

• 综 述 •

绿色空间对女性生殖健康的影响及其机制研究进展

申钱艳^{1,2}, 肖春婷^{1,2}, 冉玉权^{1,2}, 高茹菲^{1,2△}

(重庆医科大学: 1. 公共卫生学院; 2. 生殖与发育教育部国际合作联合实验室, 重庆 400016)

[摘 要] 生殖健康是影响女性整体健康和福祉的重要领域。近年来, 女性生殖障碍性疾病的发病逐年上升, 给家庭和社会带来了沉重的负担。与此同时, 随着全球城镇化趋势的快速发展, 绿色空间已成为一种维护人类健康和福祉的新型环境因素。越来越多的研究报道了绿色空间与女性生殖健康的相关性。该文就目前国内外有关绿色空间与女性生殖健康领域的流行病学研究进行综述, 并进一步阐述其作用机制, 为公共卫生的干预策略提供科学依据。

[关键词] 绿色空间; 女性生殖健康; 机制; 综述

DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-5519. 2025. 07. 041

中图法分类号: R122. 2; R711

文章编号: 1009-5519(2025)07-1729-06

文献标识码: A

**Research progress on the effects of green space on female
reproductive health and its mechanism**

SHEN Qianyan^{1,2}, XIAO Chunting^{1,2}, RAN Yuquan^{1,2}, GAO Rufe^{1,2△}

(1. School of Public Health; 2. Ministry of Education-International Collaborative Laboratory
of Reproduction and Development, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

[Abstract] Reproductive health is an important area that affects women's overall health and well-being. In recent years, the incidence of female reproductive disorders has been increasing year by year, which has brought heavy burden to families and society. At the same time, with the rapid development of the global urbanization trend, green space has become a new environmental factor to maintain human health and well-being. More and more literature have reported that green space may have protective effects on female reproductive health. This article reviewed the epidemiological studies on green space and female reproductive health at home and abroad, aiming to clarify the impact of green space on female reproductive health and provide scientific basis for public health intervention strategies.

[Key words] Green space; Female reproductive health; Mechanism; Review

生殖健康是指在生命过程中与生殖系统、生殖功能及生殖过程有关、一切处于健康的状态, 是人类生存和繁衍的基础^[1]。女性由于特殊生理结构, 更易受到外界因素影响而导致生殖健康出现异常^[2]。迄今为止, 女性生殖健康相关疾病的发病率仍居高不下, 为家庭和社会带来了沉重的负担。据统计, 在全球范围内有 20% 的女性在与不孕症作斗争, 在超过 40% 的病例中, 根本原因无法解释^[3]。因此, 女性生殖健康状况仍是当前重要的公共卫生问题, 深入探讨影响女性生殖健康的因素显得尤为重要。

随着城镇化趋势的快速发展, 绿色空间已成为一种维护人类健康和福祉的新型环境因素^[4]。绿色空间是指在城市环境中出于娱乐或审美目的而留出的草地、树木或其他植被的区域, 包括公园、森林和花园

等^[5]。量化绿色空间最常用的指标是归一化差异植被指数(NDVI), 其次是绿色空间百分比。目前, 已有充分的流行病学证据证明绿色空间与健康之间存在密切相关, 且系统综述了绿色空间对多种疾病的有益作用, 包括糖尿病、心血管疾病、脑卒中、癌症和精神分裂症等疾病^[6]。此外, 越来越多的研究也开始关注绿色空间对女性生殖健康(如初潮/绝经年龄、女性生殖系统肿瘤、女性生育能力和妊娠结局等)的影响, 但这些研究在设计类型、衡量绿色空间的方法及研究结论等方面均不完全一致, 目前仍无法找到绿色空间影响女性生殖健康的有力证据。本文就目前国内外有关绿色空间与女性生殖健康领域的流行病学研究进行阐述, 以期阐明绿色空间对女性生殖健康的影响, 并进一步探讨其可能的机制, 为公共卫生的干预策略

△ 通信作者, E-mail: gao_ru_fei@cqmu.edu.cn.

