症状进行评估。包含 7 个条目,采用 Likert 4 级计分(0="不符合"至 3="总是符合"),总分范围为 0~21 分,得分越高代表症状越严重,总分>14 分为存在压力症状风险。本研究中该量表的 Cronbach α 系数为 0.92。

1.2.4 室外 LAN 暴露 数据来源于国家科技基础条件平台:国家地球系统科学数据中心(http://www.geodata.cn)生成的类国家极轨伙伴卫星可见光红外成像辐射计套件夜间灯光数据集(national polar-orbiting partnership visible infrared imaging radiometer suite nighttime light, NPP-VIIRS NTL)[13],通过百度地图地理

编码 API 将调查学校地址信息转化为经纬度坐标，使用 ArcMap 10.8 软件将灯光数据集中的含经纬度信息的 LAN 数据与学校经纬度匹配，提取学校 500 m 范围内的 LAN 均值。空间分辨率为 500 m×500 m。该数据影像的像元大小≥0，单位为（nW/cm^2 · sr）。将研究对象按照室外 LAN 暴露水平的四分位数进行分组，分为 *Q*1（低暴露组）、*Q*2（中低暴露组）、*Q*3（中高暴露组）和 *Q*4（高暴露组）。

1.3　质量控制　数据收集过程实施了严格的质量控制，所有参与数据收集的调查员均接受统一、严格的标准化培训，确保熟练掌握研究目的、问卷内容及现场沟通技巧。数据回收后，对异常值和缺失数据进行逻辑核查与清理，确保最终数据的真实性与准确性。

1.4　统计学分析　采用 SPSS 23.0 网络版软件建立数据库并进行统计分析，对 LAN 数据进行正态性检验，计量资料不服从正态分布，采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述；分类变量以百分比表示。采用多因素 Logistic 回归分析不同监测点室外 LAN 暴露与睡眠质量之间的关联。Spearman 相关性分析室外 LAN、负性情绪和睡眠质量的关系，使用 Process 宏程序 Model 4 分析负性情绪的中介作用，并采用 Bootstrap 法进行检验。模型控制了学段、性别、是否住宿、父母文化程度、城乡、人均 GDP 和人口密度等基本人口学特征。室外 LAN 暴露以 *Q*1 组为参照组。双侧检验水准 $\alpha=0.05$。

2　结果

2.1　中小学生负性情绪、LAN 暴露情况　中小学生抑郁症状检出率为 13.95%（5 147 名），压力症状检出率为 16.72%（6 166 名），焦虑症状检出率为 17.49%（6 451名），睡眠问题检出率为 68.06%（25 104 名）。室外 LAN 暴露中位值为 28.85（19.10，41.44）nW/（cm^2 · sr）。不同城乡、学段、是否住宿、BMI、父母文化程度、区人口密度、人均 GDP 及各负性情绪组别学生室外 LAN 暴露水平分布差异均有统计学意义（*P* 值均<0.01），见表 1。

表 1　不同组别中小学生室外夜间灯光暴露分布比较

Table 1　Comparison of outdoor LAN exposure distribution among primary and secondary school students of different groups

