调查研究
Investigation

孕期环境温度对新生儿出生体重的影响——基于武汉市一家医院

田晓佳[1]，张晓彤[1]，冯欢[1]，陈肖芬[1]，张萍萍[1]，谷雨[1]，刘钰洁[1]，范翠芳[2]，马露[1,3]

1. 武汉大学健康学院，湖北 武汉 430071
2. 武汉大学人民医院，湖北 武汉 430060
3. 武汉大学全球健康研究中心，湖北 武汉 430072

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2019.19098

摘要：

[背景] 已开展的孕期空气温度变化对新生儿出生体重影响的研究提示，环境温度的改变可能是新生儿低出生体重的潜在影响因素。

[目的] 评价孕期环境温度是否会影响新生儿出生体重以及低出生体重发生风险。

[方法] 选取2011年1月1日—2014年5月31日间，于武汉大学人民医院分娩的5 533例单胎活产儿作为研究对象，获取产妇社会人口学和分娩资料。从中国气象数据中心和中国环境监测总站收集2010年3月20日—2013年10月18日的环境温度、湿度数据和空气质量指数数据。分别构建广义线性模型和logistic回归模型，评价不同孕期环境温度变化对新生儿出生体重以及低出生体重发生风险的影响。通过在广义线性模型中对环境平均温度和相对湿度使用自由度为3的自然立方样条函数，拟合不同孕期环境平均温度与出生体重的暴露-效应曲线。

[结果] 研究对象平均出生体重为（3 201.8±563.5）g，低出生体重儿的发生率为9.0%（498/5 533）。研究期间产妇孕早期、孕中期和孕晚期环境温度分别为（17.5±8.6）℃、（16.4±7.8）℃、（16.0±8.6）℃。控制产妇社会人口学因素和空气质量的影响后，孕早期和孕中期的环境平均温度每升高1℃，新生儿出生体重分别上升1.984 g（95%*CI*：0.240~3.729）和2.742 g（95%*CI*：0.868~4.615）；未发现孕期环境温度与低出生体重的发生风险之间存在关联。孕晚期环境温度与新生儿出生体重的暴露-效应曲线呈倒"U"型，孕早期和孕中期呈线性。

[结论] 本研究提示孕早期和孕中期的环境温度升高可能与新生儿出生体重的增加有关，尚未发现温度变化与低出生体重的发生风险之间存在有统计学意义的关联。

关键词：产妇；新生儿；温度；空气质量；出生体重；生殖健康

Effects of ambient temperature during pregnancy on birth weight of newborns—Based on a hospital in Wuhan

TIAN Xiao-jia[1], ZHANG Xiao-tong[1], FENG Huan[1], CHEN Xiao-fen[1], ZHANG Ping-ping[1], GU Yu[1], LIU Yu-jie[1], FAN Cui-fang[2], MA Lu[1,3] (1.*School of Health Sciences of Wuhan University, Wuhan, Hubei* 430071*, China;* 2.*Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan, Hubei* 430060*, China;* 3.*Global Health Institute of Wuhan University, Wuhan, Hubei* 430072*, China*)

Abstract:

[Background] Many studies suggest that ambient temperature change is a potential risk factor of low birth weight of newborns.

[Objective] The current study evaluates whether ambient temperature change during pregnancy would affect the birth weight of newborns and the risk of low birth weight.

[Methods] Study subjects were 5 533 single live newborns delivered in the Renmin Hospital of Wuhan University from January 1, 2011 to May 31, 2014. Their maternal sociodemographic data and delivery data were collected. The meteorological data (such as ambient temperature and humidity) and air quality index (AQI) from March 20, 2010 to October 18, 2013 were retrieved from the National Meteorological Information Center and the China National Environmental Monitoring Centre, respectively. A generalized linear model and a logistic regression model were conducted respectively to evaluate the effects of ambient temperature during different trimesters on the birth weight of newborns and the risk of low birth weight. A generalized linear model was fitted using natural cubic spline with 3 degrees of freedom for ambient temperature

