

失眠对绝经后女性骨密度的影响

郑林燕¹ 葛继荣^{2,3△} 谢丽华^{2,3} 李玉乐¹

[摘要] 目的:揭示失眠对绝经后女性骨密度(BMD)的影响。方法:通过回顾性病例对照研究,从2017年1月1日至2024年4月30日,在参加问卷调查和骨密度检测的绝经后女性中,纳入符合标准的患者,运用SPSS 26.0进行统计分析。结果:对比失眠组与无失眠组,体重和体重指数(BMI)差异有统计学意义($P < 0.05$),而年龄、月经初潮年龄、怀孕次数等一般资料差异均无统计学意义($P < 0.05$);失眠组腰椎T值显著低于无失眠组,差异有统计学意义($P < 0.05$);失眠组骨量丢失率高于无失眠组,差异有统计学意义($P < 0.05$),骨量正常率低于无失眠组,差异有统计学意义($P < 0.05$);单、多因素 Logistic 回归分析结果显示失眠、年龄、怀孕次数是骨量丢失的危险因素,差异有统计学意义($P < 0.05$),而正常的体重指数是保护因素,差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论:失眠可能是影响绝经后女性骨密度的一种危险因素,失眠的绝经后女性存在腰椎低骨密度的风险。

[关键词] 入睡和睡眠障碍;骨质疏松;绝经后;骨密度;腰椎;体重指数

[中图分类号] R681 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2026)02-0078-05

DOI: 10.20085/j.cnki.issn1005-0205.260213

The Influence of Insomnia on Bone Mineral Density in Postmenopausal Women

ZHENG Linyan¹ GE Jirong^{2,3△} XIE Lihua^{2,3} LI Yule¹

¹ Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350003, China;

² Institute of Basic Research, Fujian Academy of Chinese Medical Sciences, Fuzhou 350003, China;

³ Fujian Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for the Prevention and Treatment of Osteoporosis (Fujian Academy of Chinese Medical Sciences, Rehabilitation Hospital Affiliated to Fujian University of Traditional Chinese Medicine), Fuzhou 350003, China.

Abstract Objective: This study aims to reveal the impact of insomnia on bone mineral density (BMD) in postmenopausal women. **Methods:** A retrospective case-control study was conducted among postmenopausal women who participated in questionnaire surveys and BMD tests from January 1, 2017 to April 30, 2024. Patients meeting the inclusion criteria were

included. Statistical analysis was performed using SPSS 26.0. **Results:** There were no statistically significant differences in age, the age of menarche, the number of pregnancies, the number of children breastfed, the age at menopause, and the height between the insomnia group and the non-insomnia group. However, there were statistically significant differences in weight and body mass index (BMI) ($P < 0.05$). The T value of the lumbar spine in the insomnia group was significantly lower than that in the non-insomnia group ($P < 0.05$), and the BMD of the lumbar spine was also lower. Bone mass loss occurred at a faster pace in the insomnia group than in the non-insomnia group ($P < 0.05$), and the percentage of normal bone mass was lower in the insomnia group ($P < 0.05$). The results of univariate and multivariate Logistic regression analysis showed that insomnia, age and

基金项目:国家自然科学基金项目(81674007,82274563,82374483)

国家中医药管理局高水平中医药重点学科建设项目(中医骨伤科学)(zyyzdxk-2023106)

福建中医药大学中医骨伤科学学科开放课题资助(XGS2023001)

福建省科技厅省属公益类科研院所基本科研专项(2022R1003002)

¹ 福建中医药大学(福州,350003)

² 福建省中医药科学院基础研究所

³ 福建省中西医结合防治骨质疏松重点实验室(福建省中医药科学院,福建中医药大学附属康复医院)

△通信作者 E-mail:gjrrjgcy@163.com

the number of pregnancies were risk factors for bone loss ($P < 0.05$), while BMI was a protective factor ($P < 0.05$). **Conclusion:** Insomnia may be a risk factor for BMD in postmenopausal women, and postmenopausal women with insomnia are at risk of low BMD in the lumbar spine.