组别	选项	人数	*Q*1	*Q*2	*Q*3	*Q*4	χ^2 值	*P* 值
性别	男	18 938	4 859(25.66)	4 684(24.73)	4 695(24.79)	4 700(24.82)	6.89	0.08
	女	17 947	4 534(25.26)	4 491(25.02)	4 620(25.74)	4 302(23.97)		
城乡	城区	21 382	4 070(19.03)	5 136(24.02)	5 317(24.87)	6 859(32.08)	2 071.30	<0.01
	郊县	15 503	5 323(34.34)	4 039(26.05)	3 998(25.79)	2 143(13.82)		
学段	小学	11 865	3 411(28.75)	2 567(21.64)	4 136(34.86)	1 751(14.76)	2 148.61	<0.01
	初中	11 902	2 472(20.77)	3 661(30.76)	2 773(23.30)	2 996(25.17)		
	普通高中	9 458	2 499(26.42)	2 342(24.76)	1 427(15.09)	3 190(33.73)		
	职业高中	3 660	1 011(27.62)	605(16.53)	979(26.75)	1 065(29.10)		
是否住宿	是	5 772	1 716(29.73)	1 190(20.62)	1 241(21.50)	1 625(28.15)	176.29	<0.01
	否	31 113	7 677(24.67)	7 985(25.66)	8 074(25.95)	7 377(23.71)		
BMI	非超重肥胖	23 393	5 985(25.58)	5 708(24.40)	5 918(25.30)	5 782(24.72)	24.25	<0.01
	超重	6 652	1 645(24.73)	1 668(25.08)	1 654(24.86)	1 685(25.33)		
	肥胖	6 840	1 763(25.77)	1 799(26.30)	1 743(25.48)	1 535(22.44)		
母亲文化程度	小学及以下	2 643	679(25.69)	724(27.39)	575(21.76)	665(25.16)	458.12	<0.01
	初中	22 474	6 141(27.32)	5 885(26.19)	5 030(22.38)	5 418(24.11)		
	大学	10 624	2 329(21.92)	2 380(22.40)	3 292(30.99)	2 623(24.69)		
	硕士及以上	1 144	244(21.33)	186(16.26)	418(36.54)	296(25.87)		
父亲文化程度	小学及以下	1 633	453(27.74)	415(25.41)	382(23.39)	383(23.45)	447.63	<0.01
	初中	22 550	6 140(27.23)	5 984(26.54)	4 978(22.08)	5 448(24.16)		
	大学	11 380	2 519(22.14)	2 541(22.33)	3 509(30.83)	2 811(24.70)		
	硕士及以上	1 322	281(21.26)	235(17.78)	446(33.74)	360(27.23)		
区人口密度/（人 · km^{-2}）[a]	<1 047	10 721	4 343(40.51)	4 213(39.30)	1 488(13.88)	677(6.31)	2 990.46	<0.01
	1 047~2 179	14 841	3 845(25.91)	2 506(16.89)	3 425(23.08)	5 065(34.13)		
	>2 179	11 323	1 205(10.64)	2 456(21.69)	4 402(38.88)	3 260(28.79)		
区人均 GDP/元[a]	<151 200	12 751	3 681(28.87)	2 443(19.16)	1 870(14.67)	4 757(37.31)	6 765.28	<0.01
	151 200~211 188	13 453	3 265(24.27)	4 370(32.48)	3 931(29.22)	1 887(14.03)		
	>211 188	10 681	2 447(22.91)	2 362(22.11)	3 514(32.90)	2 358(22.08)		
睡眠问题	无	11 777	3 257(27.66)	2 996(25.44)	3 308(28.09)	2 216(18.82)	311.30	<0.01
	有	25 108	6 136(24.44)	6 179(24.61)	6 007(23.92)	6 786(27.03)		
抑郁症状	否	31 738	8 181(25.78)	7 962(25.09)	8 123(25.59)	7 472(23.54)	92.53	<0.01
	是	5 147	1 212(23.55)	1 213(23.57)	1 192(23.16)	1 530(29.73)		
压力症状	否	30 719	7 947(25.87)	7 727(25.15)	7 880(25.65)	7 165(23.32)	117.10	<0.01
	是	6 166	1 446(23.45)	1 448(23.48)	1 435(23.27)	1 837(29.79)		
焦虑症状	否	30 434	7 902(25.96)	7 684(25.25)	7 864(25.84)	6 984(22.95)	201.84	<0.01
	是	6 451	1 491(23.11)	1 491(23.11)	1 451(22.49)	2 018(31.28)		

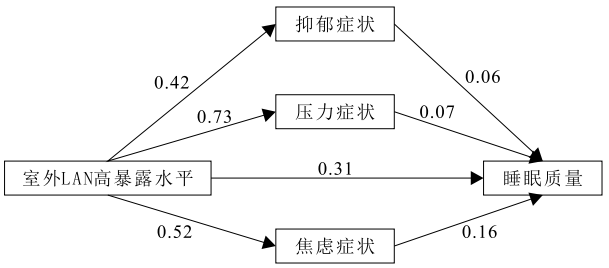
注：（）内数字为构成比/%；[a]通过 SPSS 23.0 可视化分箱确认分组。