作者简介
田晓佳（1992—），女，硕士生；
E-mail：tianjia@whu.edu.cn

通信作者
马露，E-mail：malu@whu.edu.cn
范翠芳，E-mail：359568292@qq.com

利益冲突 无申报
收稿日期 2019-02-28
录用日期 2019-07-16

文章编号 2095-9982(2019)09-0836-06
中图分类号 R173
文献标志码 A

▸引用
田晓佳，张晓彤，冯欢，等. 产妇孕期环境温度对新生儿出生体重的影响——基于武汉市一家医院[J]. 环境与职业医学，2019，36（9）：836-840，846.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2019.19098

Correspondence to
MA Lu, E-mail: malu@whu.edu.cn
FAN Cui-fang, E-mail: 359568292@qq.com

Competing interests None declared
Received 2019-02-28
Accepted 2019-07-16

▸To cite
TIAN Xiao-jia, ZHANG Xiao-tong, FENG Huan, et al. Effects of ambient temperature during pregnancy on birth weight of newborns—Based on a hospital in Wuhan[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(9): 836-840, 846.

▸Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2019.19098

and relative humidity, and the relationships between average temperature during different trimesters and birth weight were explored by plotting the exposure-response curve.

[Results] The average birth weight of newborns was (3 201.8±563.5) g, and the incidence rate of low-birth-weight infants was 9.0% (498/5 533) during the observed time period. The daily mean values of ambient temperature during the first, second, and third trimesters of the participants were (17.5±8.6), (16.4±7.8), and (16.0±8.6)℃ , respectively. By controlling maternal sociodemographic factors and AQI, the increases of birth weight associated with per 1 ℃ increase of mean ambient temperature were 1.984 g (95%*CI*: 0.240-3.729) and 2.742 g (95%*CI*: 0.868-4.615) for the first trimester and the second trimester, respectively. However, no apparent evidence showed an association between ambient temperature and the risk of low birth weight. The exposure-response curve illustrating the relationship between mean temperature in the third trimester and birth weight was inverted "U" shaped, and the curve illustrating the relationship between mean temperature in the first or second trimester and birth weight was linear.

[Conclusion] The study findings suggest that the increased birth weight of newborns may be associated with the increased ambient temperature during the first and second trimesters. No significant association between ambient temperature change and the low birth weight of newborns is found in this study.

Keywords: pregnant woman; newborn; temperature; air quality; birth weight; reproductive health

气候变化已被普遍认为是21世纪影响人类健康的重要环境因素[1-2]。大量流行病学研究表明气候变化与各种亚临床和临床健康问题有关[3-5]，这些研究多以儿童或老年人等易感人群作为研究对象，而探讨气候环境对人类生殖健康影响的研究则相对较少[6]。

生殖健康关乎人类繁衍和社会发展，婴儿的出生体重常作为衡量生殖健康的重要指标，低出生体重（新生儿出生体重低于2 500 g）是导致婴儿各类疾病发病率和死亡率上升的重要影响因素[7-8]。新生儿出生体重常受到遗传、孕产妇行为以及孕期环境等多重因素的共同作用[9]。近年来随着全球气候变暖，孕期环境温度对包括婴儿低出生体重在内各种不良妊娠结局的影响日益受到研究者重视[10-11]。在孕期环境温度对新生儿出生体重影响的研究中，多数研究提示了环境温度对新生儿出生体重有影响：有研究发现孕中期环境温度与新生儿出生体重呈现正向关联性[12-13]；也有研究显示孕期环境温度的升高会增加低出生体重的发生风险[14-15]。如何评价不同孕期环境平均温度对新生儿出生体重的影响，仍然需要更多地开展相关研究以便提供可靠的流行病学证据。

本研究通过收集武汉市一家医院新生儿分娩结局资料以及同期气象数据和空气质量数据，分析孕期不同阶段环境温度的变化与新生儿出生体重的关系，为进一步探索气候变化对生殖健康影响提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取2011年1月1日—2014年5月31日，于武汉大学人民医院分娩的新生儿总数为7 587例，其中单胎活产新生儿6 916例作为研究对象。删除分娩时间、产妇年龄、教育水平、孕次、分娩方式、孕周、新生儿性别和体重数据中有缺失或存在明显错误的数据，根据家庭住址删除了居住地为非武汉市的研究对象，最后5 533例纳入分析。

