

高温与认知能力

——基于中老年群体的实证研究

易福金 余露芸 周天昊 严斌剑 王艳君*

摘要: 本文基于中国健康与养老追踪调查数据, 实证分析了高温对中老年人认知能力的影响。相对于青年群体来说, 中老年人是社会经济决策的主要群体, 因此他们的认知水平稳定对于家庭与社会发展至关重要。研究发现高温对于中老年人的认知不仅具有显著负向影响, 还具有短期的滞后效应。此外, 异质性分析结果表明北方中温带地区的农村中年女性更易受到高温的负面影响。本文提供的高温对中老年认知影响证据可为政府采取积极措施应对极端高温频发的趋势, 提升中老年人健康水平提供科学依据。

关键词: 高温; 认知能力; 中老年人

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2023.01.23

一、引言

根据联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 2018 年发布的《全球升温 1.5°C 特别报告》, 自工业革命以来的全球变暖趋势将进一步增强。在此背景下, 诸如极端高温等天气的发生频率和强度也明显增加。就中国而言, 最近 50 年间平均地表气温增加了 1.1°C, 高于北半球同期平均温度上升速度 (丁一汇等, 2006)。《2013 年中国气候公报》¹ 显示, 2013 年夏天是中国东部地区有记录以来最炎热的夏天。但是, 即使在低排放的模拟情景下, 预计未来仍有约 50% 的中国夏季将比 2013 年更热 (Sun et al., 2014)。这也进一步凸显解决全球气候变暖和极端高温频发问题的重要性和紧迫性。另一方面, 高温会显著影响人体健康, 增加某些疾病发病率, 甚至导致死亡率上升, 威胁到人类的生存和发展 (Deschênes and Greenstone, 2011)。心理健康也会受到高温的影响 (Thompson et al., 2018): 医学证据表明, 环境温度升高会对认知能力产生影响, 主要表现为降低个体注意力、记忆力、复杂信息处理能力等 (Gaoua et al., 2012)。因此, 依托实际观测

* 易福金、余露芸, 浙江大学中国农村发展研究院、浙江大学公共管理学院; 周天昊, 中国科学院大学中丹学院; 严斌剑, 南京农业大学经济管理学院; 王艳君, 南京信息工程大学地理科学学院。其中, 易福金和余露芸为本文共同第一作者。通信作者及地址: 易福金, 浙江省杭州市浙江大学公共管理学院, 310058; 电话: (0571) 88981520; E-mail: yifujin@zju.edu.cn。本文受到国家自然科学基金重点国际合作项目“农业综合天气指数保险研究与实施”(72261147758)、国家社会科学基金重点项目“我国农业保险高质量发展研究”(19AZD011)、国家自然科学基金面上项目“早期成长环境对老年健康的影响研究——基于机会不平等视角”(71974097) 以及中国资源环境与发展研究院的资助。作者感谢浙大-IFPRI 国际发展联合研究中心、北京大学国家发展研究院徐晋涛教授与赵耀辉教授的支持, 以及主编和三位匿名审稿专家的宝贵意见。当然, 文责自负。

¹ 详见中国气象局《2013 年中国气候公报》第 50 页。

数据检验高温造成的实际健康伤害不仅可为政府采取积极措施应对气候变化提供科学依据,对于有针对性地完善公共健康政策也具有参考意义。

本文将重点探讨高温对中老年人认知的影响。认知能力是心理健康评判的重要维度,包括感知觉、注意力、学习记忆、思维、语言等各种能力。根据《中国统计年鉴》抽样数据,2019年我国40岁以上中老年人在总人口中所占比例已达49%。这部分群体在社会经济活动中往往扮演着决策者的角色,认知能力对其判断准确性与决策效率有着决定性作用。此外,老年人的认知能力与其生活质量密切相关。然而,目前我国60岁以上老年人中每年约有13%发生认知能力障碍,且该比例有逐年上升的趋势(Nie et al., 2011),这给家庭和社会带来了沉重的经济压力和心理负担。因此,准确把握和有效应对高温对老年人认知能力的影响不仅对保障社会人力资本有一定作用,还有益于提升该群体的生活质量。

本研究使用中国健康与养老追踪调查数据库(China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS)的2013年和2015年调研数据,实证分析了高温对老年人认知能力的影响。研究发现当平均温度超过一定阈值时,每增加1℃,老年人的认知能力将下降样本平均得分的1%。同时,高温还具有显著的6天滞后影响,预示着当前的研究可能低估了负面影响。此外,异质性结果表明北方中温带地区的农村中年女性更易受到高温的威胁。

本文余下内容安排如下:第二部分回顾相关文献;第三部分介绍实证模型、数据来源与描述性统计;第四部分讨论实证研究的结果;第五部分总结与讨论。

二、文献回顾

(一) 高温的经济效应

温度和经济发展的关系一直备受关注。14世纪,伊本·赫勒敦已开始关注气温与人均收入的关系(Gates, 1967)。跨国别的研究发现炎热的环境对于人均收入有显著的负向影响,1950年热带国家较非热带国家人均收入低50%(Dell et al., 2009)。针对加勒比地区的研究也发现,1℃的年均温度上升将导致经济产出下降2.5%,且这种影响主要集中在一年中最热的月份(Hsiang, 2010)。

