

家庭或学校植被水平与儿童青少年肥胖水平间的关联

黄文忠¹, 许姝丽², 方秋玲², 董光辉²

1. 莫纳什大学公共卫生与预防医学学院流行病学和预防医学系, 澳大利亚 墨尔本 3004
2. 中山大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 广东 广州 510080



DOI 10.11836/JEOM21387

摘要：

[背景] 植被暴露水平与儿童青少年肥胖水平的关联性研究证据尚不一致, 且多来自发达国家和地区, 我国的研究证据相对较少。

[目的] 评估基于卫星遥感数据估计的植被覆盖水平与儿童青少年肥胖水平的关联。

[方法] 2016—2018年, 在中国珠三角地区3个城市52316名5~18岁儿童青少年中开展了一项横断面研究, 通过问卷调查获得基本社会人口学特征和肥胖水平。应用陆地遥感卫星(Landsat)数据和中分辨率成像光谱仪(MODIS)产品评估研究对象所在学校和家庭周围的植被水平, 计算家庭或学校所在500 m和1000 m缓冲区半径内的归一化植被指数(NDVI)、植被覆盖率(VCF)、土壤调整植被指数(SAVI)、增强型植被指数(EVI)。应用二水平广义线性模型评估不同植被暴露水平下的儿童青少年相对于最低植被暴露水平下的体重指数z分值(zBMI)变化和相对超重风险, 并采用限制性立方样条评估暴露-反应关系。采用反事实框架模型评估PM_{2.5}和NO₂, 以及体育锻炼水平在其关联上的中介作用。

[结果] 研究最终纳入的52316名儿童中, 8406人(16.1%)为超重。植被水平与儿童青少年的zBMI呈现出非线性的暴露-反应关联, 当植被达到一定水平时, 儿童青少年zBMI降低。按照植被水平四分位数分组, 调整协变量后, 与处于NDVI_{500 m}和VCF_{500 m}最低四分位组的儿童青少年相比, 处于最高四分位组的儿童青少年zBMI和超重风险更低: 家庭处于NDVI_{500 m}第四四分位组的儿童青少年zBMI值相对于第一四分位组的变化量(*b*)为-0.07(95%CI: -0.10~-0.04), 超重OR为0.92(95%CI: 0.85~0.99)。当使用1000 m缓冲半径和SAVI、EVI时, 观察到了与500 m缓冲半径植被暴露对儿童肥胖水平类似的负相关关联。中介分析结果显示: 调整协变量后, 最高NDVI_{500 m}四分位组中, 家庭和周围空气污染分别介导了NDVI_{500 m}与儿童青少年zBMI负向关联的50%(95%CI: 20%~80%)、90%(95%CI: 50%~160%), 未观察到体育锻炼水平的中介效应。

[结论] 家庭或学校周围更高的植被水平可能与儿童青少年较低的zBMI、超重风险相关, 并且这种关联可能部分是通过降低空气污染物浓度实现的。

关键词： 植被水平; 归一化植被指数; 植被覆盖率; 儿童青少年; 体重指数z分值; 超重

Association of greenness surrounding schools and homes with adiposity levels in children and adolescents HUANG Wenzhong¹, XU Shuli², FANG Qiuling², DONG Guanghui² (1. Department of Epidemiology and Preventive Medicine, School of Public Health and Preventive Medicine, Monash University, Melbourne, VIC 3004, Australia; 2. Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510080, China)

Abstract:

[Background] Evidence on the association between greenness and adiposity in children and adolescents is inconsistent and mostly from developed countries. Relatively limited evidence is from China.

[Objective] To assess the association between greenness and adiposity in children and adolescents based on satellite remote sensing data.

[Methods] From 2016 to 2018, a cross-sectional study was conducted among 52316 children and adolescents aged 5-18 years in three cities in the Pearl River Delta region of China. Basic sociological and demographic characteristics of the population and adiposity levels were

组稿专家

邓芙蓉(北京大学公共卫生学院), E-mail: lotus321321@126.com

基金项目

国家自然科学基金项目(81872582); 中德合作交流项目(M-0420)

作者简介

黄文忠(1996—), 男, 博士生;
E-mail: hwzjiayou8@gmail.com

通信作者

董光辉, E-mail: donggh5@mail.sysu.edu.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-08-21

录用日期 2021-11-11

文章编号 2095-9982(2022)01-0023-07

中图分类号 R12

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21387

► 引用

黄文忠, 许姝丽, 方秋玲, 等. 家庭或学校植被水平与儿童青少年肥胖水平间的关联 [J]. 环境与职业医学, 2022, 39(1): 23-29.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21387

Funding

This study was funded.

Correspondence to

DONG Guanghui, E-mail: donggh5@mail.sysu.edu.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-08-21

Accepted 2021-11-11

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21387

► To cite

HUANG Wenzhong, XU Shuli, FANG Qiuling, et al. Association of greenness surrounding schools and homes with adiposity levels in children and adolescents[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(1): 23-29.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21387

collected through questionnaires. Land Remote-Sensing Satellite (Landsat) data and moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) products were used to quantify the greenness around the schools and homes, including normalized difference vegetation index (NDVI), vegetation continuous field (VCF), soil-adjusted vegetation index (SAVI), and enhanced vegetation index (EVI) calculated within 500 m and 1000 m buffers centered around the participants' homes or schools. A restricted cubic spline function was used to assess the exposure-response relationship. After categorizing greenness levels into quartiles with the first quartile as the reference, two-level generalized linear models were applied to assess the change in body mass index z-scores (zBMI) and the risk of overweight of children and adolescents in higher quartiles relative to the lowest quartile. In addition, counterfactual framework modelling was applied to assess the potential mediation effects of PM_{2.5} and NO₂, and physical activity levels on the associations between greenness and adiposity levels.