网络首发 <https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250619.1003.006>

提供科学依据。

1 绿色空间与女性生殖健康的关联

1.1 女性初潮和绝经年龄 月经初潮年龄和自然绝经年龄表示女性生殖生命的开始和结束,是女性一生中的 2 个生殖里程碑,强烈反映了青春期和成年期内源性激素的变化^[7]。异常的初潮和更年期与多种疾病的风险相关,包括癌症、心血管疾病、抑郁症和骨质疏松症等^[8-10]。据报道,初潮年龄和绝经年龄受到生活方式、环境因素和遗传因素的综合影响,但关于绿色空间初潮年龄和绝经年龄的潜在影响的证据仍然很少。

最新的证据表明,绿色空间可能推迟女性绝经年龄,但与女性初潮年龄无关。基于欧洲一项以人群为基础的前瞻性队列研究使用参与者住宅周围 300 m 缓冲区内的 NDVI 来评估绿色空间,分析了住宅周围绿色空间与绝经年龄的关系,结果表明,在考虑了所有的混杂因素后,NDVI 每增加 1 个四分位数间距与绝经风险降低 13% 相关。将 NDVI 按照四分位数分层后,发现与生活在绿化程度低的地区女性相比,生活在绿化程度高的地区的女性的预测绝经中位年龄大 1.4 岁,在对空气污染和交通相关噪音等进行额外调整后,结果仍保持稳定^[11]。对于初潮年龄,另外一项来自德国和澳大利亚的出生队列研究使用参与者住宅附近周围 1 000 m 缓冲区内的绿地覆盖率来评估绿色空间,分析了绿色空间与初潮年龄的相关性,结果显示绿色空间与初潮年龄无关,在 2 个国家按社会经济地位或城市化程度分层的分析中,结果也是一致的^[12]。

在当代健康研究中,绿色空间对健康影响备受关注,但在女性生殖健康细分领域,绿色空间与初潮年龄和绝经年龄之间的相关性未被深入挖掘。值得一提的是,上述 2 项研究首次尝试挖掘二者之间可能存在的潜在关联,这无疑在一定程度上填补了该领域的研究空白。但从侧面来讲,这也恰恰反映出研究人员对于环境因素与女性特殊生理现象之间关系的认识还相当匮乏。鉴于此,未来极有必要全面深入地探索绿色空间与初潮年龄和绝经年龄之间的潜在关联,这不仅有助于深入理解女性生殖健康的多元影响因素,还能改善女性生殖健康奠定坚实的证据基础。

1.2 女性生殖系统肿瘤 乳腺癌、子宫癌和卵巢癌是女性生殖系统最常见的三大恶性肿瘤。根据 2020 年全球癌症统计数据显示,这 3 种类型的恶性肿瘤在全世界分别造成约 342 000、97 000 和 207 000 例患者死亡,并且其发病率在全球范围内仍呈上升趋势,严重威胁着女性的生命健康^[13]。既往大量研究探讨了乳腺癌、子宫癌和卵巢癌的危险因素,但其确切的病因学尚未完全阐明。近年来,随着城镇化趋势的加快,许多学者开始关注绿色空间对子宫癌、乳腺癌

及卵巢癌的影响。

多个国家的研究发现,增加绿色空间暴露与降低乳腺癌发病风险相关。ZHANG 等^[14]使用 162 个国家/地区的数据进行了一项生态学研究,采用 NDVI 评估绿色空间,采用残疾调整生命年(DALY)和发病率数据表示乳腺癌疾病负担,通过广义线性混合模型来探讨空气污染和绿色空间露与乳腺癌疾病负担的关系,发现 NDVI 每增加一个四分位间距,DALY 就会减少 13.5%,乳腺癌发病率就会减少 12.3%,表明绿色空间对乳腺癌具有保护作用,且交互作用分析还显示更高的绿色空间暴露可以降低空气污染对乳腺癌的不利影响。上述研究结果在以色列^[15]、西班牙^[16]、法国^[17]和比利时^[18]等多个国家的研究中得到印证。这些研究均使用 NDVI 评估绿色空间,结果显示 NDVI 每增加一个四分位间距,乳腺癌发病风险降低 7%~19%。且参与者居住地址与绿色空间的距离越近,对乳腺癌的保护作用越强^[16,19]。然而,在德国的一项样本量为 190 多万例患者的大型队列研究中同样使用 NDVI 评估绿色空间,并没有观察到绿色空间对乳腺癌具有任何影响^[20]。这一矛盾的结果提示研究人员在探讨绿色空间与疾病发病率之间关系时,需考虑地域、社会经济状况及研究设计等多重因素的影响。