此外,大量证据表明高温对经济部门内部的劳动生产率有显著影响。在全球的大多数地区,高温将降低劳动生产率及有效的工作日数量(Heal and Park, 2016)。伯克利热舒适模型²预测的人体舒适温度为25℃³(Huizenga et al., 2001),Seppänen et al. (2003)的研究表明当环境温度超过25℃时,温度每上升1℃,工作绩效平均下降2%。Chen and Yang (2017)发现,当平均温度大于24℃时,中国工业产出将急剧下降,且滞后的高温状况会对当年的工业产出造成更大的不利影响。高温还可能会引起劳动力在

² 伯克利热舒适模型将人体划分为19个部位作局部热暴露研究,并在此基础上预测了局部舒适温度,建立了全身热舒适模型。

³ Hoyt, T., S. Schiavon, A. Piccioli, D. Moon, K. Steinfeld, CBE thermal comfort tool, Center for the Built Environment, University of California Berkeley, <https://cbe.berkeley.edu/research/cbe-thermal-comfort-tool/>, 访问时间:2023年1月12日。

部门之间的转移。Kjellstrom et al. (2009) 预估全球 5 个代表性地区的劳动力受高温影响将由农业向工业和服务业转移，他们认为劳动力由高热暴露到低热暴露的职业转移是适应高温的有效途径。在农业部门，相关文献表明高温将显著降低农产品的全要素生产率和农产品产量 (Shakoor et al., 2011)。由于区域间热量资源及高温发生时段不同，部分学者认为高温对农业生产的影响具有显著的地区性差异，不仅仅依赖于当地具体资源禀赋和农业生产条件，也与各地区气候变化的适应能力密切相关 (陈帅等, 2016)。Butler and Huybers (2013) 使用有效积温评估了高温对美国玉米产量的影响，并进一步发现玉米的空间适应使因高温导致的产量损失从 14% 降至 6%。

(二) 高温对健康的危害

温度升高被认为是影响公众健康最重要的环境因素之一。一方面，高温事件显著增加了与其相关的疾病发生和死亡风险。Rupa and Brian (2011) 利用加州 13 个县的日均体感温度和死亡率评估了高温的潜在风险。研究发现，体感温度每上升 5.6℃，死亡风险增加 4.3%。尽管人体具有较强的调节机制，但对极端温度的耐受性取决于包括年龄、性别、形态和脂肪厚度等因素在内的个人特征。Kenny et al. (2010) 的研究发现，60 岁以上、患有肥胖症、心血管疾病、肺部疾病或长期患有糖尿病的人群更易在热浪中增加相关疾病风险。另一方面，研究表明由于低估高温影响或缺乏应对方法，即使人们收到高温警报，也很少改变自己的行为来适应高温状况 (Burton et al., 2009)。此外，社会地位、贫穷等因素通过限制技术、护理和服务的使用进一步降低了人们适应高温的可能性 (Michael et al., 2008)。

高温对心理健康也有显著影响。Thompson et al. (2018) 总结了高温与精神健康有关的 35 项研究，发现有 15 项研究表明高温增加了自杀风险，同时在较高温度下与心理健康有关的就诊次数也会增加。Hansen et al. (2008) 使用澳大利亚 1993—2006 年的健康数据测算了由热浪造成住院的情况，结果表明当最高气温高于 26.7℃ 时，因心理健康而住院的患者数量显著增加约 7.3%。

高温对特定群体认知表现的影响也受到了学界关注。Kjellstrom et al. (2009) 研究发现高温将显著降低工人的生产效率。针对军人的研究发现，环境温度升高将导致工作记忆、信息保持和信息处理能力下降，行动的有效性和效率也受到严重损害，在高温环境下个体需要利用更多的神经资源来达到与之前相同的认知程度 (Hocking et al., 2001)。高温能够部分解释核心任务的完成、词汇和空间回忆的测试成绩下降 (Hygge and Knez, 2001)。针对青年群体的研究发现，高温会使考试成绩显著下降，降低学生进入一流大学的机率 (Graff-Zivin et al., 2020)。针对中老年群体的短时记忆能力与计算能力，Yi et al. (2021) 同样发现高温有一定的负面影响。总体来说，外界环境温度的上升将导致大脑内部温度上升 (Gaoua et al., 2012)，短期暴露在炎热环境中可能将导致不同群体的认知能力显著下降。

(三) 高温对健康影响的实证方法

公共卫生领域早在 20 世纪 90 年代就开始关注高温对健康风险的影响，Kalkstein and Greene (1997) 在 1997 年利用干热气团估计了高温对死亡率的影响。随后，考虑到

地区和时间的异质性,公共卫生领域利用每日死亡或住院人数的对数线性泊松模型在城市层面进一步估计高温效应(如 Curriero et al., 2002)。此估计方法能够较好地刻画短期内温度与健康之间复杂的动态关系。不同于医学上的小样本短期研究,经济学者通过计量方法在更大的空间尺度下从复杂的实际环境中识别了高温对健康风险的影响。经济学研究主要使用固定效应模型估算高温对健康的影响。目前研究主要集中于极端高温对死亡率或入院治疗率的影响,对认知表现、慢性病、生活质量等其他潜在影响巨大的健康领域关注不足。此外,高温暴露对健康的影响可能具有滞后效应和累积效应(Graff-Zivin et al., 2020),人们对高温的长期适应性措施也可能降低来自高温的威胁。部分经济学者在研究中构造温度箱变量来考察高温对健康的滞后影响和累积影响。例如, Deschênes and Greenstone (2011) 利用平均温度落在不同温度区间内的总天数来表示高温的累积效应,探究温度对死亡率和家庭适应性行为的影响。但是,只考虑高温天数无法反映每一单位温度上升带来的健康影响。Deschênes and Greenstone (2011) 利用平均温度超过 65°F (约 18.3°C) 的度数进一步探究了温度上升对死亡率的边际影响。Graff-Zivin et al. (2020) 使用类似的积温指数(阈值为 14°C)来表示高温状况,其研究结果表明高温对青年群体认知能力有显著的负面影响,且长期影响远小于短期影响。