2.2　不同地区室外 LAN 暴露与中小学生睡眠质量的多因素 Logistic 回归分析　结果显示，以地区进行分层时发现，相比低暴露组（*Q*1），中低、中高、高 LAN 暴露水平（*Q*2、*Q*3、*Q*4）均与城区中小学生睡眠质量问题

有关[*OR* 值(95%*CI*)分别为 1.18(1.08~1.29),0.87(0.80~0.95),1.59(1.46~1.74)];高 LAN 暴露水平与郊县中小学生睡眠质量问题相关(*OR*=1.40,95%*CI*=1.26~1.57)(*P* 值均<0.05)。调整性别、学段、BMI、是否住宿、父母文化程度等混杂因素后,高 LAN 暴露组的风险略有降低,但仍有统计学意义(城区:*OR*=1.28,95%*CI*=1.17~1.41;郊县:*OR*=1.21,95%*CI*=1.07~1.36);而在城区中,中低、中高 LAN 暴露水平与中小学生睡眠质量问题的关系无统计学意义[*OR* 值(95%*CI*)分别为 1.04(0.95~1.15),0.99(0.90~1.08),*P* 值均>0.05];而在郊县,中高 LAN 暴露水平与中小学生睡眠质量问题相关(*OR*=1.35,95%*CI*=1.23~1.48,*P*<0.05),仅中低 LAN 暴露水平无统计学意义(*OR*=1.02,95%*CI*=0.93~1.12,*P*>0.05)。

2.3 室外 LAN 暴露、睡眠质量和中小学生负性情绪的相关性分析 Spearman 相关性分析显示,室外 LAN 暴露与睡眠质量(*r*=0.08)、抑郁症状(*r*=0.03)、压力症状(*r*=0.07)及焦虑症状(*r*=0.08)均呈正相关,睡眠质量与抑郁、压力、焦虑症状两两之间均呈正相关(*r*=0.03~0.75)(*P* 值均<0.01)。

2.4 负性情绪在室外 LAN 暴露和中小学生睡眠质量间的中介作用分析 采用 Process 宏程序的 Modle 4 模型,重复抽样 5 000 次,检验负性情绪是否在室外 LAN 暴露和睡眠质量之间具有中介作用。中介模型的回归结果表明,高 LAN 暴露水平对抑郁(*β*=0.42,*t*=3.04)、压力(*β*=0.73,*t*=5.89)和焦虑症状(*β*=0.52,*t*=8.02)均有正向预测作用(*P* 值均<0.01)。中低、中高 LAN 暴露组对 3 类负性情绪的预测系数均无统计学意义(*P* 值均>0.05)。当负性情绪进入方程后,高 LAN 暴露水平对中小学睡眠质量的正向预测作用仍有统计学意义(*β*=0.31,*t*=5.65,*P*<0.01)。见图 1。



注:LAN 为夜间灯光;图中数值为 *β* 值,*P* 值均<0.01。

图 1 中小学生负性情绪在室外高夜间灯光暴露水平与睡眠质量间的中介效应模型

Figure 1 Mediation model of negative emotion in the relationship between high outdoor LAN exposure and sleep quality among primary and secondary school students

中介作用 Bootstrap 结果显示,室外 LAN 高暴露水平对中小学生睡眠质量的总效应为 0.47(95%*CI*=0.39~0.55)(*P*<0.05),在纳入中介变量抑郁、压力和焦虑症状后,室外高 LAN 暴露水平对睡眠质量的直接效应为 0.33(95%*CI*=0.26~0.40)(*P*<0.05),占总效应的 70.21%。抑郁、压力、焦虑症状发挥的中介效应分别为 0.03(95%*CI*=0.02~0.05),0.05(95%*CI*=0.03~0.08),0.07(95%*CI*=0.05~0.09)(*P* 值均<0.05)。因此,室外高 LAN 暴露组对中小学生睡眠质量的影响中,30.9%由中介变量负性情绪解释,其中焦虑症状路径占比最高(14.89%),压力症状(10.64%)与抑郁症状(6.38%)次之。见表 2。