然而,绿色空间与子宫癌和卵巢癌的关系仍有待验证。一项基于“英国生物银行”队列数据分析使用参与者住宅地址周围总绿地、家庭花园和其他绿地类型覆盖率评估绿色空间,发现总绿地覆盖率每增加 1 个四分位间距,子宫癌发病风险降低 14%,家庭花园覆盖率每增加 1 个四分位间距,乳腺癌和子宫癌发病风险降低 9% 和 20%,但未观察任何类型绿色空间与卵巢癌的相关性^[21]。这一结果不仅填补了绿色空间对卵巢癌和子宫癌影响研究的空白,还提示研究人员绿色空间对女性生殖系统肿瘤的影响可能因绿色空间的种类而有所差异。

当前大量流行病学研究支持绿色空间对乳腺癌的保护作用,但对于子宫癌和卵巢癌的研究相对匮乏,未来需更多高质量的研究来进一步验证这些发现,并探讨影响结果的潜在因素。

1.3 女性生育能力 生育率和年轻人是一个社会和国家实力最重要的组成部分。近年来,全球女性不孕症的发病率逐年上升,导致女性总生育率持续下降,全球出生人口数量迅速缩减,对全球的发展带来了严峻挑战^[22]。在这一背景下探寻可能影响女性生育能力的环境因素就显得愈发关键。

基于美国年龄为 21~45 岁女性的一项前瞻性孕前队列研究使用不同空间和时间尺度上的 NDVI(包括 50、100 和 250 m 缓冲区的年度最大值、季节最大值和季节平均值)评估绿色空间,以研究绿色空间与

生育能力的关系。结果发现较高的绿色空间暴露与较高的生育能力之间存在非线性相关性,且不同缓冲区距离结果一致,但与长期较低水平的绿色空间暴露(即季节平均值)相比,短时间内高水平的绿色空间暴露(如年度最大值和季节性最大值)对生育能力的影响更大^[23]。绿色空间对女性生育能力的影响可能与女性体内生殖激素的变化相关。既往研究表明,生殖激素在调节生殖功能方面发挥着重要作用,激素生成受损会引发一系列女性生殖功能障碍,如月经周期异常、卵巢储备功能下降、不孕等^[24]。现有的流行病学证据表明,增加绿色空间接触可能与调节女性内分泌有关,因为增加绿色空间接触与抗苗勒氏管激素和卵泡刺激素、孕酮和睾酮等生殖激素增加有关^[25-26]。

此外,辅助生殖技术(ART)是当前治疗不孕症,提高生育率的一种重要手段,包括但不限于体外受精、和胚胎移植、卵子或胚胎冷冻、胚胎活检和着床前基因检测等技术^[27]。近年来,随着不孕不育发生率的提高,接受 ART 治疗的人数正在持续上升。据估计,在欧洲和美国超过 2% 的婴儿是通过 ART 治疗出生的^[28]。既往研究表明,接受 ART 治疗后的女性生育力和妊娠结局更容易受环境因素影响。而现有研究发现,增加绿色空间暴露与接受 ART 治疗的女性生育能力改善有关,但与接受 ART 治疗后的妊娠结局无关。FANG 等^[29]研究发现,接受 ART 治疗的女性长期暴露于绿色空间与女性生殖激素分泌增加相关,且绿色空间可以通过吸收和沉积空气中的污染物,抵消二氧化硫和一氧化碳对生殖激素的负面影响。然而,HUANG 等^[30]使用 250、500 和 1 000 m 缓冲范围的 NDVI 评估绿色空间,发现 NDVI 与接受 ART 治疗的 3 种结局(活产、生化妊娠和临床妊娠)之间无显著相关性,NDVI 暴露不会降低空气污染物对 ART 治疗结局的不利影响。

绿色空间作为一种环境干预手段,对于提高女性生育能力具有潜在价值。然而,绿色空间与接受 ART 治疗结局之间的关联仍缺乏充分证据,未来研究应侧重探索绿色空间在 ART 治疗结局之间的关系。此外,鉴于生育能力是基于夫妇双方的结果,且绿色空间可能通过影响女性体内生殖激素提高女性生育能力,但绿色空间与男性生育力的关联仍不清楚。未来的研究应综合考虑男性和女性的生殖健康,以及如何制定有效的公共政策来增加绿色空间的覆盖率,以期达到提升整个社会生育率的目的。