总体来说,针对高温对认知影响的研究目前主要局限于机制论证方面,而大规模的经验研究仍比较缺乏。尽管经济学相关文献已开始关注高温的现实影响,但是针对中老年这个重要决策群体的高温认知能力整体影响仍有待于进一步考证。此外,目前经济学领域研究更多关注高温对死亡率等宏观健康风险的评估,较少关注高温所引起的微观层面健康风险。因此,本文利用全国范围的调查就高温对中老年人认知能力的影响分析有助于评判高温对社会经济活动主要决策者群体认知的影响。

三、模型设定、数据来源与描述性统计

(一) 实证模型

在面板数据基础上,本文借鉴了 Zhang et al. (2018) 的研究,采用固定效应模型识别中老年人认知能力受到的高温影响,具体实证模型设定如下:

$$\begin{aligned} Cogn_{c_{i}y_{t}} = & \beta_0 + \beta_1 HSDD_{25}^k_{c_{i}y_{t}} + \beta_2 W^k_{c_{i}y_{t}} + \beta_3 PM^k_{c_{i}y_{t}} + \beta_4 X_{c_{i}y_{t}} \\ & + u_i + \eta_s + f(t) + \gamma_{cy} + \varepsilon_{c_{i}y_{t}}, \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $Cogn_{c_{i}y_{t}}$ 表示位于 c 市的 i 个体在第 y 年观测当天 t 的认知测试得分。确定有效衡量中老年人认知能力的指标是识别高温影响的关键。简易精神状态评价量表(MMSE)常被用于评估痴呆状况及认知能力缺损程度,一般包括时间定向力、地点定向力、短时记忆、延迟记忆、注意力、计算力、语言和视空间等内容。遗憾的是 CHARLS 2013 年与 2015 年两期问卷中只包含 MMSE 量表的部分问题,主要包括时间定向力、记忆能力(短时记忆和延迟记忆)和计算能力三个方面。其中,时间定向力是被调查者对年、月、日、季节和星期的准确认知程度;记忆能力主要考察受访者的短时记忆和延时记忆能力,在调研过程中,调研员向被调查者连续读 10 个词语,要求调查对象在两次不同时间内进行词语回忆;算术能力则通过让受访者从 100 连续减 7 五次来考察。本研究参考谭文静和陈功(2020)使用的简化方法计算认知测试得分:共 30 题,每答对一题记一

分，分数越高，代表认知功能越健全。相较于 Zhang et al. (2018)、Yi et al. (2021) 使用的单一指标，综合指标不仅更常被使用于认知相关研究，且更能全面反映认知能力受其他因素的影响（李涛等，2017），对于政策制定者来说也更具政策参考价值。

对高温的准确测度是本研究的关键所在，核心解释变量 $HSDD_{25^k_{c_{i,y,t}}}$ 表示位于 c 市的受访者 i 在 y 年从调查前 k 天到调查当天 t 暴露的累积高温水平。工业健康领域常使用湿球黑球温度指数⁴来衡量个体接触的热负荷，并评价高温对工人职业健康的影响（如 Kjellstrom et al., 2009）。但是干湿球温度的测量需要精准的测量仪器，由于 CHARLS 问卷中并未记录干湿球温度，因此本研究无法采用这一指标。另一方面，医学领域常直接使用平均温度或最高温度作为高温指数。例如，Hajat et al. (2006) 以平均气温为高温变量来识别高温对死亡率的影响。但是，由于累积的炎热天气可能比短暂的炎热天气对人类健康的威胁更大（Deschênes and Greenstone, 2011），仅用平均温度或最高温度来衡量可能会低估高温的影响。为避免上述问题，Cho (2017) 等学者利用最高温度或平均温度超过某阈值的天数来探究高温是否会威胁青年群体认知能力，该高温指标的使用同时兼顾了瞬时最高温和长期暴露在高温中的影响。然而，只考虑高温天数无法反映每一单位温度上升带来的健康影响。鉴于此，Graff-Zivin et al. (2020) 使用不同时期内平均温度超过 14°C 的平均度数来估计高温对青年群体认知表现的边际效应，该积温指数也同时反映了高温的累积效应和滞后效应。因此，本研究参照 Graff-Zivin et al. (2020) 对温度的处理方法，构造高温积温指数（heat stress degree days, HSDD）以探究高温对中老年群体认知能力的边际效应和滞后效应：

$$HSDD_{25^k_{c_{i,y,t}}} = \sum_{k=0}^n \max(0, T_{c_{i,y,t-k}} - 25^{\circ}\text{C}). \quad (2)$$

考虑到高温可能存在滞后效应，本研究将 n 的取值范围设置为 $[0, +\infty)$ 。其中， $k=0$ 表示受访当天， $k=56$ 表示从受访当天开始的滞后 8 周，大约两个月。尽管目前学界对高温的临界值尚未统一，但是常以平均温度 25°C 作为高温的阈值温度（Heal and Park, 2016）。伯克利热舒适模型是用于评估复杂热环境的人体生理模型，在其他条件不变的情况下，该模型预测的人体舒适温度也为 25°C （Huizenga et al., 2001）。另一方面，当环境温度在 $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在 $40\% \sim 70\%$ 时，人体感觉最舒适。⁵ 鉴于以上分析，本文将高温的阈值设为 25°C 。