表 2 不同室外夜间灯光暴露条件下负性情绪的效应值(*n*=36 885)

Table 2 The effect value of negative emotion under different outdoor LAN exposure conditions(*n*=36 885)

中介路径	效应值(95%*CI*)	标准误
*Q*2→睡眠质量(总效应)	0.12(0.04~0.19) *	0.04
*Q*2→睡眠质量(直接效应)	0.12(0.05~0.18) *	0.03
*Q*2→抑郁症状→睡眠质量(间接效应)	0.01(-0.01~0.02)	0.01
*Q*2→压力症状→睡眠质量(间接效应)	0.00(-0.01~0.03)	0.01
*Q*2→焦虑症状→睡眠质量(间接效应)	0.00(-0.03~0.02)	0.01
*Q*3→睡眠质量(总效应)	0.07(-0.01~0.15)	0.04
*Q*3→睡眠质量(直接效应)	0.08(0.01~0.14) *	0.04
*Q*3→抑郁症状→睡眠质量(间接效应)	0.00(-0.02~0.07)	0.01
*Q*3→压力症状→睡眠质量(间接效应)	0.00(-0.02~0.01)	0.01
*Q*3→焦虑症状→睡眠质量(间接效应)	0.00(-0.02~0.02)	0.01
*Q*4→睡眠质量(总效应)	0.47(0.39~0.55) *	0.04
*Q*4→睡眠质量(直接效应)	0.33(0.26~0.40) *	0.04
*Q*4→抑郁症状→睡眠质量(间接效应)	0.03(0.02~0.05) *	0.01
*Q*4→压力症状→睡眠质量(间接效应)	0.05(0.03~0.08) *	0.01
*Q*4→焦虑症状→睡眠质量(间接效应)	0.07(0.05~0.09) *	0.01

注:* *P*<0.05。

3 讨论

本研究发现室外 LAN 暴露与江苏省中小学生睡眠质量呈正相关,与既往研究一致[3,14]。以地区进行分层时,中低、中高、高 LAN 暴露水平均与城区中小学生睡眠质量有关,而在郊县中仅高暴露水平存在统计学意义。调整混杂因素后,随着室外 LAN 暴露的增加,郊县中小学生睡眠质量问题风险呈现一定增加趋势。但无论在城区还是郊县,高 LAN 暴露水平均与中小学生睡眠质量问题相关,表明高 LAN 暴露是中小学生睡眠质量的危险因素。一项纳入了 41 项研究的荟萃分析结果也表明 LAN 暴露与睡眠问题相关,且睡眠问题的患病率随着 LAN 强度的增加而增加[15]。Paksarian 等[16]对 10 123 名 13~18 岁的青少年调查结果显示,*Q*4 比 *Q*1 LAN 暴露的青少年入睡时间晚且睡眠时长减少。从生理机制上看,实验研究已证实 LAN 暴露可抑制松果体分泌褪黑素,扰乱个体昼夜节律紊乱,进而影响睡眠质量,为 LAN 暴露对睡眠质量的路径作用提供了生物学证据[17]。Guindon 等[18]研究发

现 LAN 暴露导致的褪黑素水平下降会使神经递质失衡、压力反应系统功能失调和神经炎症增加，均是加剧抑郁、焦虑、压力症状等负性情绪发生的重要病理生理基础。多项研究也表明，LAN 暴露较多地区的青少年情绪和焦虑障碍患病率也更高[16,19]。而抑郁、压力和焦虑症状等负性情绪常伴随反刍思维和过度唤醒状态，会直接导致入睡困难、睡眠浅、失眠等睡眠质量问题[20]。