1.4 妊娠结局 妊娠结局是指孕妇在妊娠期间的健康状况和胎儿的发育情况,包括正常生理性的妊娠结局和不良妊娠结局,是评估孕妇和胎儿健康状况的重要指标。近年来,随着人们对女性生殖健康影响因素认知的不断加深,大量研究开始聚焦于绿色空间暴露对妊娠结局的影响,尤其是新生儿出生结局和孕妇的

妊娠并发症。

关于绿色空间与新生儿结局的关联,当前研究主要侧重关注绿色空间对出生体重(BW)、早产(PTB)和小于胎龄儿(SGA)的影响,且大部分研究证据认为绿色空间增加与 BW 增加和 PTB 及 SGA 风险降低相关。一项来自 9 个欧洲国家的出生队列使用参与者周围 100、300 和 500 m 缓冲区内的 NDVI 和参与者居住地址到最近的绿色空间的距离来评估绿色空间,观察到 NDVI 的增加与 BW 增加和 SGA 发生率降低有关,并且居住地址距离绿色空间越远,BW 越低,SGA 发病率越高^[31]。在加拿大、澳大利亚和我国等多个国家的研究中以 NDVI 评估绿色空间,以 PTB、SGA 和 BW 等多个妊娠结局为研究终点,发现 NDVI 每增加 0.1 个单位,PTB 风险降低 2%~24%,SGA 风险降低 2.0%~39.5%,BW 增加 15.1~20.6 g,具体效应大小可能与缓冲区大小和城市相关^[32-36]。其中少量研究还探讨了妊娠期间孕妇对绿色空间暴露的易感性窗口,发现绿色空间对 PTB、BW 和 SGA 的保护作用在妊娠第 3~5 个月期间更强^[33,36]。然而,也有部分研究结果显示,绿色空间对 BW 和 PTB 没有影响。例如,2017 年一项涉及 300 万例婴儿的大型队列研究指出,在完全调整种族、教育和收入等因素后,结果显示住宅绿色空间暴露与 BW、PTB 和 SGA 之间无显著相关性^[37]。这表明绿色空间与妊娠结局的关系可能受到多种复杂因素的干扰,不能简单地一概而论。

此外,还有少量研究探讨了绿色空间与孕妇妊娠并发症的关联,包括妊娠期抑郁症(PD)、妊娠高血压疾病(GHD)或妊娠期糖尿病(GDM)之间的关联,但研究结果好坏参半。RUNKLE 等^[38]在一项样本量为 238 922 例的回顾性队列研究中使用 3 种指标(包括绿地面积百分比、人均可用绿地面积和步行 10 min 内的总人口数量)评估绿色空间,分析绿色空间与 GHD、GDM 和 PD 等多个妊娠并发症的相关性,观察到 3 个绿色空间指标暴露水平低的参与者患 GDM 和 PD 的风险更高,尤其是在黑种人妇女中。此外,还有 2 项研究使用 NDVI 评估绿色空间,单独探讨了绿色空间对 GDM 的影响,结果发现居住区周围绿色空间水平的提高与孕妇葡萄糖水平和 GDM 的发病风险降低有关,且在低 PM_{2.5} 或 O₃ 水平下绿色空间对 GDM 的保护作用最强,再次证明了绿色空间对 GDM 的保护作用^[39-40]。然而,当前关于绿色空间对 PD 的影响仍有争议。MCEACHAN 等^[41]使用 NDVI 评估绿色空间,结果显示较高的绿色空间与 PD 的发病率减少相关,与 RUNKLE 等^[38]的研究结果一致,但在另一项样本量约为 40 万例的大型回顾性队列研究中却未观察到 NDVI 与 PD 的关联^[42]。

总之,尽管当前大多数证据支持绿色空间对

PTB、BW、SGA 和 GDM 存在保护作用,但绿色空间对 PD 和 GHD 的影响仍有争议。此外,关于绿色空间与其他妊娠结局(如活产、流产、胎膜早破和异位妊娠等结局)的相关性,目前仍缺乏相关报道。因此,为了更全面理解绿色空间对妊娠结局的影响,未来的研究应纳入更多的不良妊娠结局,系统探讨绿色空间对不良妊娠结局的影响,为预防和干预不良妊娠结局提供科学依据。