为了更清晰地识别中老年人个体认知在不同调查期内受高温天气影响的差异，除核心解释变量外，本研究的基础模型还控制了其他相关变量。研究表明，高龄肥胖（Kenny et al., 2010）、慢性病及老年痴呆症（Kenny et al., 2010）、经济状况（Kenny et al., 2010）、婚姻状况（Bae et al., 2014）、抑郁（胡倩等，2016）等个体或家庭因素可能在一定程度上会影响中老年人认知能力。因此，本文将上述影响认知能力的各因素作为控制变量加入基础模型。具体来说， $X_{c_{i,y,t}}$ 表示受访当年的人口特征和个体健康状况，其中人口特征包括被调查对象的年龄及其平方项、婚姻状况、人均年净收入和家庭总人口数；对认知产生影响的生理和心理健康指标包括被调查者的慢性病患病数量、BMI、抑郁程度和老年

⁴ 具体请见《热环境根据 WBGT 指数（湿球黑球温度）对作业人员热负荷的评价》，<https://www.spc.org.cn/online/fcab08679ccdd5fdbf94bb3646f17156.html>，访问时间：2023 年 1 月 12 日。

⁵ 王美丽，“最佳人体舒适温度是多少？”，《中国气象报》，2017 年 12 月 15 日，第四版。

痴呆症虚拟变量。此外,本文借鉴 Zhang et al. (2018) 在研究认知能力影响因素时所选取的其他气象指标 $W_{c_{iyt}}^k$, 包括滞后 k 天到调查当日 t 的平均相对湿度、平均风速、平均降水量和平均日照时长。其中,高温受日照时长影响,且与日照时间密切相关的维生素 D 缺乏也可能在一定程度上降低中老年人认知能力 (Keeney et al., 2015); 风速及相对湿度 (Trezza et al., 2015) 会影响人体体温调节系统,进一步可能会影响高温对认知能力的效应; 空气污染将显著降低人体认知能力 (Zhang et al., 2018)。因此本文将上述变量加入模型。

模型中 u_i 表示不随时间变化的个体固定效应。考虑到不同个体的认知能力可能因受访时段(例如上午和下午)、周中和周末的不同而产生差异,本文控制了更多维度的时间固定效应 η_s 和每日线性时间趋势 $f(t)$ 。其中,时间固定效应 η_s 包括月份、星期固定效应及按子午线调整的时段固定效应⁶; 每日线性时间趋势 $f(t)$ 的取值范围从 1 (2013 年 1 月 1 日) 到 1 095 (2015 年 12 月 31 日)。同时,本文加入城市-年固定效应 γ_{cy} 以控制城市随年份变化的特征。 $\epsilon_{c_{iyt}}$ 为误差项, β 是待估参数向量。此外,本文还考虑了城市-年层面的聚类标准误,并在校正无响应的个体层面控制了权重⁷。

(二) 数据来源

本研究以 CHARLS 的 2013 年和 2015 年调查为基础。CHARLS 全国基线调查始于 2011 年,随后每两年进行一次追踪调查。但是,CHARLS 并未公开 2011 年的准确调查时间,因此无法将认知测试结果与气温进行匹配。此外,笔者还发现 2011 年的社区调查中只有 15% 处在中国最热的季节(7—9 月),而 2013 年和 2015 年的调查中分别有 93% 和 99% 的个体在这段时间接受了调查。在已经公布的 2013 年和 2015 年两年数据中,由于人口特征信息、个体健康情况、认知水平等数据的部分缺失问题,最终形成分析样本 10 630 个,覆盖全国 26 个省/自治区/直辖市的 109 个市。其中,最重要的 CHARLS 调查时间信息精确到调查当日的时点。附表 A1 描述了本研究中使用变量的定义及其 CHARLS 编码。⁸

本文的气象信息来自国家气象信息中心的 825 个气象站,采用的相关气象数据包括每日的最高和平均温度、平均风速、平均相对湿度、降水量和日照时长等。此外,本文还使用了中国环境监测总站提供的 PM_{10} 来代表空气质量。由于一市内可能包含多个气象站和环境监测站,本文的气象和空气质量数据均在已观测信息基础上使用距离反比加权法插值得到。

(三) 描述性统计

表 1 是对样本进行的描述性统计。中老年人的认知测试平均得分为 13.20 分。从样本特征来看,样本中有 67% 的调查对象来自农村,33% 来自城市。平均年龄 60.5 岁左右,男性占 47%。婚姻状况方面,大约 88% 的受访者已婚并与配偶共同居住,余下

⁶ 本文将调查时段划分为: 24:00—8:00, 8:00—12:00, 12:00—16:00, 16:00—24:00。

⁷ 感谢评阅专家的建议,对权重的解释具体请见: <https://charls.pku.edu.cn/wenjian/jixiandiaochashujuyonghush-iyongshouce2013-04-07.pdf>, 访问时间: 2023 年 1 月 13 日。