本研究中发现抑郁、压力和焦虑症状等负性情绪在室外高 LAN 暴露水平和睡眠质量间发挥中介作用，但在中低、中高 LAN 暴露水平和睡眠质量之间无显著的中介作用，可能与本研究的 LAN 测量低估了个体的实际暴露水平有关。本研究还发现焦虑症状是室外 LAN 影响睡眠的核心中介变量，发挥的中介作用高于抑郁症状和压力症状，可能由量表差异等因素所导致。同时，Helbich 等[21]在一项面向成年人的横断面研究中发现睡眠质量问题在室外 LAN 暴露与抑郁和焦虑症状之间起中介作用，表明室外夜间光污染和抑郁、焦虑症状等心理健康问题之间的关联是由睡眠问题所介导的。提示两条路径可能存在双向的、复杂的相互作用，而这种差异也凸显横断面研究在因果推断方面的局限性，且青少年期是情绪调节和神经内分泌系统迅速发展的关键阶段，对学业成绩、人际交往、灯光暴露等环境压力源引发的负面情绪反应可能更敏感。

本研究也存在以下局限性：(1)室外 LAN 的暴露评估来源于调研点校 500 m 范围灯光均值，缺乏个体层面的光照测量，未考虑室内灯光，可能低估个体实际暴露，后续研究会考虑集合便携式照度计与穿戴设备采集个体水平数据，使数据更具支撑性。(2)横断面研究无法直接验证室外 LAN 暴露、负性情绪和睡眠质量间的因果关联，仍需要设计基于长期追踪数据的队列研究，增强因果论证效力。(3)仍存在一些混杂因素需要考虑纳入，如学生生活作息、绿地植被覆盖、政策灯光管制、家庭经济收入水平等。后续研究将在精准暴露测量、因果关系验证和多因素协同作用机制探索方面持续深化，为青少年睡眠健康保护和城市灯光污染治理提供科学依据。

利益冲突声明　所有作者声明无利益冲突。

参考文献

[1] LAI K Y, SARKAR C, NI M Y, et al. Exposure to light at night (LAN) and risk of obesity: a systematic review and Meta-analysis of observational studies[J]. Environ Res, 2020, 187: 109637.

[2] PATEL P C. Light pollution and insufficient sleep: evidence from the United States[J]. Am J Hum Biol, 2019, 31(6): e23300.

[3] WANG L B, GONG Y C, FANG Q L, et al. Association between exposure to outdoor artificial light at night and sleep disorders among children in China[J]. JAMA Netw Open, 2022, 5(5): e2213247.

[4] DUAN J, LI Q, YIN Z, et al. Outdoor artificial light at night and insomnia-related social media posts[J]. JAMA Netw Open, 2024, 7(11): e2446156.

[5] TANCREDI S, URBANO T, VINCETI M, et al. Artificial light at night and risk of mental disorders: a systematic review[J]. Sci Total Environ, 2022, 833: 155185.

[6] MENCULINI G, CIRIMBILLI F, RASPA V, et al. Insights into the effect of light pollution on mental health: focus on affective disorders-a narrative review[J]. Brain Sci, 2024, 14(8): 14080802.

[7] 张文君.青少年睡眠问题在情绪问题发展中的作用：基于长期发展和短期实时过程的研究[D]. 上海：华东师范大学, 2023.
ZHANG W J. The role of adolescents' sleep problems in the development of emotional problems: based on the long-term developmental process and short-term real-time process[D]. Shanghai: East China Normal University, 2023. (in Chinese)

[8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.学龄儿童青少年超重与肥胖筛查：WS/T 586—2018[S]. 北京：中国标准出版社, 2018.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. Screening for overweight and obesity among school-age children and adolescents: WS/T 586-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)

[9] BUYSSE D J, REYNOLDS C F 3rd, MONK T H, et al. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research[J]. Psychiatry Res, 1989, 28(2): 193-213.

[10] RADLOFF L S. The CES-D Scale: a self-report depression scale for research in the general population[J]. Appl Psychol Meas, 1977, 1(3): 385-401.

[11] ROBERT L S, KURT K, JANET B W W, et al. A brief measure for assessing generalized anxiety disorder: the GAD-7[J]. Arch Int Med, 2006, 166(10): 1092-1097.