[Results] Of the 52316 children included, 8406 (16.1%) were overweight. A non-linear negative association of the level of greenness around the homes or schools and zBMI was found, with a significant lower zBMI in children and adolescents when a certain level of greenness was reached. After adjusting for confounders, the participants in the highest quartile had a significantly lower level of zBMI and a significantly lower risk of overweight compared with those in the lowest quartile of NDVI_{500 m} and VCF_{500 m}. The estimate change (*b*) for zBMI was -0.07 (95%CI: -0.10--0.04) and the odds ratio (OR) for overweight was 0.92 (95%CI: 0.85-0.99) for the students in the highest NDVI_{500 m} quartile based on home address compared to those in the lowest quartile. Significant negative associations were also observed when 1000 m buffer, SAVI, and EVI were used. The mediation analysis showed that PM_{2.5} and NO₂ partially mediated the negative association of NDVI_{500 m} with zBMI, and the proportions of mediation were 50% (95%CI: 20%-80%) and 90% (95%CI: 50%-160%), respectively while no significant mediation effect was observed for physical activity level.

[Conclusion] Higher levels of greenness surrounding homes or schools may be associated with a reduced risk of overweight and decreased zBMI in children and adolescents, and such associations may be partially mediated by reducing air pollutant concentrations.

Keywords: greenness; normalized difference vegetation index; vegetation continuous field; children and adolescents; body mass index z-score; overweight

1975—2016年,全球儿童和青少年的超重率从4%急剧上升到18%左右^[1]。中国儿童青少年的超重率也呈现出急剧上升的趋势^[2],儿童超重已经成为中国乃至全球的一个严峻的公共卫生问题^[1-2]。儿童超重可以增加高血压、高脂血症、糖代谢受损、阻塞性睡眠呼吸暂停的发病风险,且与成年后的肥胖高度相关^[3-4]。超重问题已经对中国造成了巨大经济负担,亟须有效的干预策略来应对这一趋势^[5-6]。

超重可以由一系列环境、遗传和生活习惯等因素所引起^[7-8]。然而,从公共卫生的角度来看,明确与人体超重的相关环境因素,有助于通过城市规划政策或公共卫生措施在群体水平上降低肥胖水平^[9]。植被(包括树木、草地等)是生活环境的重要组成部分,已经有大量证据表明其对人体健康有促进作用^[8]。植被可以通过降低环境有害暴露水平(空气污染、噪声)和促进人体体育锻炼水平,缓解压力等方式促进健康^[10]。关于植被暴露和儿童青少年肥胖水平关系的研究也有报道,然而研究证据主要是来自发达国家或地区,并且由于地区间绿色植被种类和人群健康及行为特征的差异,暴露评估方法的不同,其所得结论并不一致^[8]。例如,Wilhelmsen等^[11]于2017年针对10527名14~17岁挪威青少年的横断面研究发现,居住于植被覆盖水平更高区域的人群超重风险较低,而另一项关于6772名平均年龄为5岁的加拿大儿童的横断面研究发现植被暴露水平(公园距离、公园数量

等)与儿童超重不相关^[12]。目前相关研究大都只关注于家庭或学校周围植被单一维度的暴露水平,很少有研究同时评估二者对儿童青少年健康的影响。

因此,本研究旨在通过纳入中国多城市大样本的儿童青少年人群,评估家庭和学校周围植被水平与儿童青少年肥胖水平的关联,并探索空气污染物浓度和体育锻炼水平是否在二者关联上发挥中介作用,以期为城市绿地规划和儿童青少年肥胖防控提供科学证据,为相关的机制研究提供线索。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究于2016—2018年开展,为横断面研究,研究对象来源于中国珠三角地区3个城市(广州、茂名、珠海)的儿童青少年。在这3个城市中随机抽取58个中小学,其中广州37个,茂名13个,珠海8个。在每个学校中,向所有年级的所有班级发放健康调查问卷,共发放并收集67553份健康调查问卷。问卷由学生家长/监护人填写,由老师发放问卷并监督问卷质量。问卷内容主要包括家庭收入、家庭成员年龄和受教育水平等家庭基本情况以及家庭成员基本健康状况(如身高、体重、呼吸系统健康情况、慢性病患病情况)等。该研究方案已获得中山大学医学伦理委员会的批准(批号:L2018-019),且在收集个人信息之前,父母或其他监护人签署了书面知情同意书。

1.2 肥胖水平测量和定义

基于研究对象监护人报告的其身高和体重等信息,根据世界卫生组织提出的儿童生长标准,本研究计算了每个学生于特定年龄和性别组的体重指数 z 分值(body mass index z-scores, zBMI)^[13]。儿童青少年 zBMI > 1 定义为超重。

1.3 植被覆盖水平评估

本研究以家庭和学校住址经纬度为中心,分别以 500 m 和 1000 m 为半径构建圆形缓冲区。下载缓冲区域 2016—2018 年的三年时间序列卫星图像(Landsat 8 卫星的地表反射率数据, <http://earthexplorer.usgs.gov>)和相关植被覆盖率(vegetation continuous fields, VCF)产品数据(<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod44bv006/>)评估植被覆盖水平。排除含云量较高或数值异常的像元后,基于卫星图像提供的不同波段的地表反射值,计算归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、土壤调整植被指数(soil-adjusted vegetation index, SAVI)、增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)来评估绿地暴露水平,三者计算公式分别如下^[14-16]: $I_{NDVI} = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$; $I_{SAVI} = (1 + L) \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red} + L}$; $I_{EVI} = G \times \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + C_1 \times R_{Red} - C_2 \times R_{Blue} + L}$ 。