Keywords: sleep initiation and maintenance disorders; osteoporosis; postmenopausal; bone mineral density; lumbar vertebrae; body mass index (BMI)

随着我国老龄化加剧,骨质疏松症(Osteoporosis, OP)发病率显著提高,女性患者数量是男性患者数量的 5 倍^[1],绝经后骨质疏松症(Postmenopausal Osteoporosis, PMOP)患者人数占 32.5%^[2]。骨质疏松症以骨量减少为特点,常见全身疼痛,严重者易骨折^[3-4],影响生存质量,加重经济负担^[5]。失眠即经常不能获得正常睡眠,长期失眠易影响骨骼健康^[6]。Liu 等^[7]用孟德尔随机分析法关联全基因组,发现失眠增加骨质疏松症风险。本团队前期研究发现^[8],绝经后骨量减少者的常见症状中失眠居前 20 位。本研究旨在探讨失眠对绝经后女性骨密度的影响,分析失眠与骨量丢失的相关性,为防治绝经后骨质疏松症提供新思路,现报告如下。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

2017 年 1 月 1 日至 2024 年 4 月 30 日,选取福建省中医药科学院门诊部骨质疏松诊室参加问卷调查和骨密度检测的绝经后女性患者,符合条件的患者共 968 例,其中失眠者 435 例,无失眠者 533 例。本研究得到福建省中医药科学院伦理审查委员会的批准(审批号为 2016KY020-02),所有患者均自愿签署知情同意书。

1.2 诊断标准

1)骨质疏松症,诊断符合《原发性骨质疏松症诊疗指南(2022)》^[2], T 值 ≥ -1.0 提示骨量处于正常范围; $-2.5 < T$ 值 < -1.0 提示存在骨量减少,但尚未达到骨质疏松标准;当 T 值 ≤ -2.5 时提示存在骨质疏松。2)失眠,参考《中国成人失眠诊断与治疗指南(2023 版)》^[9],若出现如下情况则可诊断为失眠:入睡潜伏期超过 30 min,夜间觉醒次数不少于 2 次,存在早醒现象,睡眠质量下降,总睡眠时间不足 6.5 h,上述情况每周至少出现 3 次,并伴有日间功能障碍或显著的日间痛苦体验。

1.3 纳入标准

1)自然绝经 1 年及以上女性;2)年龄为 47~87 周岁,具备正常沟通理解能力;3)自愿签署知情同意书。

1.4 排除标准

1)缺失一般资料;2)缺失 T 值,无法判断骨量变化程度;3)患其他继发性骨质疏松或糖尿病、类风湿疾病;4)患精神病或阿尔茨海默病。

1.5 方法

1.5.1 问卷调查方法 本研究选用由福建省中医药科学院门诊部骨质疏松诊室自主编制的调查问卷,问卷内容涵盖研究对象的一般信息,如年龄、月经初潮年龄、怀孕次数等,同时涉及饮食习惯及中医证候等相关因素。基于国际通用的体重指数(Body Mass Index, BMI)计算公式,体重指数=体重(kg)/身高(m)的平方,对所有受试者进行标准化体格参数核算。

1.5.2 骨密度检测方法 采用美国 Hologic Discovery W 型双能 X 线骨密度分析仪(精度为 1.0%)检测腰椎正位 $L_2 \sim L_4$ 、股骨颈、大转子、Ward 三角区的骨密度(Bone Mineral Density, BMD)和 T 值。骨密度作为衡量单位体积骨骼内矿物质含量的指标,可用于评估骨骼强度和抗骨折能力。 T 值指个体骨密度与同年龄健康人平均值的比较结果,用于诊断骨质疏松症和评估骨折风险。

1.6 统计学方法

研究用 Epidata3.1 软件构建数据库,数据录入由两名工作人员完成,并相互校对,以保障数据提取和录入环节中无遗漏、无差错。数据分析借助 SPSS 26.0 软件开展,针对不符合正态分布的计量资料,以中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 形式呈现;Mann-Whitney U 检验方法用于组间比较;通过协方差分析对混杂因素进行控制;选用单因素及多因素 Logistic 回归分析方法对绝经后骨质疏松症的独立影响因子进行筛选;计数资料比较用 χ^2 检验; $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