⁸ 限于篇幅,本文附录未列示,留存备查。

12%的受访者未婚、离婚或丧偶。样本总体的受教育程度为小学文化水平（5 年制小学）。本研究使用家户收入与支出、家庭得到及提供的经济帮助、家庭人口总数三项指标衡量人均年净收入，样本总体人均年净收入为 1.68 万元。从样本个体的健康水平看，中老年人抑郁程度得分的样本均值为 1.82（范围：1~4；1 分表示无抑郁）。慢性病的患病数量平均为 0.53 个，根据受访时间分组统计后发现（请见附表 A2），2015 年样本的平均慢性病患病数量及抑郁程度较 2013 年均有所上升。本文将 BMI 指数位于健康区域（ $18.5 \leq \text{BMI} \leq 23.9$ ）的个体取值为 0，不在此范围的设定为 1。从统计描述结果来看，BMI 指标的样本均值为 0.5，表明样本中仅有约 50%的中老年人体重正常。

表 1 个体变量统计描述

变量名	变量描述	均值	标准差
认知测试得分	0—30 分	13.20	5.56
残疾虚拟变量	0=不残疾，1=残疾	0.12	0.33
居住地	0=农村，1=城市	0.33	0.47
性别	0=男，1=女	0.53	0.50
年龄	岁	60.5	9.13
婚姻状况	1=有配偶，0=其他	0.88	0.33
受教育年限	年	5.13	4.08
人均年净收入	万元	1.68	3.05
慢性病数量	个	0.53	0.84
老年痴呆症虚拟变量	0=无，1=有	0.01	0.11
BMI	0=正常（ $18.5 \leq \text{BMI} \leq 23.9$ ），1=不正常（ $\text{BMI} > 23.9$ 或 $\text{BMI} < 18.5$ ）	0.50	0.50
抑郁程度得分	1—4 分，1=无抑郁	1.82	0.62
家户人数	人	3.46	2.46

表 2 是气象指标总体以及按照调查时间分组的描述性统计结果，附表 A3 展示了除核心自变量外的其他气象指标滞后七天的描述性统计结果。从样本来看，调查当日的积温均值为 2.37°C 。2015 年空气质量较 2013 年有所提高， PM_{10} 均值从 2013 年的 $86.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降至 $62.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，这与环保部发布的《2015 年中国环境状况公报》⁹ 趋势基本一致。样本总体中调查当日的平均相对湿度为 73%，平均风速为 2 米/秒。

表 2 气象指标统计描述

变量名	样本总体		2013 年		2015 年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
$HSDD_{-25}^0$ ($^{\circ}\text{C}$)	2.37	2.45	2.70	2.73	2.04	2.07
$HSDD_{-25}^1$ ($^{\circ}\text{C}$)	4.72	4.77	5.47	5.35	3.98	3.97
$HSDD_{-25}^2$ ($^{\circ}\text{C}$)	7.07	6.96	8.25	7.89	5.88	5.63
$HSDD_{-25}^3$ ($^{\circ}\text{C}$)	9.40	9.07	11.04	10.37	7.77	7.19

⁹ 资料来源：https://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201606/t20160602_353138.htm，访问时间：2023 年 1 月 13 日。

(续表)

变量名	样本总体		2013年		2015年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
HSDD_25 ⁴ (°C)	11.75	11.10	13.83	12.77	9.67	8.63
HSDD_25 ⁵ (°C)	14.03	13.04	16.55	15.11	11.50	9.95
HSDD_25 ⁶ (°C)	16.23	14.95	19.24	17.42	13.23	11.22
HSDD_25 ⁷ (°C)	18.41	16.82	21.91	19.67	14.92	12.44
PM ₁₀ ⁰ (mg/m ³)	0.07	0.04	0.09	0.04	0.06	0.03
日照时长 ⁰ (小时/日)	6.98	3.80	7.29	3.73	6.67	3.84
降水量 ⁰ (毫米/日)	47.77	106.18	39.13	80.51	56.42	126.17
相对湿度 ⁰ (0—1)	0.73	0.13	0.71	0.14	0.75	0.12
平均风速 ⁰ (米/秒)	2.04	0.96	2.05	1.02	2.03	0.89

注：以上变量的上标“0”表示调查当天的数值。

四、实证结果分析

本部分将首先分析实证研究的基础模型估计结果。同时，为了更准确地识别每一特定温度对中老年群体认知能力的影响，本文还将对温度的非线性影响进行识别。此外，为避免模型设定错误导致的估计结果偏误，本研究将进行稳健性检验和安慰剂检验以确保估计结果的准确性。最后，本部分将对样本做相应的异质性分析。

(一) 基础模型结果

本研究首先考察了高温对中老年人认知能力的影响，具体回归结果见表3。第(1)列只控制了调查当天的高温情况，结果显示调查当天HSDD_25每增加1°C会引起认知测试得分下降约0.07分。表3最后一列为加入所有气象指标、空气质量、人口特征及个体健康状况后的回归结果。可以发现，遗漏变量将导致高温的影响被低估约18%。总体而言，尽管模型不断增加新的控制变量，但是并不影响高温会降低认知得分的基本结论，调查当天HSDD_25每增加1°C将引起认知测试得分下降约0.1分，从边际影响上来看，几乎是Yi et al. (2021) 测算影响的两倍。这还仅仅是基于CHARLS简化版MMSE量表的结果，因此笔者有理由相信高温对中老年群体认知能力的实际影响应该是被低估了。为了检验高温对中老年人认知能力的影响是否存在滞后性，本文进一步检验了滞后一天到滞后两个月的高温影响。表4针对高温滞后影响的估计表明，高温对于中老年人综合认知测试分数的负向影响有显著的短期滞后性，最长可以持续影响6天。其中，调查当日高温的影响最大，随着滞后天数的增加，高温影响也在减弱。表4显示高温的长期影响从滞后2周到滞后8周均不显著，因此高温对认知能力没有明显的长期不利影响。此外，与Graff-Zivin et al. (2020) 针对中国青年的研究结论不同，他们研究发现，高温对青年群体的高考成绩有显著的负面影响，并且对学生的未来职业生涯和终身收入可能具有深远的影响。这也表明高温可能会对不同年龄群体的认知产生不完全一样的负面影响。