2 绿色空间影响女性生殖健康的途径

2.1 降低空气污染物浓度 绿色空间影响女性生殖健康的机制尚不明确,但可能与降低空气污染物浓度有关。既往研究结果显示,空气污染物暴露通过诱发全身氧化应激、炎症反应和内分泌破坏等途径影响女性生殖健康^[43]。众所周知,绿色空间可通过吸收和拦截等多种方式降低空气污染物浓度。基于此,许多学者假设降低空气污染浓度是绿色空间影响不良妊娠结局的重要途径之一,并使用中介分析深入探讨空气污染在绿色空间与女性生殖健康的关联中的具体作用大小。例如,YU 等^[39]研究结果显示,绿色空间可通过减少 PM_{2.5} 和 O₃ 的浓度降低 GDM 的发病率,其中介比例分别为 2.5%~5.5% 和 30.1%~38.5%。LEE 等^[35]研究结果显示,颗粒物在绿色空间与 PTB 和 SGA 的关联中介导比例分别为 5%~19% 和 15%~37%。LAURENT 等^[44]的中介结果分析显示,绿色空间对低出生体重(LBW)的影响有 12% 是由降低 PM_{2.5} 介导的。但在绿色空间与乳腺癌的关联中,并未观察到 PM_{2.5} 和 NO₂ 具有中介作用^[16,18]。以上研究结果显示绿色空间可能通过减少空气污染浓度降低 PTB、SGA 和 LBW 的发病风险,但这种途径并不适用于乳腺癌。

2.2 增加体力活动 有研究报道,适当的身体活动可对成年女性的某些生殖健康结局产生有益影响,并逐渐发展成一种易负担且可行的生育治疗的替代或补充疗法^[45]。而公园、草地或其他公共场所则有助于鼓励人群参加更多的体力活动。因此,增加体力活动可能是绿色空间影响女性生殖健康的途径之一。但当前对于体力活动是否介导了绿色空间对生殖健康的影响的直接证据较少且仍有争议。3 项研究未发现体力活动调节了绿色空间与乳腺癌^[16]、生育力^[23]、生殖激素^[46]的关联。但 WEI 等^[26]发现体力活动在绿色空间与睾酮的关联中介导比例是 2.92%。MCEACHAN 等^[41]发现,体力活动在绿色空间与产前抑郁症的关联中介导比例是 5.6%~7.8%。SUN 等^[42]发现,体力活动在绿色空间与产后抑郁症的关联中介导比例是 5.6%~7.8%。

2.3 减轻心理压力 最后,既往研究发现增加绿色空间暴露可通过减轻心理压力,从而为健康带来益处,但当前关于心理压力是否是绿色空间影响女性生

殖健康的途径的直接证据很少。目前,仅 WILLIS 等^[23]使用了中介分析探讨心理压力在绿色空间和生育力关联中的中介作用,结果显示心理压力可解释 1.1%~5.0% 的中介作用。

绿色空间可能通过降低空气污染、增加体力活动和减轻心理压力等途径影响女性的生殖健康。然而,目前仍缺乏足够的直接流行病学证据支持这些结论。未来的研究需要进一步探讨这些机制的具体影响,以便更好地理解 and 利用绿色空间对女性生殖健康的积极作用。

3 结语与展望

有研究表明,增加绿色空间暴露与绝经年龄推迟,女性生育能力改善、出生体重增加、乳腺癌、早产和小于胎龄儿发病率降低相关,但与初潮和绝经年龄、子宫癌、卵巢癌、妊娠期糖尿病、GDH 和 PD 的证据仍有限。绿色空间影响女性生殖健康的途径可能与降低空气污染,减轻心理压力和增加体力活动相关。上述研究不仅强调了保护和扩大绿色空间在提升女性生殖健康方面的潜在价值,还为城市规划者和政策制定者提供了科学依据。未来的研究方向应集中在探索不同类型和不同缓冲区的绿色空间和对女性生殖健康的特定影响,并继续探讨其影响机制。

参考文献

[1] SEN G. The World programme of action;a new paradigm for population policy [J]. Environment, 1995, 37 (1): 10-15.

[2] 孟子涓,陈友庆. 生殖健康及其影响因素[J]. 中国健康心理学杂志,2017,25(10):1593-1597.