NDVI 和 SAVI 都是利用地表的近红外波段(NIR)和可见红光波段(Red)的反射率(R_{NIR} 、 R_{Red})来计算的^[14-15]。相比于 NDVI, SAVI 的计算公式中包括一个土壤调整因子(L),以减少土壤背景噪声的影响^[14]。与 NDVI 和 SAVI 相比, EVI 的计算还利用了蓝色波段的反射率(R_{Blue}),同时通过增加气溶胶阻抗红光修正系数 C_1 、气溶胶阻抗蓝光修正系数 C_2 和增益系数 G 三个调整参数,对大气条件和树冠背景噪声进行了修正,使得其对茂密植被区域的绿地水平和冠层结构变化更为敏感^[16]。三者的最高空间分辨率均为 30 m × 30 m,且数值范围均在 -1 到 +1 之间,数值越高表示总体植被覆盖水平(包括树木、灌木、树篱和草地)越高。

VCF 反映的是高度超过 5 m 的树木覆盖百分比,数值范围为 0~100,是基于高分辨率的全球卫星图像数据和机器学习算法开发的中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)产品,最高空间分辨率为 250 m × 250 m^[17]。考虑到 NDVI 是评估植被总体水平最为常见的指标^[18],且 VCF 在树木维度评估了植被水平,因此本研究主要采用 NDVI 和 VCF 作为主要植被覆盖评价指标。考虑到 500 m 距离步行用时约为 10 min,为研究对象的主

要活动范围,因此本研究主要以家庭或学校住址周围 500 m 缓冲区半径($NDVI_{500m}$ 、 VCF_{500m})的三年最大植被覆盖水平作为人群长期植被暴露水平^[9,19],同时将 1000 m 缓冲区半径($NDVI_{1000m}$ 、 VCF_{1000m}),或其三年平均或中位植被暴露水平和 SAVI、EVI 作为次要指标以检验结果的稳健性。以上指标的计算均是在 ArcGIS 10.4 和 Google Earth Engine(<https://code.earthengine.google.com/>)中完成。

1.4 混杂因素和潜在中介因素

混杂因素定义为与人群植被暴露和肥胖水平同时相关,但不在二者中间通路上的变量^[20],本研究中包括年龄(岁)、性别(男/女)、家庭年收入(< 10000 元, 10000~29999 元, 30000~99999 元,或 ≥ 10 万元)、父母最高受教育水平(高中及高中以上或高中以下)。中介因素被视为植被暴露和肥胖水平中间通路上的变量,本研究中包括问卷中自述的体育锻炼时间($h \cdot 周^{-1}$)以及空气污染物水平($PM_{2.5}$ 和 NO_2)。

本研究采用机器学习模型算法,结合卫星遥感数据反演家庭或学校的 $PM_{2.5}$ 和 NO_2 浓度。空气污染地面监测站数据来源于环保部环境监测总站(<http://www.cnemc.cn/>)。反演所需卫星数据由美国宇航局官网下载(<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/>),包括气溶胶光学厚度(aerosol optical depth, AOD)数据、对流层垂直柱 NO_2 密度数据、日气象数据、土地利用数据、植被数据、海拔数据及日期等相关变量。反演的日均 $PM_{2.5}$ 和 NO_2 浓度空间分辨率为 0.1° (≈ 10 km)。反演模型的预测准确性采用基于站点实测数据的十倍交叉验证法评估: $PM_{2.5}$ 逐日浓度的交叉验证 R^2 为 83%,均方根误差(root mean square error, RMSE)为 $18.08 \mu g \cdot m^{-3}$; NO_2 逐日浓度的交叉验证 R^2 为 64%,RMSE 为 $12.4 \mu g \cdot m^{-3}$;模型具有良好的预测能力。

1.5 统计学分析

正态分布变量采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)描述,使用 t 检验比较其组间差异;非正态分布变量采用中位数(四分位数间距)[$M(IQP)$]描述,使用 Wilcoxon 检验比较其组间差异。分类变量采用卡方检验来比较其组间差异。采用二水平广义线性模型建立植被覆盖水平和儿童青少年肥胖水平的关联(研究对象为第一水平,城市为第二水平)。为探索其暴露-反应关系曲线,基于二水平广义线性调整模型,以施加立方样条函数植被覆盖水平替代原始植被覆盖水平线性项,从而拟合暴露与结局之间的非线性函数。基于模型广义交叉验证得分最小化的原则确定立方样条函数自由度^[21]。在

初步分析中发现植被暴露水平和儿童青少年肥胖水平的暴露-反应关联呈现出非线性,因此,将植被覆盖水平转换为四分位数分组,作为分类变量纳入模型。同时在模型中控制协变量(年龄、性别、家庭年收入、父母最高受教育水平),计算植被覆盖水平各四分位组相对于其最低四分位组水平的 zBMI 的变化 (unstandardized *b*)、超重的优势比(odd ratio, *OR*)及各自的 95%置信区间(confidence interval, *CI*)。此外,采用 R 语言 *mma* 包,基于反事实框架法评估体育锻炼水平和空气污染物水平在植被覆盖水平对人群肥胖水平通路上的中介作用^[22]。以上所有统计分析均在 R 4.0.3 完成。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 研究对象基本情况