与无失眠组相比,失眠组的体重($Z = -2.461, P = 0.014$)与体重指数($Z = -2.805, P = 0.005$)降低,其余数据之间差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

2.2 两组患者骨密度、 T 值及绝经后骨量丢失发生率比较

在骨密度方面,失眠组患者腰椎骨密度及大转子骨密度均低于无失眠组,差异有统计学意义($P < 0.05$);在 T 值方面,失眠组患者腰椎 T 值、股骨颈 T 值与大转子 T 值均低于无失眠组,差异有统计学意义($P < 0.05$);控制体重、体重指数做协方差分析,结果显示失眠组患者腰椎 T 值仍低于无失眠组,差异有统

计学意义($P < 0.05$),见表2及表3。骨量丢失包括骨质疏松和骨量减少,二分类卡方检验显示失眠与骨量丢失

显著相关,差异有统计学意义($\chi^2 = 8.552, P < 0.05$),见表4。

表1 两组患者基线资料比较 [$M(P_{25}, P_{75})$]

指标	无失眠组 ($n = 533$)	失眠组 ($n = 435$)	Z	P
年龄/岁	63.000(57.000,67.000)	63.000(59.000,68.000)	1.333	0.183
初潮年龄/岁	15.000(14.000,16.000)	15.000(14.000,16.000)	0.928	0.353
怀孕次数/次	2.000(1.000,3.000)	2.000(1.000,3.000)	0.365	0.715
哺乳次数/次	1.000(1.000,2.000)	1.000(1.000,2.000)	-0.468	0.640
绝经年龄/岁	50.000(49.000,53.000)	50.000(48.000,52.000)	-1.674	0.094
身高/m	1.560(1.525,1.600)	1.560(1.530,1.600)	-0.319	0.750
体重/kg	57.000(52.000,63.250) ¹⁾	56.000(51.600,61.000)	-2.461	0.014
体重指数/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	23.527(21.618,25.530) ¹⁾	22.806(21.228,24.878)	-2.805	0.005

注:1)与失眠组比较, $P < 0.05$ 。

表2 两组患者骨密度比较及协方差分析 [$M(P_{25}, P_{75}), \text{g}/\text{cm}^2$]

指标	无失眠组 ($n = 533$)	失眠组 ($n = 435$)	F	P
腰椎骨密度	0.839(0.738,0.930) ¹⁾	0.820(0.724,0.914)	2.960	0.086
股骨颈骨密度	0.669(0.597,0.755)	0.662(0.592,0.724)	1.205	0.273
大转子骨密度	0.594(0.532,0.655) ¹⁾	0.579(0.525,0.644)	0.965	0.326
Ward三角骨密度	0.506(0.434,0.595)	0.502(0.426,0.577)	1.053	0.305

注:1)与失眠组比较, $P < 0.05$ 。

表3 两组患者骨密度 T 值比较及协方差分析 [$M(P_{25}, P_{75})$]

指标	无失眠组 ($n = 533$)	失眠组 ($n = 435$)	F	P
腰椎 T 值	-1.600(-2.500,-0.700) ¹⁾	-1.900(-2.600,-1.000)	5.483	0.019
股骨颈 T 值	-1.500(-2.200,-0.800) ¹⁾	-1.600(-2.200,-1.000)	1.701	0.192
大转子 T 值	-0.900(-1.600,-0.300) ¹⁾	-1.100(-1.700,-0.500)	1.336	0.248
Ward三角 T 值	-2.100(-2.750,-1.300)	-2.200(-2.900,-1.500)	0.171	0.680

注:1)与失眠组比较, $P < 0.05$ 。

表4 两组患者骨量正常率与骨量丢失率比较(例)

指标	例数	无失眠组	失眠组	χ^2	P
骨量正常	97	67(12.6%)	30(6.9%)	8.552	0.003
骨量丢失	871	466(87.4%)	405(93.1%)		

2.3 绝经后女性骨量丢失单、多因素 Logistic 回归分析

为了进一步探究失眠对骨量丢失的独立影响价值,本研究采用单、多因素 Logistic 回归模型进行分析,将骨量丢失率与骨量正常率设定为因变量。单因素 Logistic 回归分析发现,骨量丢失与失眠、年龄、怀孕次数、身高、体重及体重指数存在相关性,差异有统