[12] LOVIBOND S H, LOVIBOND P F. Manual for the Depression Anxiety Stress Scales[M]. 2nd ed. Sydney: Psychology Foundation of Australia, 1995.

[13] CHEN Z, YU B, YANG C, et al. An extended time series (2000 - 2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration [J]. Earth System Sci Data, 2021, 3: 889-906.

[14] 胡仁山, 陈玉秀, 许姝丽, 等. 室外夜间灯光暴露与广州市儿童青少年睡眠问题关系[J]. 中国公共卫生, 2024, 40(3): 325-330.
HU R S, CHEN Y X, XU S L, et al. Association between outdoor light at night exposure and sleep problems in children and adolescents: a cross-sectional survey in Guangzhou City[J]. Chin J Public Health, 2024, 40(3): 325-330. (in Chinese)

[15] XU Y X, ZHANG J H, TAO F B, et al. Association between exposure to light at night (LAN) and sleep problems: a systematic review and Meta-analysis of observational studies[J]. Sci Total Environ, 2023, 857(Pt 1): 159303.

(下转第 1548 页)

[10] 石梦海,黄瑛,李嚞,等.儿童近视发生前后的屈光度和眼生物参数变化:安阳儿童眼病研究[J].中华实验眼科杂志,2024,42(5):453-461.
SHI M H, HUANG Y, LI H, et al. Changes in refractive power and ocular biometrics before and after the onset of myopia in children: the Anyang childhood eye study[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2024, 42(5): 453-461. (in Chinese)

[11] 仇晓艳,陈津津,王广海,等.上海市某区学龄期儿童课外辅导现状与情绪和行为的相关性研究[J].上海预防医学,2023,35(8):791-798.
QIU X Y, CHEN J J, WANG G H, et al. Emotional and behavioral effects of after-school tutoring on school-age children in a district in Shanghai[J]. Shanghai J Prev Med, 2023, 35(8): 791-798. (in Chinese)

[12] 曲爽笑,杨东玲,黄生垒,等.中小学校教学环境及与筛查性近视关联的多水平模型分析[J].中国学校卫生,2023,44(8):1256-1260.
QU S X, YANG D L, HUANG S L, et al. Teaching environmental health in primary and secondary schools in Shanghai and its association with screening myopia applying multilevel models[J]. Chin J Sch Health, 2023, 44(8): 1256-1260. (in Chinese)

[13] 陈宇靖,陈亚军,桂婴环,等.广州市小学生静态行为与视力关系的队列研究[J].中国学校卫生,2021,42(8):1144-1147.
CHEN Y J, CHEN Y J, GUI Z H, et al. Association of sedentary behaviors with visual acuity among primary school students: a cohort study[J]. Chin J Sch Health, 2021, 42(8): 1144-1147. (in Chinese)

[14] 朱飞,王彩红,周子旋,等.蚌埠市 2020 年中小学生近视影响因素分析[J].安徽预防医学杂志,2022,28(3):180-184,192.
ZHU F, WANG C H, ZHOU Z X, et al. Analysis on influencing factors of myopia among primary and secondary school students in Bengbu City in 2020[J]. Anhui J Prev Med, 2022, 28(3): 180-184, 192. (in Chinese)

[15] KU P W, STEPTOE A, LAI Y J, et al. The associations between near visual activity and incident myopia in children: a nationwide 4-year follow-up study[J]. Ophthalmology, 2019, 126(2): 214-220.

[16] YUE Y, LIU X, YI S, et al. High prevalence of myopia and low hyperopia reserve in 4 411 Chinese primary school students and associated risk factors[J]. BMC Ophthalmol, 2022, 22(1): 212.