最终纳入的研究对象的基本特征如表 1 所示。本研究一共收集了 67 553 名儿童青少年健康调查问卷,其中有效问卷为 52 316 份(有效回收率为 77.4%)。纳入对象的年龄范围为 5~18 岁,平均年龄为(12.16±3.18)岁,其中男孩 27 567 人(52.7%)、女孩 24 749 人(47.3%)。研究对象中 8 406 人(16.1%)为超重。超重者在年龄、性别构成、家庭年收入、父母最高受教育水平、体育锻炼时间、空气污染物年均水平上与非超重者差异均存在统计学意义($P<0.05$)。

2.2 NDVI、VCF 与 zBMI、超重的关联

非线性模型拟合的暴露-反应关系曲线如图 1 所示,随着家庭或学校周围的年最大 NDVI_{500m}、VCF_{500m} 值升高,儿童青少年的 zBMI 均呈现逐渐降低的趋势,且存在阈值效应。学校和家庭周围的年最大 NDVI_{500m} 和 VCF_{500m} 与儿童青少年 zBMI、超重的关联性分析结果如表 2 所示。调整模型中,与处于 NDVI_{500m} 和 VCF_{500m} 最低四分位组的儿童青少年相比,处于最高四分位组的儿童青少年有着一致且更低的 zBMI。例如:家庭处于 NDVI_{500m} 和 VCF_{500m} 第四四分位组儿童青少年的 zBMI 相对于第一四分位组的儿童青少年的 *b* 值分别为-0.07(95%*CI*: -0.10~-0.04)和-0.05(95%*CI*: -0.08~-0.01);学校处于 NDVI_{500m} 或 VCF_{500m} 第四四分位组儿童青少年的 zBMI 相对于处于第一四分位组儿童青少年的 *b* 值分别为-0.04(95%*CI*: -0.08~-0.01)和-0.07(95%*CI*: -0.10~-0.04)。此外,与家庭处于 NDVI_{500m} 第一四分位组或学校处于 VCF_{500m} 第一四分位组儿童青少年相比,处于第四四分位组儿童青少年的超重风险更低(*OR*=0.92, 95%*CI*: 0.85~0.99; *OR*=0.91, 95%*CI*: 0.85~0.98)。

表 1 研究对象基本特征

Table 1 Basic characteristics of study participants

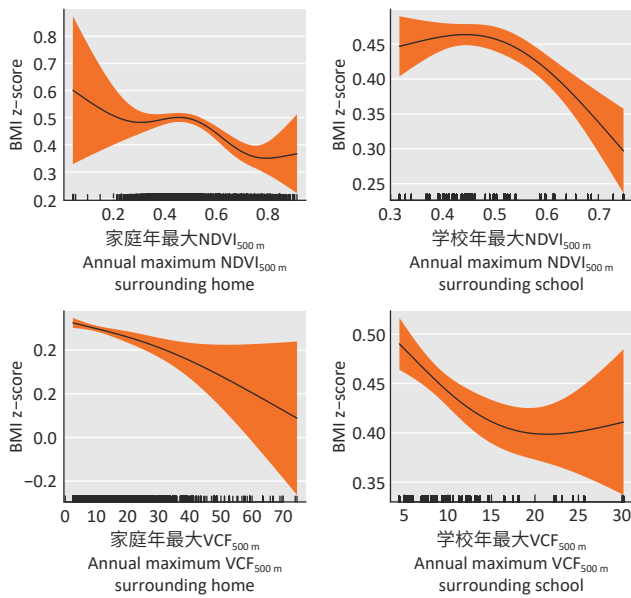
变量 Variable	非超重 Non-overweight (n=43 910)	超重 Overweight (n=8 406)	总计 Overall (n=52 316)	<i>P</i>
zBMI [*]	-0.72±1.02	1.81±0.70	-0.31±1.35	<0.001
年龄 [*] /岁(Age [*] /years)	12.38±3.19	10.98±2.81	12.16±3.18	<0.001
性别 [‡] (Gender) [‡]				<0.001
男(Male)	21 625(49.25)	5 942(70.69)	27 567(52.69)	
女(Female)	22 285(50.75)	2 464(29.31)	24 749(47.31)	
家庭年收入 [‡] /元 Annual household income [‡] /Yuan				<0.001
<10 000	10 002(22.78)	1 820(21.65)	11 822(22.60)	
10 000~29 999	8 305(18.91)	1 411(16.79)	9 716(18.57)	
30 000~99 999	14 069(32.04)	2 593(30.85)	16 662(31.85)	
≥100 000	11 534(26.27)	2 582(30.72)	14 116(26.98)	
父母最高受教育水平 [‡] Highest parental education attainment [‡]				<0.001
低于高中(< High school)	24 430(55.64)	4 035(48.00)	28 465(54.41)	
高中及以上 ≥ High school	19 480(44.36)	4 371(52.00)	23 851(45.59)	
体育锻炼时间 [*] /(h·周 ⁻¹) Exercise [*] /(h·week ⁻¹)	5.93±6.58	6.35±6.64	6.00±6.59	<0.001
空气污染物年均水平 [#] / (μg·m ⁻³) Annual ambient air pollution concentration [#] / (μg·m ⁻³)				
家庭PM _{2.5} PM _{2.5} surrounding home	32.97(5.92)	32.82(5.99)	32.90(5.92)	0.001
家庭NO ₂ NO ₂ surrounding home	35.61(31.51)	33.84(32.92)	35.40(31.74)	0.003
学校PM _{2.5} PM _{2.5} surrounding school	32.87(5.60)	32.82(6.16)	32.87(6.00)	<0.001
学校NO ₂ NO ₂ surrounding school	33.50(30.71)	33.50(34.38)	33.50(30.04)	<0.001
主要绿地暴露水平 [#] Primary greenness metrics [#]				
NDVI _{500m} ^a	0.46(0.12)	0.46(0.12)	0.46(0.12)	0.990
VCF _{500m} ^a	8.47(6.01)	8.69(5.77)	8.47(5.99)	<0.001
NDVI _{500m} ^b	0.46(0.10)	0.46(0.10)	0.46(0.10)	0.195
VCF _{500m} ^b	8.53(4.60)	8.72(4.93)	8.53(4.60)	0.070