1.2 出生和围生数据来源

根据医院产科病例记录簿，收集了产妇的分娩时间、年龄、教育水平、出生地、家庭住址、孕次、产次、末次月经时间、孕周、分娩方式，以及新生儿的性别、身长、体重等数据信息。本研究为观察性研究，不涉及人体试验，患者均为匿名，依据编码识别，不涉及患者隐私，符合《赫尔辛基宣言》中的伦理学要求。

1.3 环境数据来源

气象数据来自中国气象数据网，包含武汉市2010年3月20日—2013年10月18日每日平均温度（℃）和日平均相对湿度（%）。武汉市空气质量指数（日平均值）数据来源于国家环境监测总站。根据产妇末次月经和分娩时间，分别计算孕早期（末次月经至孕12周）、孕中期（孕13周至孕27周）和孕晚期（孕28周至分娩）的平均温度、相对湿度以及空气质量指数的平均值。

1.4 统计学分析

采用EpiData 3.1软件建立数据库，R3.5.0统计软件进行数据分析，假设检验均为双侧，检验水准α=0.05。计量资料以均数±标准差及四分位数反映其分布，计数资料采用构成比表示。不同特征新生儿出生体重差异比较的单因素分析采用t检验或方差分析，不同特征低出生体重发生率差异的比较采用χ^2检验。

按WHO低出生体重的定义（新生儿出生体重低于2 500 g）将新生儿分为非低出生体重儿和低出生体

重儿两类，构建logistic回归模型，评价不同孕期（孕早期、孕中期和孕晚期）环境温度对低出生体重发生的影响。模型一：调整产妇年龄、教育水平、孕次、分娩方式和婴儿性别；模型二：在模型一的基础上，调整孕周；模型三：在模型二的基础上，调整环境相对湿度和空气质量指数。通过在广义线性模型中对环境平均温度和相对湿度使用自由度为3的自然立方样条函数，拟合不同孕期环境平均温度与出生体重的暴露-效应曲线。

2 结果

2.1 研究对象的基本情况

本研究共纳入单胎活产新生儿5 533例，出生体重的均值为（3 201.8±563.5）g，男婴占47.6%。研究对象中低出生体重儿的发生率为9.0%（498/5 533）。单因素分析发现不同孕产妇年龄、教育水平、孕次、婴儿性别、分娩方式和孕周亚组间新生儿出生体重存在差异（均$P<0.05$）。随着母亲孕次的增加，新生儿出生体重从（3 229.4±530.3）g降低至（3 103.2±632.0）g。研究对象中，女婴平均出生体重为（3 238.7±568.7）g，明显高于男婴［（3 161.1±554.9）g］。产妇孕周不同，其新生儿体重差异明显：>41周的为（3 438.7±461.2）g，37~周的为（3 317.5±442.7）g，<37周的仅为（2 431.7±642.1）g。在<37周的742例新生儿中，383例为低出生体重儿（51.6%），低出生体重发生率远高于其他两组（2.5%和0.7%）（表1）。

表1 武汉市某医院5 533例产妇及新生儿的基本情况

特征	*n*（%）	出生体重			低出生体重		
		均值±标准差	*F*/*t*	*P*	人数（%）	χ^2	*P*
产妇年龄（岁）			21.28	**<0.001**		30.35	**<0.001**
<25	576（10.4）	3 067.8±618.2			81（14.1）		
25~	3 059（55.3）	3 232.7±534.7			226（7.4）		
>30	1 898（34.3）	3 192.7±584.9			191（10.1）		
产妇教育水平			75.18	**<0.001**		198.09	**<0.001**
初中及以下	896（16.2）	3 011.9±699.7			183（20.4）		
高中及专科	2 410（43.6）	3 198.6±561.8			215（8.9）		
大学及以上	2 227（40.3）	3 281.6±479.3			100（4.5）		
孕次			19.91	**<0.001**		62.03	**<0.001**
1	3 360（60.7）	3 229.4±530.3			227（6.8）		
2	1 150（20.8）	3 208.8±583.3			123（10.7）		
3~	1 023（18.5）	3 103.2±632.0			148（14.5）		
婴儿性别			−5.13	**<0.001**		0.24	0.625
男	2 631（47.6）	3 161.1±554.9			242（9.2）		
女	2 902（52.5）	3 238.7±568.7			256（8.8）		
分娩方式			−9.54	**<0.001**		5.97	**0.015**
顺产	2 282（41.2）	3 116.7±550.1			231（10.1）		
剖宫产	3 251（58.8）	3 261.6±565.2			267（8.2）		
孕周			1 132.16	**<0.001**		1 900.68	**<0.001**
<37	742（13.4）	2 431.7±642.1			383（51.6）		
37~	4 649（84.0）	3 317.5±442.7			114（2.5）		
>41	142（2.6）	3 438.7±461.2			1（0.7）		
合计	5 533（100.0）	3 201.8±563.5			498（9.0）		