[3] SMITH S, PFEIFER S M, COLLINS J A. Diagnosis and management of female infertility [J]. JAMA, 2003, 290 (13):1767-1770.

[4] WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFF-ICE FOR E. Nature, biodiversity and health:an overview of interconnections [M]. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe, 2021: 112-119.

[5] NIEUWENHUIJSEN M J. Green Infrastructure and Health [J]. Annu Rev Public Health, 2021, 42:317-328.

[6] GENESHKA M, COVENTRY P, CRUZ J, et al. Relationship between green and blue spaces with mental and physical health;a systematic review of longitudinal observational studies [J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(17):342-352.

[7] SHI J, ZHANG B, CHOI J Y, et al. Age at menarche and age at natural menopause in East Asian women: a genome-wide association study [J]. Age (Dordr), 2016, 38 (5/6):513-523.

[8] OKOTH K, CHANDAN J S, MARSHALL T, et al. Association between the reproductive health of young women and cardiovascular disease in later life: umbrella

- review[J]. *BMJ*, 2020, 371: m3502.
- [9] HU Z B, LU Z X, ZHU F. Age at menarche, age at menopause, reproductive years and risk of fatal stroke occurrence among Chinese women: the Guangzhou Biobank Cohort Study[J]. *BMC Womens Health*, 2021, 21(1): 433.
- [10] DUNNERAM Y, GREENWOOD D C, CADE J E. Diet, menopause and the risk of ovarian, endometrial and breast cancer[J]. *Proc Nutr Soc*, 2019, 78(3): 438-448.
- [11] TRIEBNER K, MARKEVYCH I, HUSTAD S, et al. Residential surrounding greenspace and age at menopause: a 20-year European study (ECRHS)[J]. *Environ Int*, 2019, 132: 105088.
- [12] MARKEVYCH I, ASTELL-BURT T, ALTUG H, et al. Residential green space and age at menarche in German and Australian adolescent girls: a longitudinal study[J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2022, 240: 113917.
- [13] FERLAY J, COLOMBET M, SOERJOMATARAM I, et al. Cancer statistics for the year 2020: an overview[J]. *Int J Cancer*, 2021, 2021: 223-238.
- [14] ZHANG P, ZHOU C, ZHAO K, et al. Associations of air pollution and greenness with global burden of breast cancer: an ecological study[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2023, 30(47): 103921-103931.
- [15] KAYYAL-TARABEIA I, MICHAEL Y, LENSKEY I M, et al. "Residential greenness and site-specific cancer: a registry based cohort of 144,427 participants with a 21-years of follow-up, Tel-Aviv district, Israel"[J]. *Environ Res*, 2022, 212(Pt C): 113460.
- [16] O' CALLAGHAN-GORDO C, KOGEVINAS M, CIRACH M, et al. Residential proximity to green spaces and breast cancer risk: the multicase-control study in Spain (MCC-Spain)[J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2018, 221(8): 1097-1106.
- [17] ZARE SAKHVIDI M J, YANG J, SIEMIATYCKI J, et al. Greenspace exposure and cancer incidence: a 27-year follow-up of the French GAZEL cohort[J]. *Sci Total Environ*, 2021, 787: 147553.
- [18] RODRIGUEZ-LOUREIRO L, VERDOODT F, LEFEBVRE W, et al. Long-term exposure to residential green spaces and site-specific cancer mortality in urban Belgium: a 13-year follow-up cohort study[J]. *Environ Int*, 2022, 170: 107571.
- [19] MASON K E, PEARCE N, CUMMINS S. Neighborhood environment and socioeconomic inequalities in cancer admissions: a prospective study using UK Biobank and linked hospital records[J]. *Cancer Causes Control*, 2022, 33(12): 1431-1444.
- [20] DATZMANN T, MARKEVYCH I, TRAUTMANN F, et al. Outdoor air pollution, green space, and cancer incidence in Saxony: a semi-individual cohort study[J]. *BMC Public Health*, 2018, 18(1): 715.
- [21] ODEBEATU C C, DARSSAN D, ROSCOE C, et al. Greenspace and risk of obesity-related cancer in the UK Biobank cohort: an analysis of private residential gardens and other greenspace types[J]. *Sci Total Environ*, 2024, 943: 173833.
- [22] VOLLSET S E, GOREN E, YUAN C W, et al. Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study[J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1285-1306.
- [23] WILLIS M D, WESSELINK A K, HYSTAD P, et al. Associations between residential greenspace and fecundability in a North American Preconception Cohort Study[J]. *Environ Health Perspect*, 2023, 131(4): 47012.
- [24] ABO S, SMITH D, STADT M, et al. Modelling female physiology from head to toe: impact of sex hormones, menstrual cycle, and pregnancy[J]. *J Theor Biol*, 2022, 540: 111074.
- [25] ABARESHI F, SHARIFI Z, HEKMATSHOAR R, et al. Association of exposure to air pollution and green space with ovarian reserve hormones levels[J]. *Environ Res*, 2020, 184: 109342.
- [26] WEI D, LI S, LIU X, et al. Long-term exposure to particulate matter and residential greenness in relation to androgen and progesterone levels among rural Chinese adults[J]. *Environ Int*, 2021, 153: 106483.
- [27] ESTEVES S C, HUMAIDAN P, ROQUE M, et al. Female infertility and assisted reproductive technology[J]. *Panminerva Med*, 2019, 61(1): 1-2.
- [28] FERRARETTI A P, NYGREN K, ANDERSEN A N, et al. Trends over 15 years in ART in Europe: an analysis of 6 million cycles[J]. *Hum Reprod Open*, 2017, 2017(2): hox012.
- [29] FANG L, MA C, MA Y, et al. Associations of long-term exposure to air pollution and green space with reproductive hormones among women undergoing assisted reproductive technology: a longitudinal study[J]. *Sci Total Environ*, 2023, 905: 166941.
- [30] HUANG K, ZHANG Z, HU M, et al. Association of specific PM(2.5) chemical constituents and ozone exposure with pregnancy outcomes in women undergoing assisted reproductive technology treatment in central China[J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2025, 263: 114474.
- [31] TORRES TODA M, AVRAAM D, JAMES CADMAN T, et al. Exposure to natural environments during pregnancy and birth outcomes in 11 European birth cohorts[J]. *Environ Int*, 2022, 170: 107648.
- [32] HYSTAD P, DAVIES H W, FRANK L, et al. Residential greenness and birth outcomes: evaluating the influence of spatially correlated built-environment factors[J]. *Environ Health Perspect*, 2014, 122(10): 1095-102.
- [33] YE T, ZHANG Y, CHEN G, et al. Associations between neighborhood greenspace and multiple birth outcomes across two metropolitan areas in Australia[J]. *Sci Total Environ*, 2023, 891: 164647.