[17] 李梦,沈少君,陈秋霞,等.广东省 7~18 岁儿童青少年常见病多病共患现状及相关因素分析[J].中华预防医学杂志,2025,59(3):277-285.
LI M, SHEN S J, CHEN Q X, et al. Epidemiological characteristics and related factors of multimorbidity of common diseases among children and adolescents aged 7-18 years in Guangdong Province[J]. Chin J Prev Med, 2025, 59(3): 277-285. (in Chinese)

[18] 金艳辉,刘晓玲,王燕,等.2020 年包头市中小学生近视现状分析[J].疾病监测,2022,37(7):977-982.
JIN Y H, LIU X L, WANG Y, et al. Prevalence of myopia in primary and secondary school students in Baotou, 2020[J]. Dis Surveill, 2022, 37(7): 977-982. (in Chinese)

[19] 《眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)》专家组.眼轴长度在近视防控管理中的应用专家共识(2023)[J].中华实验眼科杂志,2024,42(1):1-11.
Expert Group on the Application of Axial Length in Myopia Prevention and Control Management (2023). Expert consensus on the application of axial length in myopia prevention and control management (2023)[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2024, 42(1): 1-11. (in Chinese)

[20] 王正静,赵粟,谷浩,等.近视与调节功能的相关性研究现状[J].国际眼科杂志,2024,24(3):415-419.
WANG Z J, ZHAO S, GU H, et al. Research status of correlation between myopia and accommodative function[J]. Int Eye Sci, 2024, 24(3): 415-419. (in Chinese)

[21] LIU Y, WANG L, XU Y, et al. The influence of the choroid on the onset and development of myopia: from perspectives of choroidal thickness and blood flow[J]. Acta Ophthalmol, 2021, 99(7): 730-738.

[22] WOODMAN-PIETERSE E C, READ S A, COLLINS M J, et al. Regional changes in choroidal thickness associated with accommodation[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2015, 56(11): 6414-6422.

[23] BAKSH J, LEE D, MORI K, et al. Myopia is an ischemic eye condition: a review from the perspective of choroidal blood flow[J]. J Clin Med, 2024, 13(10): 2777.

[24] 杨妍婷,罗春燕,齐文娟,等.上海市 2021 年中小学生弹钢琴与近视关联性[J].中国公共卫生,2024,40(7):835-839.
YANG Y T, LUO C Y, QI W J, et al. Association of piano playing with myopia among primary and secondary school students in Shanghai in 2021: a cross-sectional survey[J]. Chin J Public Health, 2024, 40(7): 835-839. (in Chinese)

收稿日期:2025-07-02 **修回日期**:2025-08-14 **本文编辑**:汤建军

(上接第 1543 页)

[16] PAKSARIAN D, RUDOLPH K E, STAPP E K, et al. Association of outdoor artificial light at night with mental disorders and sleep patterns among US adolescents[J]. JAMA Psychiatry, 2020, 77(12): 1266-1275.

[17] CLEARY-GAFFNEY M, ESPEY B, COOGAN A N. Association of perceptions of artificial light-at-night, light-emitting device usage and environmental noise appraisal with psychological distress, sleep quality and chronotype: a cross sectional study[J]. Heliyon, 2022, 8(11): e11284.

[18] GUINDON G E, MURPHY C A, MILANO M E, et al. Turn off that night light! Light-at-night as a stressor for adolescents[J]. Front Neurosci, 2024, 18: 1451219.

[19] ZHANG J, LI X, TANG Z, et al. Effects of stress on sleep quality: multiple mediating effects of rumination and social anxiety[J]. Psicologia Reflexão E Crítica, 2024, 37(1): 10.

[20] 董秀清, 周艺, 王冬梅, 等. 睡眠期间卧室夜灯暴露与儿童情绪症状的关联[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(4): 572-576.
DONG X Q, ZHOU Y, WANG D M, et al. Association between bedroom night light exposure during sleep and children's emotional symptoms[J]. Chin J Sch Health, 2023, 44(4): 572-576. (in Chinese)

[21] HELBICH M, BUROV A, DIMITROVA D, et al. Sleep problems mediate the association between outdoor nighttime light and symptoms of depression and anxiety: a cross-sectional, multi-city study in Bulgaria[J]. Environ Res, 2024, 263(Pt 1): 119897.

收稿日期:2025-07-09 **修回日期**:2025-09-08 **本文编辑**:汤建军