2.2 环境监测结果

产妇孕晚期的日平均温度离散性最大，孕中期最小。孕早期、孕中期和孕晚期空气质量指数均处于较高水平，分别为85.8±27.3、94.5±35.8和97.6±37.5，见表2。

2.3 环境温度对出生体重的影响

分别控制产妇社会人口学因素和孕周的效应后，孕早期、孕中期和孕晚期环境平均温度与新生儿出生体重之间并不存在有统计学意义的关联性。进一步控制空气质量和相对湿度的影响后发现，孕

早期以及孕中期的环境平均温度每升高1℃，新生儿出生体重分别上升1.984（95%*CI*：0.240~3.729）g和2.742（95%*CI*：0.868~4.615）g，孕晚期温度变化对新生儿出生体重的影响不明显，均未发现各孕期环境平均温度的变化与低出生体重的发生之间存在关联性（表3）。

通过利用广义线性模型拟合不同孕期环境平均温度和出生体重的暴露-效应曲线，结果显示孕晚期环境温度与新生儿出生体重的关系呈倒"U"型，在孕早期和孕中期环境温度与新生儿体重呈线性关系（图1）。

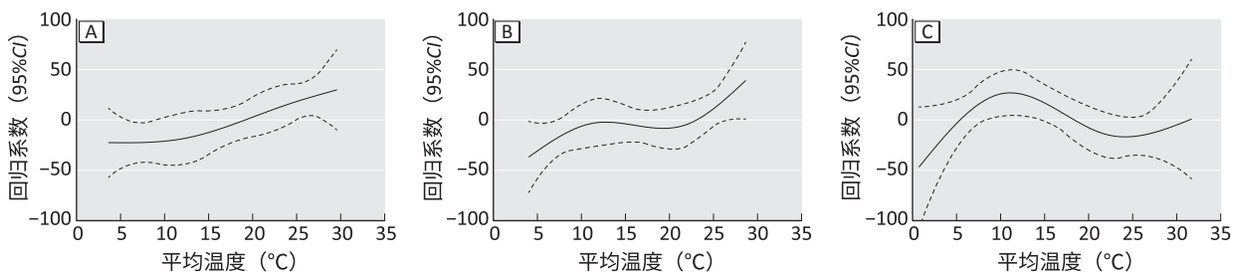
表2 武汉市某医院5 533例产妇孕期环境特征

环境数据	$\bar{x}\pm s$	最小值	P_{25}	P_{50}	P_{75}	最大值
日平均温度（℃）						
孕早期	17.5±8.6	3.6	8.9	19.0	25.5	29.6
孕中期	16.4±7.8	4.1	8.6	16.8	23.8	28.6
孕晚期	16.0±8.6	0.7	7.6	15.8	24.5	31.7
日平均相对湿度（%）						
孕早期	78.4±5.0	65.3	76.1	79.5	82.0	85.6
孕中期	78.4±4.7	65.0	76.2	79.4	81.9	85.3
孕晚期	78.4±4.8	62.1	76.1	79.4	81.9	88.8
空气质量指数						
孕早期	85.8±27.3	53.2	67.7	79.8	92.1	188.4
孕中期	94.5±35.8	54.5	70.7	82.2	109.0	199.3
孕晚期	97.6±37.5	50.1	71.8	84.5	112.8	257.5