[34] YU Y, LIN H, LIU Q, et al. Association of residential greenness, air pollution with adverse birth outcomes: results from 61,762 mother-neonatal pairs in project ELEFANT (2011—2021)[J]. *Sci Total Environ*, 2024, 912: 169549.

[35] LEE P C, WU C D, TSAI H J, et al. Residential greenness and birth outcomes; evaluating the mediation and interaction effects of particulate air pollution[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2021, 211: 111915.

[36] SUN Y, SHERIDAN P, LAURENT O, et al. Associations between green space and preterm birth; windows of susceptibility and interaction with air pollution[J]. *Environ Int*, 2020, 142: 105804.

[37] CUSACK L, LARKIN A, CAROZZA S, et al. Associations between residential greenness and birth outcomes across Texas[J]. *Environ Res*, 2017, 152: 88-95.

[38] RUNKLE J D, MATTHEWS J L, SPARKS L, et al. Racial and ethnic disparities in pregnancy complications and the protective role of greenspace; a retrospective birth cohort study[J]. *Sci Total Environ*, 2022, 808: 152145.

[39] YU Z, FENG Y, CHEN Y, et al. Green space, air pollution and gestational diabetes mellitus; a retrospective cohort study in central China[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2023, 249: 114457.

[40] LIAO J, CHEN X, XU S, et al. Effect of residential exposure to green space on maternal blood glucose levels, impaired glucose tolerance, and gestational diabetes mellitus [J]. *Environ Res*, 2019, 176: 108526.

[41] MCEACHAN R R, PRADY S L, SMITH G, et al. The association between green space and depressive symptoms in pregnant women; moderating roles of socioeconomic status and physical activity[J]. *J Epidemiol Community Health*, 2016, 70(3): 253-359.