计学意义($P < 0.05$),见表5。多因素 Logistic 回归分析自变量选定过程中,鉴于身高、体重和体重指数之间呈现出较强的相关性,本研究在构建多因素分析模型时,仅将体重指数纳入其中。

经过综合考虑,最终选定失眠、年龄、怀孕次数和体重指数作为自变量进行深入分析,结果显示失眠($P = 0.033, OR = 1.672(1.043, 2.679)$)、年龄($P < 0.001, OR = 1.143(1.101, 1.187)$)、怀孕次数($P = 0.045, OR = 1.209, (1.004, 1.456)$)是骨量丢失的风险因素,而正常的体重指数是骨量丢失的保护因素($P < 0.001, OR = 0.869(0.809, 0.933)$),见表6。

表5 绝经后女性骨量丢失影响因素的单因素 Logistic 回归分析

自变量	B	SE	Wald	P	OR 值	OR 值 95%CI
失眠	0.646	0.230	7.860	0.005	1.908	(1.215, 2.997)
年龄	0.125	0.018	46.545	<0.001	1.133	(1.093, 1.174)
初潮年龄	0.035	0.058	0.373	0.541	1.036	(0.925, 1.161)
怀孕次数	0.192	0.091	4.503	0.034	1.212	(1.015, 1.447)
哺乳次数	0.274	0.150	3.337	0.068	1.315	(0.980, 1.765)
绝经年龄	0.000	0.028	0.000	1.000	1.000	(0.947, 1.056)
身高	-10.395	1.956	28.234	<0.001	0.000	(0.000, 0.000)
体重	-0.070	0.013	29.552	<0.001	0.933	(0.910, 0.957)
体重指数	-0.108	0.035	9.610	0.002	0.897	(0.838, 0.961)

表 6 绝经后女性骨量丢失影响因素的多因素 Logistic 回归分析

自变量	B	SE	Wald	P	OR 值	OR 值 95%CI
失眠	0.514	0.241	4.562	0.033	1.672	(1.043, 2.679)
年龄	0.134	0.019	48.752	<0.001	1.143	(1.101, 1.187)
怀孕次数	0.190	0.095	4.005	0.045	1.209	(1.004, 1.456)
体重指数	-0.141	0.036	14.863	<0.001	0.869	(0.809, 0.933)

3 讨论

骨质疏松症是多因素交互作用的退行性疾病,其发生发展受到生活方式、生理特征及环境压力的多维影响。在生活习惯维度中,尼古丁摄入、酒精代谢负担、咖啡因暴露及睡眠节律紊乱等行为因素对骨密度具有显著下调作用^[10];生理特征维度中则涉及年龄相关的骨量流失、体脂分布、机械负荷刺激、性激素波动及生殖系统应激等生物学变量^[11]。随着社会节奏加快及生活压力升高,失眠患病率显著攀升^[12]。失眠作为现代社会中普遍存在的健康问题,其与骨代谢的关联近年来逐渐被重视。德国多中心研究发现^[13],女性群体中的匹兹堡睡眠指数(PSQI)评分较高,即睡眠质量较差者,与骨转换标志物水平升高存在显著相关,而该现象在男性群体中不明显。

本研究通过比较福建地区绝经后女性失眠与无失眠人群的基本特征和骨代谢指标,探究失眠与骨密度之间的潜在关联。研究发现两组患者在体重和体重指数方面差异有统计学意义,这一发现提示失眠可能与肥胖和代谢紊乱存在关联^[14]。进一步的分析结果显示,失眠组骨量丢失发生率高,腰椎 T 值明显低于无失眠组,且失眠、问卷时年龄和怀孕次数是骨量丢失的独立危险因素,而高体重指数则表现出保护作用。这一发现提示骨代谢受多重因素调控,年龄是骨流失强预测因子,与增龄性激素变化有关^[15];怀孕次数与骨量丢失的关联可能反映了妊娠期特殊的钙代谢需求,多次妊娠可能导致母体钙储备不足^[16]。有研究发现较高的体重指数对骨质疏松症有保护作用^[17]。