表3 武汉市某医院5 533例产妇不同孕期环境温度与新生儿出生体重的关联性

孕期	模型一		模型二		模型三	
	b（95%*CI*）	*P*	*b*（95%*CI*）	*P*	*b*（95%*CI*）	*P*
出生体重						
孕早期	1.769（0.074~3.464）	**0.041**	1.399（-0.039~2.837）	0.057	1.984（0.240~3.729）	**0.026**
孕中期	1.783（-0.062~3.628）	0.058	1.404（-0.163~2.971）	0.079	2.742（0.868~4.615）	**0.004**
孕晚期	-1.221（-2.905~0.463）	0.155	-1.152（-2.580~0.276）	0.114	-0.087（-1.839~1.665）	0.922
低出生体重						
孕早期	0.993（0.982~1.004）	0.230	0.994（0.981~1.008）	0.400	0.998（0.982~1.014）	0.803
孕中期	0.991（0.979~1.003）	0.141	0.991（0.976~1.005）	0.211	0.990（0.973~1.008）	0.273
孕晚期	1.004（0.993~1.015）	0.486	1.004（0.991~1.017）	0.563	1.002（0.986~1.018）	0.826

[注] 模型一调整产妇年龄、教育水平、孕次、分娩方式和婴儿性别；模型二在模型一的基础上调整孕周；模型三在模型二的基础上调整环境相对湿度和空气质量指数。



[注] 广义线性模型估计环境温度与新生儿出生体重之间的关联性，模型控制了产妇的年龄、教育水平、孕次、分娩方式、孕周、婴儿性别、相对湿度和空气质量指数。A：孕早期；B：孕中期；C：孕晚期。虚线为95%*CI*。

图1 武汉市某医院5 533例产妇不同孕期环境温度与新生儿出生体重的暴露-效应曲线

3 讨论

本研究通过对5 533例产妇孕产结局与孕期温度的分析，发现在控制了相关混杂因素的影响后，除了孕晚期外，伴随孕早期、孕中期环境温度升高，新生儿出生体重呈现上升趋势，并未发现孕期温度的升高会增加低出生体重的发生风险。

在探讨环境变化对妊娠结局健康影响的研究中，多数的研究者关注了空气污染物暴露的健康影响，研究发现在不同的妊娠阶段，污染物的暴露效应存在差异[16]。环境温度常被认为对结局存在影响或可能存在统计修饰效应，而在这些研究的统计建模中对其进行了控制[17-18]。早期有研究者开展横断面研究，探讨了单个孕周温度变化与新生儿出生体重的关系，发现孕中期（孕19周）温度增加与新生儿出生体重的增加有关[12]。2017年在孟加拉国进行的一项随机对照试验研究[13]和本次研究均提示了相似的结果。孕中期环境温度与新生儿出生体重呈正相关的原因可能与孕期日照机会的增多有关。由于从孕中期开始，胎儿生长发育逐渐加速[19]，对钙的需求大幅增加，通常孕产妇从第12~14周开始补钙，并遵医嘱增加日照时间，

提升体内维生素D合成水平以加强钙的吸收[20-21]，与低温相比，适宜的气温将增加孕产妇日照机会，最终促进胎儿的生长，提升新生儿出生体重。

本研究发现孕早期较高的环境温度也会致新生儿出生体重增加。但有研究并未发现这种关联[13]。分析现有关于孕早期环境温度暴露与新生儿出生体重关联的研究，我们发现结果存在的差异性可能与混杂因素控制的不同有关：尽管之前的流行病学研究提示环境污染物会对出生体重产生影响[22-23]，但有学者在分析孕期环境温度暴露与新生儿出生体重关系的研究中未能将环境质量或空气污染物效应作为混杂因素进行控制，仅控制了产妇及新生儿的基本人口学因素[13]。而本研究分步建模的结果也证实了不同的变量控制策略其参数估计结果不尽相同。另外，研究区域和研究对象的不同也会造成研究结果的不一致，不同研究区域环境气候特征的差异可能会阻碍环境温度效应研究结果的可比性。