[注]^{*}: $\bar{x} \pm s$; [‡]: *n*(%); [#]: *M*(*IQR*)。a: 家庭年最大; b: 学校年最大。

[Note]^{*}: $\bar{x} \pm s$; [‡]: *n*(%); [#]: *M*(*IQR*)。a: Annual maximum surrounding home; b: Annual maximum surrounding school.

2.3 空气污染和体育锻炼水平的中介作用

调整协变量后,处于 NDVI_{500m} 第四四分位组的家庭和学校周围 PM_{2.5} 和 NO₂ 空气污染分别介导了 NDVI_{500m} 与儿童青少年 zBMI 负向关联的 50%(95%*CI*: 20%~80%)、90%(95%*CI*: 50%~160%),而未观察到体育锻炼时间的中介效应。详见表 3。



[注] 曲线调整了年龄、性别、家庭年收入、父母最高受教育水平。
 [Note] Exposure-response curves are adjusted for age, gender, annual household income, and highest parental education attainment.

图1 家庭或学校年最大 NDVI_{500m} 和 VCF_{500m} 与儿童青少年 zBMI 暴露-反应关系

Figure 1 The exposure-response relationships of NDVI_{500m} and VCF_{500m} surrounding schools or homes with zBMI in children and adolescents

表2 家庭或学校年最大 NDVI_{500m} 或 VCF_{500m} 与儿童青少年 zBMI、超重的关联

Table 2 The associations of annual maximum NDVI_{500m} and VCF_{500m} quartiles surrounding schools or homes with zBMI or overweight in children and adolescents

变量(Variable)	分组(Group)	zBMI [b (95%CI)]	超重(Overweight) [OR (95%CI)]
NDVI _{500m} ^a	Q1	1.00	1.00
	Q2	0.02 (-0.01~0.05)	1.05 (0.98~1.12)
	Q3	0.04 (0.01~0.07)*	1.07 (1.00~1.14)
	Q4	-0.07 (-0.10~-0.04)*	0.92 (0.85~0.99)*
NDVI _{500m} ^b	Q1	1.00	1.00
	Q2	0.05 (0.01~0.08)	1.06 (0.99~1.14)
	Q3	0.06 (0.02~0.10)	1.01 (0.94~1.09)
	Q4	-0.04 (-0.08~-0.01)*	0.93 (0.86~1.00)
VCF _{500m} ^a	Q1	1.00	1.00
	Q2	0.03 (-0.01~0.06)	1.03 (0.96~1.11)
	Q3	-0.03 (-0.07~0.00)*	0.96 (0.90~1.03)
	Q4	-0.05 (-0.08~-0.01)*	0.97 (0.90~1.04)
VCF _{500m} ^b	Q1	1.00	1.00
	Q2	-0.01 (-0.05~0.02)	0.98 (0.91~1.05)
	Q3	-0.02 (-0.05~0.01)	0.95 (0.89~1.02)
	Q4	-0.07 (-0.10~-0.04)*	0.91 (0.85~0.98)*

[注] a: 家庭年最大; b: 学校年最大。*: P < 0.05; 模型调整研究对象年龄、性别、家庭年收入、父母最高受教育水平。Q1、Q2、Q3 和 Q4 分别指第一、二、三和四四分位组。

[Note] a: Annual maximum surrounding home; b: Annual maximum surrounding school. *: P < 0.05; Models are adjusted for age, gender, annual household income, and highest parental education attainment. Q1, Q2, Q3, and Q4 refer to the first, second, third, and fourth quartiles, respectively.

表3 PM_{2.5} 和 NO₂ 或体育锻炼时间对于 NDVI_{500m} 或 VCF_{500m} 与儿童青少年 zBMI 关联的中介效应

Table 3 Indirect effects of air pollution (PM_{2.5}, NO₂) and weekly exercise time linking NDVI_{500m} and VCF_{500m} to zBMI in children