失眠组的骨量丢失发生率高可能是因为绝经后女性体内氧化应激水平升高^[18-19],而失眠会导致抗氧化能力降低^[20],加剧雌激素下降诱导的骨丢失和骨微结构破坏^[21]。Xi 等^[22]观察到失眠可能通过白细胞介素-6(IL-6)、胰岛素(INS)、肿瘤坏死因子(TNF)、蛋白激酶 B(AKT1)、丝裂原活化蛋白激酶 3(MAPK3)等关键功能靶点影响骨质疏松症的发病。多项研究表明,失眠可能是绝经后骨质疏松症的不利影响因素,且这种关联具有跨文化一致性。印度一项为期 2 年的前瞻性研究发现^[23],睡眠质量差与绝经后女性发生骨质疏松症有关,睡眠不足会导致持续性骨丢失,且股骨颈和腰椎的骨密度下降显著。美国 NHANES 数据库研究^[24]进一步发现,睡眠时间≤5 h 的女性群体骨量减

少和髋关节骨质疏松风险显著升高。泰国一项针对中老年人群的纵向研究^[25]同样支持这一观点,发现改善失眠能改善骨质疏松症。中国一项研究指出^[26],失眠是慢性疾病稳定期老年患者发生骨质疏松症的危险因素。Zhao 等^[27]发现四种不健康的睡眠行为和睡眠行为模式与骨质疏松症风险增加有关,而骨质疏松症的遗传风险会改变这种关联,提示失眠影响绝经后骨质疏松症的病理过程可能涉及炎症反应与遗传易感性的复杂调控网络。

综上所述,本研究揭示失眠可能是影响绝经后女性骨密度的一种危险因素,失眠的绝经后女性存在腰椎低骨密度的风险,失眠加速骨代谢失衡,加剧骨量丢失。该发现凸显了睡眠质量优化在绝经后骨质疏松症防治中的转化医学意义,基于此,建议将睡眠评估纳入绝经后女性骨健康筛查常规指标,建立早期预警和干预的临床管理路径,为多维度防控绝经后骨质疏松症进展及骨折风险提供新策略。本研究的局限性涉及单中心数据的地域倚倚及混杂因素控制不足,未来可通过多中心前瞻性队列设计,纵向追踪失眠病程与骨密度动态变化的关系,并可整合基因组学、代谢组学等多维度数据,深入揭示失眠影响骨代谢的分子机制。

参考文献

- [1] WANG L H, YU W, YIN X J, et al. Prevalence of osteoporosis and fracture in China: the China osteoporosis prevalence study[J]. JAMA Network Open, 2021, 4(8): e2121106.
- [2] 汤淑女,尹香君,余卫,等.中国 40 岁及以上绝经后女性骨质疏松症患病率及其影响因素研究[J].中华流行病学杂志,2022,43(4):509-516.
- [3] 中国老年学和老年医学学会骨质疏松分会中医药专家委员会.中医药防治原发性骨质疏松症专家共识(2020)[J].中国骨质疏松杂志,2020,26(12):1717-1725.
- [4] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会.原发性骨质疏松症诊疗指南(2022)[J].中国全科医学,2023,26(14):1671-1691.
- [5] SHEN Y Y, HUANG X, WU J Y, et al. The global burden of osteoporosis, low bone mass, and its related fracture in 204 countries and territories, 1990-2019[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 882241.
- [6] YARDIMCI A, OZDEDE M R, KELESTIMUR H. Agomelatine, a potential multi-target treatment alternative