一项在澳大利亚开展的研究发现妊娠最后1周环境最高温度与新生儿出生体重呈负相关关系，与环境最高温度>30℃相比，妊娠最后一周暴露于20~25℃和<20℃的孕妇，其新生儿出生体重分别增加了11 g（95%*CI*：8~18）和18 g（95%*CI*：10~31），结果提示新生儿出生体重对孕晚期高温环境更为敏感[24]。本研究中，孕晚期环境温度与新生儿出生体重的关系呈倒“U”型，提示孕晚期温度过高或过低均可能会对出生体重产生负向影响，尽管尚未发现两者间的关联具有统计学意义。暴露于过低或者过高温度的孕产妇的数量较少是导致该结果的可能原因。

本研究存在较多局限：如研究对象居住于武汉市的时限不明；缺乏研究对象室内外活动时间以及其环境温度的监测数据，使得个体真实暴露水平无法准确评估；同时，部分重要的混杂因素如产妇的个人行为、营养情况以及家族史等信息由于没有进行记录或不具数据权限而无法获取。这些不足不可避免导致暴露效应评价存在一定的偏倚。但是，由于数据直接源于临床记录的一手资料，新生儿出生体重以及母亲的几项关键指标的记录具有较高的可信度和准确性，且样本量较大，因此本研究的结果和结论仍然具有科研价值和临床指导意义。

综上所述，本研究通过对不同孕期环境温度与新生儿出生体重关系的探讨，发现孕期环境温度可能是影响新生儿出生体重的因素之一，在孕期的不同阶段其影响不同，产妇孕早期和孕中期的环境温度较高与新生儿出生体重的增加有关，但环境温度与低出生体重的发生风险之间关联性无统计学意义。

参考文献

[1] COSTELLO A，ABBAS M，ALLEN A，et al. Managing the health effects of climate change：*Lancet* and University College London Institute for Global Health Commission [J]. Lancet，2009，373（9676）：1693-1733.

[2] HUANG C，BARNETT AG，XU Z，et al. Managing the health effects of temperature in response to climate change：challenges ahead [J]. Environ Health Perspect，2013，121（4）：415-419.

[3] GASPARRINI A，GUO Y，HASHIZUME M，et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature：a multicountry observational study [J]. Lancet，2015，386（9991）：369-375.

[4] GRONLUND CJ，ZANOBETTI A，SCHWARTZ JD，et al. Heat，heat waves，and hospital admissions among the elderly in the united states，1992-2006 [J]. Environ Health Perspect，2014，122（11）：1187-1192.

[5] ZHANG Y，FENG R，WU R，et al. Global climate change：impact of heat waves under different definitions on daily mortality in Wuhan，China [J]. Glob Health Res Policy，2017，2：10.

[6] BUNKER A，WILDENHAIN J，VANDENBERGH A，et al. Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly；a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence [J]. EBioMedicine，2016，6：258-268.

[7] 冯仁杰，吴然，钟佩瑢，等. 孕期大气颗粒物暴露对新生儿低出生体重影响的Meta分析 [J]. 中华预防医学杂志，2017，51（3）：203-208.

[8] ZHANG Y，YU C，WANG L. Temperature exposure during pregnancy and birth outcomes：An updated systematic review of epidemiological evidence [J]. Environ Pollut，2017，225：700-712.

[9] MĂRGINEAN C，MĂRGINEAN CO，BĂNESCU C，et al. Impact of demographic，genetic，and bioimpedance factors on gestational weight gain and birth weight in a Romanian population：a cross-sectional study in mothers and their newborns：the Monebo study（STROBE-compliant article）

（下转第846页）

1805-1806.

[15] 林嫦梅，路潜，周玉洁. 用不同评价方法调查分析普外科患者术前营养状况 [J]. 中国临床营养杂志，2008，16（1）：12-17.

[16] PHILLIPS M B，FOLEY A L，BARNARD R，et al. Nutritional screening in community-dwelling older adults：a systematic literature review [J]. Asia Pac J Clin Nutr，2010，19（3）：440-449.

[17] SAITOH M，DOS SANTOS M R，EMAMI A，et al. Anorexia，functional capacity，and clinical outcome in patients with chronic heart failure：results from the Studies Investigating Co-morbidities Aggravating Heart Failure（SICA-HF）[J]. Esc Heart Fail，2017，4（4）：448-457.