从其他控制变量的影响来看，年龄与认知能力呈显著的二次曲线关系，年龄越大认知测试得分越低。值得注意的是，中老年人的抑郁程度越高，其认知水平在 1% 统计水平上显著为负，这也和胡倩等（2016）的结论一致。因此，降低中老年人的抑郁水平，是维持中老年人认知能力的一个有效方法（胡倩等，2016）。从表 4 中可知，相对湿度升高将导致认知能力得分的下降，这与 Moyen et al.（2014）和 Trezza et al.（2015）的研究结论一致。

表 3 高温对中老年人认知能力的影响估计（调查当天）

	(1)	(2)	(3)
HSDD_25 ⁰ (°C)	-0.0690*	-0.0887*	-0.0838*
	(0.0406)	(0.0484)	(0.0489)
相对湿度 ⁰ (0-1)		-0.7589	-0.7013
		(1.1500)	(1.1427)
平均风速 ⁰ (米/秒)		-0.0344	-0.0329
		(0.0849)	(0.0859)
PM ₁₀ ⁰ (mg/m ³)		1.1614	1.1125
		(2.3285)	(2.3087)
日照时长 ⁰ (小时/日)		-0.0128	-0.0113
		(0.0264)	(0.0263)
降水量 ⁰ (毫米/日)		-0.0000	0.0001
		(0.0007)	(0.0007)
年龄 (岁)			0.4511**
			(0.2232)
年龄的平方项			-0.0037**
			(0.0017)
人均年净收入 (万元)			-0.0621
			(0.0583)
婚姻状况			-0.6612
			(0.4613)
慢性病数量 (个)			-0.0394
			(0.1670)
老年痴呆症虚拟变量			0.1881
			(0.5851)
BMI			0.0585
			(0.1641)
家庭人口数 (口)			0.0464
			(0.0384)
抑郁程度得分			-0.4832***
			(0.1051)
观测值	10 630	10 630	10 630

注：(1) ***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

(2) 括号中的数字代表标准误。

(3) 模型中已包括个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势、城市-年固定效应，模型考虑了城市-年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。

表4 高温对老年人认知能力的滞后影响估计

	$k=0$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=14$	$k=21$	$k=56$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
$HSDD_{25}^k$ (°C)	-0.0838*	-0.0442*	-0.0276*	-0.0209*	-0.0213**	-0.0224**	-0.0180*	-0.0130	-0.0003	0.0014	-0.0003
	(0.0489)	(0.0241)	(0.0165)	(0.0126)	(0.0106)	(0.0100)	(0.0094)	(0.0092)	(0.0064)	(0.0052)	(0.0036)
相对湿度 ^k (0-1)	-0.7013	-1.6808	-1.6596	-1.9211	-2.6224	-3.2219*	-3.9384**	-5.0892***	-7.1052**	-6.7683*	-10.0993
	(1.1427)	(1.3303)	(1.3960)	(1.5318)	(1.7293)	(1.7994)	(1.8213)	(1.9450)	(3.1671)	(3.9638)	(6.5772)
PM_{10}^k (mg/m ³)	1.1125	2.9595	3.4678	3.4529	2.1745	1.6372	0.2232	-0.5864	5.0016	2.4108	1.7422
	(2.3087)	(2.7795)	(3.5808)	(3.6463)	(3.7912)	(3.8467)	(4.3308)	(4.6145)	(6.2853)	(7.3432)	(12.0685)
平均风速 ^k (米/秒)	-0.0329	-0.0064	0.0327	-0.0113	-0.1743	-0.1958	-0.1914	-0.2019	-0.1957	-0.4337	-0.0131
	(0.0859)	(0.1106)	(0.1448)	(0.1618)	(0.1720)	(0.2076)	(0.2193)	(0.2268)	(0.2781)	(0.3600)	(0.7828)
日照时长 ^k (小时/日)	-0.0113	-0.0247	-0.0260	-0.0333	-0.0113	-0.0091	-0.0469	-0.0855	-0.1552	-0.1847	-0.1298
	(0.0263)	(0.0372)	(0.0433)	(0.0517)	(0.0560)	(0.0574)	(0.0630)	(0.0671)	(0.0989)	(0.1603)	(0.2525)
降水量 ^k (毫米/日)	0.0001	0.0009	0.0012	0.0012	0.0025	0.0027	0.0027	0.0038	0.0070*	0.0034	0.0097
	(0.0007)	(0.0012)	(0.0013)	(0.0015)	(0.0016)	(0.0018)	(0.0022)	(0.0028)	(0.0040)	(0.0059)	(0.0104)
观测值	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630

注：(1)***、**、* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

(2) 括号中的数字代表标准误差。

(3) $k=0$ 表示调查当天积温， $k=1$ 表示滞后1天和调查当天积温， $k=56$ 表示滞后8周到调查当天的积温，以此类推。

(4) 模型中已包括个体特征、个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势、城市-年固定效应，模型考虑了城市-年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。