- for insomnia, depression, and osteoporosis in postmenopausal women: a hypothetical model[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2021, 12: 654616.
- [7] 柳洪宙, 傅晓敏, 李晓静, 等. 失眠与骨质疏松因果关联的孟德尔随机化研究[J]. *中华内科杂志*, 2024, 63(8): 776-780.
- [8] 李健阳, 葛继荣, 陈娟, 等. 1419例绝经后骨量减少妇女不同年龄段中医证候特征分析[J]. *中医杂志*, 2019, 60(23): 2033-2037.
- [9] 中华医学会神经病学分会睡眠障碍学组. 中国成人失眠诊断与治疗指南(2023版)[J]. *中华神经科杂志*, 2024, 57(6): 560-584.
- [10] 王小华, 王宇强, 陈长香, 等. 吸烟、饮酒、喝绿茶等生活习惯对老年人骨质疏松的影响[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2015, 21(10): 1187-1190.
- [11] 杜亚玮, 戚昕, 周阳, 等. 不同性别人群定量CT骨密度与血压和血脂的相关性分析[J]. *放射学实践*, 2025, 40(2): 248-253.
- [12] 何静文, 苏彤, 唐云翔. 关注睡眠, 关爱健康: 《中国睡眠研究报告2023》解读[J]. *海军军医大学学报*, 2023, 44(11): 1261-1267.
- [13] RASSOW K, OBST A, NAUCK M, et al. Sleep characteristics and parameters of bone turnover and strength in the adult population: results from the Study of Health in Pomerania-TREND[J]. *Journal of Sleep Research*, 2024, 33(1): e14019.
- [14] 刘惟婧, 王承敏, 曾环思, 等. 成年人群肥胖与失眠的关联研究[J]. *预防医学*, 2022, 34(4): 366-370.
- [15] YONG E L, LOGAN S. Menopausal osteoporosis: screening, prevention and treatment[J]. *Singapore Medical Journal*, 2021, 62(4): 159-166.
- [16] KOUMAKIS E, CORMIER-DAIRE V, DELLAL A, et al. Osteogenesis Imperfecta: characterization of fractures during pregnancy and post-partum[J]. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 2022, 17(1): 22.
- [17] SHAYGANFAR A, FARROKHI M, SHAYGANFAR S, et al. Associations between bone mineral density, trabecular bone score, and body mass index in postmenopausal females[J]. *Osteoporosis and Sarcopenia*, 2020, 6(3): 111-114.
- [18] LEE S, LE N H, KANG D. Melatonin alleviates oxidative stress-inhibited osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells through AMPK activation[J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2018, 15(10): 1083-1091.
- [19] GONG W, LIU M Q, ZHANG Q, et al. Orcinol glucoside improves senile osteoporosis through attenuating oxidative stress and autophagy of osteoclast via activating Nrf2/Keap1 and mTOR signaling pathway[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022: 5410377.
- [20] GAO T, WANG Z X, DONG Y L, et al. Role of melatonin in sleep deprivation-induced intestinal barrier dysfunction in mice[J]. *Journal of Pineal Research*, 2019, 67(1): e12574.
- [21] 吴茂娟, 张丽丽, 韩明娟. 有氧运动通过SIRT1通路减轻雌激素缺失诱导的骨质疏松[J]. *中国组织化学与细胞化学杂志*, 2025, 34(1): 33-38.
- [22] XI S S, LIN D M, PENG Y. Exploring the bioinformatics correlation between osteoporosis and insomnia[J]. *Asian Journal of Surgery*, 2023, 46(12): 5685-5687.
- [23] CHERIAN K E, KAPOOR N, PAUL T V. Disrupted sleep architecture is associated with incident bone loss in Indian postmenopausal women: a prospective study[J]. *Journal of Bone and Mineral Research*, 2022, 37(10): 1956-1962.
- [24] OCHS-BALCOM H M, HOVEY K M, ANDREWS C, et al. Short sleep is associated with low bone mineral density and osteoporosis in the women's health initiative[J]. *Journal of Bone and Mineral Research*, 2020, 35(2): 261-268.
- [25] PENGPID S, PELTZER K, ANANTANASUWONG D. Longitudinal health consequences of insomnia symptoms among middle-aged and older adults in Thailand[J]. *Elderly Health Journal*, 2024, 10(1): 7-13.
- [26] 戴靖榕, 李婕, 何旭, 等. 慢性疾病稳定期老年患者发生骨质疏松症的影响因素研究[J]. *中国全科医学*, 2022, 25(18): 2194-2200.
- [27] ZHAO H H, JIA H Y, JIANG Y F, et al. Associations of sleep behaviors and genetic risk with risk of incident osteoporosis: a prospective cohort study of 293164 participants[J]. *Bone*, 2024, 186: 117168.

(收稿日期: 2025-05-30)