[18] 窦伟洁，韩志琰，宋奎勐，等. 山东省农村居民健康相关生命质量及其影响因素研究 [J]. 中华全科医学，2017，15（6）：911-914，992.

[19] 鲁建民，张晓娜，刘艳红，等. 西安市老年人健康相关生活质量及其影响因素 [J]. 中国老年学杂志，2017，37（24）：6208-6211.

[20] 胡善菊，董毅. 农村老年人群生命质量的影响因素 [J]. 中国老年学杂志，2016，36（24）：6263-6265.

（英文编辑：汪源；编辑：王晓宇；校对：陈姣）

（上接第840页）

[J]. Medicine（Baltimore），2016，95（27）：e4098.

[10] ELTER K，AY E，UYAR E，et al. Exposure to low outdoor temperature in the midtrimester is associated with low birth weight [J]. Aust N Z J Obstet Gynaecol，2004，44（6）：553-557.

[11] GRACE K，DAVENPORT F，HANSON H，et al. Linking climate change and health outcomes：Examining the relationship between temperature，precipitation and birth weight in Africa [J]. Global Environ Change，2015，35：125-137.

[12] MURRAY L J，O'REILLY D P，BETTS N，et al. Season and outdoor ambient temperature：effects on birth weight [J]. Obstet Gynecol，2000，96（51）：689-695.

[13] RASHID H，KAGAMI M，FERDOUS F，et al. Temperature during pregnancy influences the fetal growth and birth size [J]. Trop Med Health，2017，45：1.

[14] FLOURIS A D，SPIROPOULOS Y，SAKELLARIOU G J，et al. Effect of seasonal programming on fetal development and longevity：links with environmental temperature [J]. Am J Hum Biol，2009，21（2）：214-216.

[15] ARROYO V，DÍAZ J，CARMONA R，et al. Impact of air pollution and temperature on adverse birth outcomes：Madrid，2001-2009 [J]. Environ Pollut，2016，218：1154-1161.

[16] LI X，HUANG S，JIAO A，et al. Association between ambient fine particulate matter and preterm birth or term low birth weight：an updated systematic review and meta-analysis [J]. Environ Pollut，2017，227：596-605.

[17] QIAN Z，ZHANG B，LIANG S，et al. Ambient air pollution and adverse pregnancy outcomes in Wuhan，China [J]. Res Rep Health Eff Inst，2016（189）：1-65.

[18] SON J Y，LEE H J，KOUTRAKIS P，et al. Pregnancy and lifetime exposure to fine particulate matter and infant mortality in Massachusetts，2001-2007 [J]. Am J Epidemiol，2017，186（11）：1268-1276.

[19] MORELLO-FROSCH R，JESDALE B M，SADD J L，et al. Ambient air pollution exposure and full-term birth weight in California [J]. Environ Health，2010，9：44.

[20] MCGRATH J J，KEEPING D，SAHA S，et al. Seasonal fluctuations in birth weight and neonatal limb length；does prenatal vitamin D influence neonatal size and shape? [J]. Early Hum Dev，2005，81（7）：609-618.

[21] GERNAND A D，BODNAR L M，KLEBANOFF M A，et al. Maternal serum 25-hydroxyvitamin D and placental vascular pathology in a multicenter US cohort [J]. Am J Clin Nutr，2013，98（2）：383-388.

[22] OKEN E，KLEINMAN K P，RICH-EDWARDS J，et al. A nearly continuous measure of birth weight for gestational age using a United States national reference [J]. BMC Pediatr，2003，3：6.

[23] LAMICHHANE D K，RYU J，LEEM J H，et al. Air pollution exposure during pregnancy and ultrasound and birth measures of fetal growth：a prospective cohort study in Korea [J]. Sci Total Environ，2018，619-620：834-841.

[24] LI S，WANG J，XU Z，et al. Exploring associations of maternal exposure to ambient temperature with duration of gestation and birth weight：a prospective study [J]. BMC Pregnancy Childbirth，2018，18（1）：513.

（英文编辑：汪源；编辑：王晓宇；校对：陈姣）