(二) 非线性影响

本文使用温度箱的方法来识别温度-健康之间的非线性关系。这种方法区分了温度分布,并允许每个温度箱对健康有不同的影响。本研究以 1℃ 为区间将平均温度划分为 10 个分区¹⁰,使用样本个体所处城市的每日平均温度落入特定温度箱中的天数作为解释变量。出于对基准估计结果进行稳健检验的目的,考虑到本文所设置的高温阈值温度,本文选择 ≤21℃ 的温度箱作为基准组。为更好地识别短期内高温对中老年人认知能力的影响,图 1A 至图 1D 展示了认知测试调查当天至滞后三天 (k=0, 1, 2, 3) 每一天的结果:

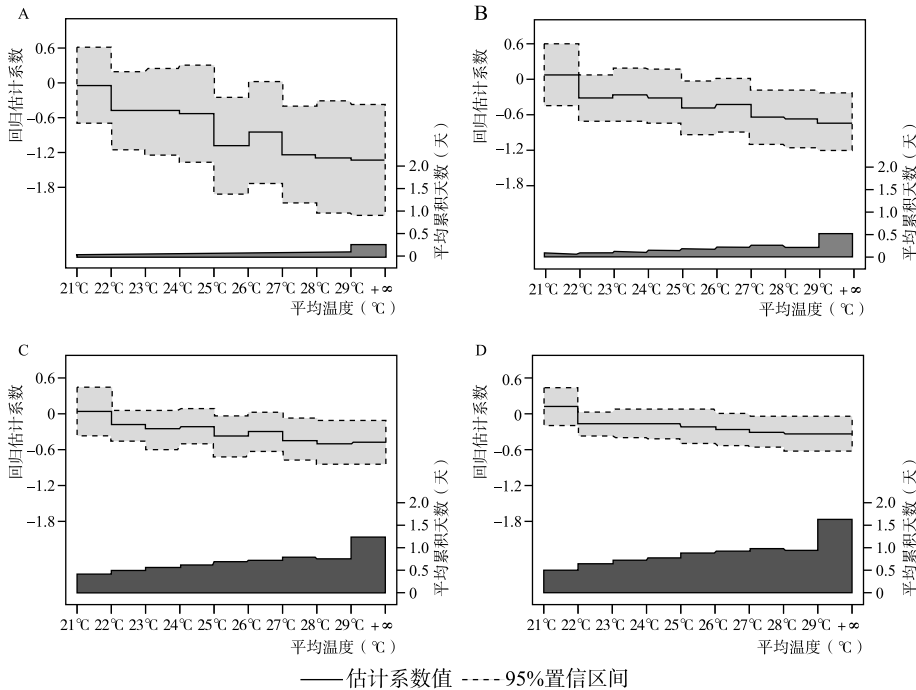


图 1 高温对中老年人认知能力的非线性影响

- 注: (1) 调查当天样本所处地区平均温度超过 25℃ 时,样本所处地区平均最高温度约为 34℃;调查当天样本所属地区平均温度超过 29℃ 时,样本所处地区平均最高温度超 36℃,超过我国高温补贴发放标准 (35℃)。
- (2) 模型中已包括其他天气状况和空气质量特征、个体特征、个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势,城市-年固定效应,模型考虑了城市-年层面的聚类标准误,并在校正无响应的个体层面控制了权重。
- (3) 图 1 中 A 图表示受访当天的结果, B 图至 D 图分别表示滞后一天至滞后三天的累计结果。

图 1 的结果表明,高温威胁着中老年人认知能力,并且随着温度的不断升高,高温的负面影响不断加剧。附表 A4 展示了滞后三天到调查当天内不同的温度暴露对中老年人认知能力的影响。本研究发现平均温度低于 21℃ 的天气对中老年人认知能力产生的损害明显小于平均气温高于 29℃ 的高温天气。温度每增加 1℃,调查当日处于平均温度 29℃ 及以上高温环境的样本认知得分将降低 1.3 分,约占样本平均得分的 10%。

同时,附表 A4 的估计结果表明,当平均温度超过 25℃ 时,高温才产生显著的负面

¹⁰ 10 个温度箱分别为 (-∞, 21℃], (21℃, 22℃], (22℃, 23℃], (23℃, 24℃], (24℃, 25℃], (25℃, 26℃], (26℃, 27℃], (27℃, 28℃], (28℃, 29℃], (29℃, +∞)。

影响,这也进一步验证了本文对高温阈值选择的恰当性。当然,与高温造成死亡率上升的研究相比,本文确认高温会降低认知能力的结论是可以理解的。以 Deschênes and Greenstone (2011) 就温度上升对死亡率的非线性影响研究为例,他们发现与平均温度 50°F~60°F 相比,平均温度高于 85°F (约 29.4°C) 的天气状况对死亡率有显著的正向影响。就阈值而言,造成死亡风险上升的高温阈值明显高于 25°C,这显然和两个研究针对的不同健康指标有关。相关医学证据表明,外界环境温度升高将导致大脑核心温度上升,显著降低个体处理复杂认知任务的能力 (Gaoua et al., 2012)。伴随温度进一步升高,炎热的外部环境会导致中暑、热痉挛、热衰竭等更加严重的疾病,直至威胁生命 (Deschênes and Greenstone, 2011)。总而言之,通过高温造成健康问题的程度对比,以及相应阈值的比较,再次提醒政策制定者以及中老年个体,高温对健康的影响并不仅仅局限于极端的高温情况。