变量(Variable)	分组(Group)	间接效应占比 Indirect effect/total effect	
		PM _{2.5} +NO ₂	体育锻炼时间 Weekly exercise time
NDVI _{500m} ^a	Q1	1.00	1.00
	Q2	-0.6 (-11.1~7.4)	0.0 (-0.2~0.2)
	Q3	-0.2 (-0.5~0.1)	0.0 (0.0~0.0)
	Q4	0.5 (0.2~0.8)*	0.0 (0.0~0.0)
NDVI _{500m} ^b	Q1	1.00	1.00
	Q2	3.1 (-51.4~58.2)	0.0 (-0.1~0.1)
	Q3	-6.2 (-41.4~38.2)	0.0 (-0.1~0.1)
	Q4	0.9 (0.5~1.6)*	0.0 (0.0~0.0)
VCF _{500m} ^a	Q1	1.00	1.00
	Q2	-0.6 (-44.7~50.0)	0.0 (0.0~0.0)
	Q3	0.8 (-153.3~132.5)	0.0 (-0.1~0.1)
	Q4	-0.1 (-1.7~1.5)	0.0 (-0.1~0.1)
VCF _{500m} ^b	Q1	1.00	1.00
	Q2	1.1 (-2.5~4.4)	0.0 (-0.9~0.9)
	Q3	6.3 (-72.1~59.1)	0.0 (-0.4~0.4)
	Q4	0.5 (-18.9~17.7)	0.0 (-0.8~0.9)

[注] a: 家庭年最大; b: 学校年最大。*: P < 0.05; 模型调整了年龄、性别、家庭年收入、父母最高受教育程度水平。Q1、Q2、Q3 和 Q4 分别指第一、二、三和四四分位组。

[Note] a: Annual maximum surrounding home; b: Annual maximum surrounding school. *: P < 0.05; Models are adjusted for age, gender, annual household income, and highest parental education attainment. Q1, Q2, Q3, and Q4 refer to the first, second, third, and fourth quartiles, respectively.

2.4 敏感性分析

当使用三年年平均或中位 NDVI_{500m} 作为植被水平评估指标时,处于植被水平最高四分位组的儿童青少年相对于处于植被水平最低四分位组的儿童青少年有着一致更低的 zBMI 和超重风险。例如,家庭处于三年年平均 NDVI_{500m} 最高四分位组的儿童青少年相对于最低四分位组儿童青少年的 zBMI 的 b 为 -0.08 (95%CI: -0.11~-0.05), 超重 OR 为 0.89 (95%CI: 0.83~0.96)。结果见补充材料表 S1。

不同缓冲半径下 NDVI 和 VCF 与儿童青少年肥胖水平的关联相似,即家庭或学校处于 NDVI_{1000m} 和 VCF_{1000m} 最高四分位组的儿童青少年相对于家庭或学校处于其最低四分位组的儿童青少年有着一致的相对较低的 zBMI 和超重风险,结果见补充材料图 S1。此外,当使用 SAVI 和 EVI 作为植被水平评估指标时,同样观察到家庭或学校处于 SAVI_{500m} 和 EVI_{500m} 最高四分位组的儿童青少年有着相对较低的 zBMI 和超重风

险,结果见补充材料图 S2。

3 讨论

本研究通过评估植被暴露水平与儿童青少年肥胖水平的关联发现,家庭或学校处于较高植被覆盖水平的儿童青少年有着较低的 zBMI 和超重风险,而且这种保护作用可能部分是通过降低周围空气污染物浓度实现的。

与此前发表的发达国家和地区的研究相似^[23-31],本研究同样观察到了更高的植被水平与较低的 zBMI 和较低的超重风险相关。据我们所知,目前国内仅有一项人群横断面研究探究了植被水平和儿童肥胖水平的关联,该研究纳入了 56 620 名 6~18 岁儿童青少年,并且同样发现了学校植被水平和儿童青少年肥胖水平的负向关联^[32]: NDVI_{1000 m} 的 1 个四分位数间距的增加(0.13),与儿童青少年较低的 zBMI($b=-0.11$, 95%CI: $-0.13\sim-0.09$)和较低的肥胖风险($OR=0.88$, 95%CI: $0.84\sim0.94$)相关。与该研究假设的植被暴露和肥胖水平的线性关联所不同的是,本研究发现了植被水平和儿童青少年 zBMI 的非线性暴露-反应关联,发现随着植被水平的升高, zBMI 逐渐降低并且呈现出明显的阈值效应,即当植被达到一定水平时才能观察到其与人体肥胖水平的负向关联。此外,本研究额外纳入了家庭周围总体植被水平和树木覆盖率,同时评估了家庭和学校植被暴露对儿童青少年肥胖水平的影响,观察到了更高的家庭周围植被水平同样与儿童青少年较低的 zBMI 和超重风险相关。然而,也有一些研究发现了植被水平和儿童青少年肥胖水平呈现出不相关或正向关联^[33-37]。研究结果的差异可能部分归因于研究人群(种族、性别比例、年龄和生活方式因素)、暴露评估策略(NDVI、与公园的距离)的不同。总体而言,相对较多的证据发现更高的植被暴露水平与更低的人体肥胖水平相关。然而,到目前为止,绝大多数相关研究均为横断面研究,因此需要进一步全面的纵向研究来证实我们的发现。

尽管目前关于植被暴露促进健康的具体机制尚未明确,但已有研究提出了可能的生物心理社会途径^[10]。植被可能降低环境空气污染水平^[38],而更高的空气污染暴露可能与人体更高的肥胖水平相关^[39]。与此假设相一致,本研究发现环境中的 PM_{2.5} 和 NO₂ 浓度部分介导了植被暴露与肥胖水平的关联。此外,植被暴露水平可能与个体体育锻炼水平相关,家庭或学校周围较高的植被水平可能促进人体的体育或户外