[42] SUN Y, MOLITOR J, BENMARHIA T, et al. Association between urban green space and postpartum depression, and the role of physical activity; a retrospective cohort study in Southern California[J]. *Lancet Reg Health Am*, 2023, 21: 100462.

[43] FUSSELL J C, JAUNIAUX E, SMITH R B, et al. Ambient air pollution and adverse birth outcomes; a review of underlying mechanisms[J]. *Bjog*, 2024, 131(5): 538-550.

[44] LAURENT O, BENMARHIA T, MILESI C, et al. Relationships between greenness and low birth weight; investigating the interaction and mediation effects of air pollution[J]. *Environ Res*, 2019, 175: 124-132.

[45] MENA G P, MIELKE G I, BROWN W J. The effect of physical activity on reproductive health outcomes in young women; a systematic review and meta-analysis[J]. *Hum Reprod Update*, 2019, 25(5): 541-563.

[46] HOOD R B, JAMES P, FONG K C, et al. The influence of fine particulate matter on the association between residential greenness and ovarian reserve[J]. *Environ Res*, 2021, 197: 111162.

(收稿日期: 2024-10-29 修回日期: 2025-03-18)

(上接第 1728 页)

[22] 王宋庆, 康芙嘉, 袁佳敏, 等. 种植钉植入高度对隐形矫治远移下磨牙时应力分布的影响[J]. *口腔疾病防治*, 2024, 32(3): 188-195.

[23] 王宋庆, 康芙嘉, 袁佳敏, 等. 种植钉植入高度对隐形矫治远移下磨牙时应力分布的影响[J]. *口腔疾病防治*, 2024, 32(3): 188-195.

[24] 康芙嘉, 孙芸芸, 张晗, 等. 不同部位微种植体辅助隐形矫治器远移下颌磨牙的三维有限元分析[J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2023, 49(4): 1027-1033.

[25] RUNZHI G, XIANGYAO L, LIWEN L, et al. Biomechanical analysis of miniscrew-assisted molar distalization with clear aligners; a three-dimensional finite element study[J]. *Eur J Orthodont*, 2024, 46(1): cjad077.

[26] 林青, 邹玉春, 许家辉, 等. 无托槽隐形矫治器用于上颌磨牙组牙扩弓的三维有限元分析[J]. *实用口腔医学杂志*, 2022, 38(3): 353-358.

[27] 杨莹, 张笑榕, 李星翰, 等. 无托槽隐形矫治器扩展上颌牙弓时附件对牙齿整体移动影响的三维有限元分析[J]. *中国美容医学*, 2022, 31(12): 111-115.

[28] 唐倩, 欧晓丽, 方志欣, 等. 无托槽隐形矫治器扩展上颌牙弓时附件差异对后牙位移的三维有限元分析[J]. *中国美容医学*, 2024, 33(6): 117-120.

[29] 杨莹, 张笑榕, 李星翰, 等. 无托槽隐形矫治器扩展上颌牙弓时附件对牙齿整体移动影响的三维有限元分析[J]. *中国美容医学*, 2022, 31(12): 111-115.

[30] 苏涛, 王星星, 向彪, 等. 不同刚度的无托槽隐形矫治器扩大上颌牙弓的有限元分析[J]. *口腔医学研究*, 2020, 36(5): 454-458.

[31] 陈琳, 徐晓梅, 张丽, 等. 有限元分析不同尖牙远移量在隐形矫正中对前牙压低的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(35): 5669-5675.

[32] 黄锡钰, 王诗语, 刘浩, 等. 矢状向过矫治对无托槽隐形矫治下前牙压低位移与应力的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(29): 4593-4598.

[33] 施则安, 夏恺, 罗良语, 等. 无托槽隐形矫治器联合微种植体内收并压低上前牙的三维有限元分析[J]. *华西口腔医学杂志*, 2022, 40(5): 589-596.

[34] 康芙嘉, 张茜雅, 余磊, 等. 微种植体辅助无托槽隐形矫治器压低上颌前牙的三维有限元分析[J]. *口腔医学*, 2023, 43(9): 796-802.

[35] 张羽彤, 陈颖, 熊国平. 无托槽隐形矫治器不同设计对伴牙槽骨吸收中切牙压低效能的有限元分析[J]. *临床口腔医学杂志*, 2022, 38(10): 604-607.

(收稿日期: 2024-11-26 修回日期: 2025-03-16)