活动^[40],从而降低人体肥胖发生的风险。但本研究并没有发现体育活动水平的中介效应。另一项开展中介分析的相关研究同样没有观察到体育活动在学校植被与儿童肥胖水平关联上的中介效应^[32]。然而,也有一项研究发现了体育活动水平部分介导了植被暴露与人体肥胖水平的关联^[41]。中介效应结果的差异可能是由于研究对象的特征差异、体育锻炼水平的评估方式和可利用植被类型的不同所导致的^[42-43]。例如,与成人不同的是,儿童青少年的体育活动水平可能更多的是被课间时长、作业负担等因素所影响。此外,植被暴露还可能通过降低环境噪声,促进社交和缓解心理压力等途径来降低儿童青少年的肥胖水平^[44]。但因本研究并未收集相关信息,未来需要进一步详尽的研究以验证这些潜在的途径。

本研究应用不同缓冲半径植被水平(500、1000 m),不同植被指数(NDVI、SAVI 和 EVI)和绿地类型(总体绿度和树木覆盖率)进行敏感性分析,均观察到了相似的结果,使研究结论更加可信。但是,本研究同样也存在以下局限性:(1)本研究为横断面研究,无法明确植被暴露与儿童肥胖水平的先后时序,因而不能确定二者关联的因果性。(2)由于儿童青少年的身高和体重等信息是通过自填式调查问卷获得的,而不是体格检查,因而可能存在一定的信息偏倚。(3)本研究中的植被水平均是采用卫星图像反演估计所得,反映的仅为某一缓冲区域内的总体植被水平,无法反映植被的质量和可利用性。

综上所述,家庭或学校周围更高的植被水平与儿童青少年更低的 zBMI 和更低的超重风险相关,并且这种负向关联可能部分是通过降低环境空气污染水平所实现的。这一发现可为公共卫生干预措施的制定以及揭示植被对人体肥胖水平的影响机制提供有价值的线索。

参考文献

- [1] WHO. Facts about overweight and obesity [EB/OL]. [2021-08-01]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [2] 马淑婧,张艳青,羊柳,等. 1991—2015年中国9个省份儿童青少年超重和肥胖率的变化趋势分析[J]. 中华预防医学杂志, 2020, 54(2): 133-138. MA SJ, ZHANG YQ, YANG L, et al. Analysis on the trend of overweight and obesity of children and adolescents in 9 provinces of China from 1991 to 2015[J]. Chin J Prev Med, 2020, 54(2): 133-138.
- [3] AVNIELI VY, PHILLIP M, SHALITIN S. Increased prevalence of severe obesity and related comorbidities among patients referred to a pediatric obesity clinic during the last decade[J]. Horm Res Paediatr, 2019, 92(3): 169-178.
- [4] SIMMONDS M, LLEWELLYN A, OWEN CG, et al. Predicting adult obesity from childhood obesity: a systematic review and meta-analysis[J]. Obes Rev, 2016, 17(2): 95-107.

- [5] LI Q, CAI L, CUI W, et al. Economic burden of obesity and four obesity-related chronic diseases in rural Yunnan Province, China[J]. *Public Health*, 2018, 164: 91-98.
- [6] ZHAO W, ZHAI Y, HU J, et al. Economic burden of obesity-related chronic diseases in Mainland China[J]. *Obes Rev*, 2008, 9(S1): 62-67.
- [7] HINNEY A, HERRFURTH N, SCHONNOP L, et al. Genetic and epigenetic mechanisms in obesity[J]. *Bundesgesundheitsbl*, 2015, 58(2): 154-158.
- [8] LUO YN, HUANG WZ, LIU XX, et al. Greenspace with overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis of epidemiological studies up to 2020[J]. *Obes Rev*, 2020, 21(11): e13078.
- [9] HUANG WZ, YANG BY, YU HY, et al. Association between community greenness and obesity in urban-dwelling Chinese adults[J]. *Sci Total Environ*, 2020, 702: 135040.
- [10] MARKEVYCH I, SCHOIERER J, HARTIG T, et al. Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance[J]. *Environ Res*, 2017, 158: 301-317.
- [11] WILHELMSEN CK, SKALLEBERG K, RAANAAS RK, et al. Associations between green area in school neighbourhoods and overweight and obesity among Norwegian adolescents[J]. *Prev Med Rep*, 2017, 7: 99-105.
- [12] POTESTIO ML, PATEL AB, POWELL CD, et al. Is there an association between spatial access to parks/green space and childhood overweight/obesity in Calgary, Canada?[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2009, 6: 77.
- [13] DE ONIS M, ONYANGO AW, BORGI E, et al. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents[J]. *Bull World Health Organ*, 2007, 85(9): 660-667.
- [14] HUETE AR. A soil-adjusted vegetation index (SAVI)[J]. *Remote Sens Environ*, 1988, 25(3): 295-309.
- [15] TUCKER CJ. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. *Remote Sens Environ*, 1979, 8(2): 127-150.
- [16] MATSUSHITA B, YANG W, CHEN J, et al. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest[J]. *Sensors (Basel)*, 2007, 7(11): 2636-2651.
- [17] HANSEN MC, DEFRIES RS, TOWNSHEND JR G, et al. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm[J]. *Earth Interact*, 2003, 7(10): 1-15.
- [18] 彭擎, 王让会, 蒋焯林, 等. 植被-地温指数(NDVI-LST)在新疆干旱监测中的适用性[J]. *生态学报*, 2018, 38(13): 4694-4703.
- PENG Q, WANG RH, JIANG YL, et al. Adaptability of drought situation monitor in Xinjiang with the NDVI-LST index[J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(13): 4694-4703.
- [19] MARKEVYCH I, TIESLER CM T, FUERTES E, et al. Access to urban green spaces and behavioural problems in children: results from the GINIplus and LISAPlus studies[J]. *Environ Int*, 2014, 71: 29-35.
- [20] GREENLAND S, PEARL J, ROBINS JM. Causal diagrams for epidemiologic research[J]. *Epidemiology*, 1999, 10(1): 37-48.
- [21] PENG Z, WANG Q, KAN H, et al. Effects of ambient temperature on daily hospital admissions for mental disorders in Shanghai, China: a time-series analysis[J]. *Sci Total Environ*, 2017, 590-591: 281-286.
- [22] YU Q, SCRIBNER RA, LEONARDI C, et al. Exploring racial disparity in obesity: a mediation analysis considering geo-coded environmental factors[J]. *Spat Spatiotemporal Epidemiol*, 2017, 21: 13-23.
- [23] WOLCH J, JERRETT M, REYNOLDS K, et al. Childhood obesity and proximity to urban parks and recreational resources: a longitudinal cohort study[J]. *Health Place*, 2011, 17(1): 207-214.
- [24] VAN DER ZWAARD BC, SCHALKWIJK AA H, ELDERS PJ, et al. Does environment influence childhood BMI? A longitudinal analysis of children aged 3-11[J]. *J Epidemiol Community Health*, 2018, 72(12): 1110-1116.
- [25] LIU G C, WILSON J S, QI R, et al. Green neighborhoods, food retail and childhood overweight: differences by population density[J]. *Am J Health Promot*, 2007, 21(4 Suppl): 317-325.
- [26] SANDERS T, FENG X, FAHEY P P, et al. Greener neighbourhoods, slimmer children? Evidence from 4423 participants aged 6 to 13 years in the Longitudinal Study of Australian children[J]. *Int J Obes (Lond)*, 2015, 39(8): 1224-1229.
- [27] PETRAVICIENE I, GRAZULEVICIENE R, ANDRUSAITYTE S, et al. Impact of the social and natural environment on preschool-age children weight[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(3): 449.
- [28] BELL J F, WILSON J S, LIU G C. Neighborhood greenness and 2-year changes in body mass index of children and youth[J]. *Am J Prev Med*, 2008, 35(6): 547-553.
- [29] LOVASI G S, SCHWARTZ-SOICHER O, QUINN J W, et al. Neighborhood safety and green space as predictors of obesity among preschool children from low-income families in New York City[J]. *Prev Med*, 2013, 57(3): 189-193.
- [30] DADVAND P, VILLANUEVA C M, FONT-RIBERA L, et al. Risks and benefits of green spaces for children: a cross-sectional study of associations with sedentary behavior, obesity, asthma, and allergy[J]. *Environ Health Perspect*, 2014, 122(12): 1329-1335.
- [31] SCHALKWIJK AA H, VAN DER ZWAARD B C, NIJPELS G, et al. The impact of greenspace and condition of the neighbourhood on child overweight[J]. *Eur J Public Health*, 2018, 28(1): 88-94.
- [32] BAO W W, YANG B Y, ZOU Z Y, et al. Greenness surrounding schools and adiposity in children and adolescents: findings from a national population-based study in China[J]. *Environ Res*, 2021, 192: 110289.
- [33] NORMAN G J, NUTTER S K, RYAN S, et al. Community design and access to recreational facilities as correlates of adolescent physical activity and body-mass index[J]. *J Phys Act Health*, 2006, 3(S1): S118-S128.
- [34] BENJAMIN-NEELON S E, PLATT A, BACARDI-GASCON M, et al. Greenspace, physical activity, and BMI in children from two cities in northern Mexico[J]. *Prev Med Rep*, 2019, 14: 100870.
- [35] ORESKOVIC N M, WINICKOFF J P, KUHLTHAU K A, et al. Obesity and the built environment among Massachusetts children[J]. *Clin Pediatr (Phila)*, 2009, 48(9): 904-912.
- [36] ALEXANDER D S, HUBER L R B, PIPER C R, et al. The association between recreational parks, facilities and childhood obesity: a cross-sectional study of the 2007 National Survey of Children's Health[J]. *J Epidemiol Community Health*, 2013, 67(5): 427-431.
- [37] AKPINAR A. Urban green spaces for children: a cross-sectional study of associations with distance, physical activity, screen time, general health, and overweight[J]. *Urban For Urban Gree*, 2017, 25: 66-73.
- [38] HIRABAYASHI S, NOWAK D J. Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States[J]. *Environ Pollut*, 2016, 215: 48-57.
- [39] WEI Y, ZHANG J, LI Z, et al. Chronic exposure to air pollution particles increases the risk of obesity and metabolic syndrome: findings from a natural experiment in Beijing[J]. *FASEB J*, 2016, 30(6): 2115-2122.
- [40] LACHOWYCZ K, JONES A P. Greenspace and obesity: a systematic review of the evidence[J]. *Obes Rev*, 2011, 12(5): e183-e189.
- [41] VILLENEUVE P J, JERRETT M, SU J G, et al. Association of residential greenness with obesity and physical activity in a US cohort of women[J]. *Environ Res*, 2018, 160: 372-384.
- [42] HENEBERG P. Energy expenditure of hunter-gatherers: when statistics turns to be unreliable[J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2014, 14(2): 152-158.
- [43] COOMBES E, JONES A P, HILLSDON M. The relationship of physical activity and overweight to objectively measured green space accessibility and use[J]. *Soc Sci Med*, 2010, 70(6): 816-822.
- [44] ROOK G A. Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: an ecosystem service essential to health[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110(46): 18360-18367.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)