(三) 稳健性检验

确定高温指标是衡量高温影响的重要前提,但目前学界对产生健康影响的高温临界值尚无统一标准,并且不同的健康指标可能存在不同的高温威胁范围。例如, Hajat et al. (2006) 发现,夏季日平均气温高于 20°C 后,日死亡率迅速增加。Hansen et al. (2008) 观察到当阈值温度高于 26.7°C 时,环境温度与因精神和行为障碍而住院的人数之间存在正相关关系。鉴于此,为了考察基础结果的可靠性,本文针对高温的度量指标选择进行了稳健性检验。

首先,阈值温度的选择是构建高温积温指数的关键。Graff-Zivin et al. (2020) 在研究高温对中国学生高考成绩的影响时,曾使用阈值温度 14°C 的积温指数来表示高温状况。然而,目前高温的阈值并不存在统一的标准,本文将阈值温度设定为 25°C 可能会对估计结果产生偏差,因此本文选择了 20°C、22°C、28°C 和 30°C 作为阈值温度并构建高温积温指数对核心解释变量进行调整,计算公式与等式 (2) 类似,分别命名为 $HSDD_{20}$ 、 $HSDD_{22}$ 、 $HSDD_{28}$ 和 $HSDD_{30}$ 。

将新构造的高温积温指数替代 $HSDD_{25}$ 放入模型 (1),得到的估计结果报告在表 5 中。估计结果表明无论是选择哪一温度作为高温的阈值温度,高温都会对中老年人的认知能力产生短期的负面影响,但是显著性存在一定差别。例如,当阈值温度为 28°C 时,估计结果表明滞后的高温状况将对中老年人的认知能力产生显著不利影响。但是,随着阈值温度的升高,估计系数不再显著。笔者认为这是由于阈值温度升高导致解释变量非零的样本数量减少,变量在年度间的变异程度降低造成的。核心解释变量为零的样本量大幅增加在一定程度上增加了识别难度。同时标准误差增大导致核心变量的系数尽管与预期方向一致,但是在统计显著性上降低。

其次,考虑到高温高湿会显著降低人体的舒适度,本研究进一步采用体感温度检验基本结论的稳健性。Moyen et al. (2014) 采用实验方法测量了相对湿度对体温调节和知觉的影响,发现随着相对湿度的增加,最大蒸发量和热量损失逐渐减少,相对湿度的增加会进一步降低人体体温调节能力。因此笔者使用滞后 k 天到调查当天 t 的平均体感温度 (APT) 来检验基础模型结果的稳健性,具体结果见附表 A5。体感温度由以下计算公式得到 (Steadman, 1984): $APT_{c_{iy,t}}^k = -2.653 + (0.994 \times T_{c_{iy,t-k}}) + Td_{c_{iy,t-k}}$ 。其中,

表5 稳健性检验：高温对老年人认知能力的影响估计（不同温度阈值）

	$k=0$		$k=1$		$k=2$		$k=3$		$k=4$		$k=5$		$k=6$	
	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例	估计系数	非零的样本比例
HSDD_20 ^k (°C)	-0.1116*** (0.0389)	90.4%	-0.1169*** (0.0383)	92.0%	-0.0562*** (0.0198)	93.0%	-0.0359** (0.0145)	94.0%	-0.0278** (0.0120)	94.3%	-0.0251** (0.0104)	94.8%	-0.0203** (0.0091)	95.3%
HSDD_22 ^k (°C)	-0.1070*** (0.0400)	84.6%	-0.0553*** (0.0200)	87.3%	-0.0356** (0.0140)	88.7%	-0.0261** (0.0113)	89.8%	-0.0217** (0.0099)	90.4%	-0.0210** (0.0090)	90.8%	-0.0173** (0.0083)	91.1%
HSDD_25 ^k (°C)	-0.0838* (0.0489)	67.0%	-0.0442* (0.0241)	71.9%	-0.0276* (0.0165)	75.7%	-0.0209* (0.0126)	77.0%	-0.0213** (0.0106)	78.9%	-0.0224** (0.0100)	80.1%	-0.0180* (0.0094)	81.0%
HSDD_28 ^k (°C)	-0.0098 (0.0744)	36.3%	-0.0182 (0.0387)	42.7%	-0.0126 (0.0253)	47.8%	-0.0130 (0.0175)	51.7%	-0.0220* (0.0132)	54.8%	-0.0235* (0.0122)	56.9%	-0.0163 (0.0115)	58.6%
HSDD_30 ^k (°C)	0.0569 (0.0889)	17.6%	0.0215 (0.0445)	20.7%	-0.0015 (0.0290)	23.4%	-0.0128 (0.0248)	26.1%	-0.0281 (0.0224)	28.2%	-0.0261 (0.0224)	30.2%	-0.0125 (0.0197)	31.9%

注：(1) ***、**、* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

(2) 括号中的数字代表标准误。

(3) $k=0$ 表示调查当天积温， $k=1$ 表示滞后1天和调查当天的积温，以此类推。

(4) 模型中已包括其他天气状况和空气质量特征、个体特征、个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势、城市-年固定效应，模型考虑了城市-年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。

(续表)

安慰剂检验 2：受访日后的高温对中老年人认知能力的影响估计								
	$k=0$	$k=-1$	$k=-2$	$k=-3$	$k=-4$	$k=-5$	$k=-6$	$k=-7$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$HSDD_{25}^k$ (°C)	-0.0838*	-0.0156	0.0101	0.0076	0.0031	-0.0015	-0.0037	-0.0037
	(0.0489)	(0.0471)	(0.0259)	(0.0185)	(0.0148)	(0.0127)	(0.0113)	(0.0104)
观测值	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630	10 630

注：(1) ***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

(2) 括号中的数字代表标准误。

(3) $k=0$ 表示调查当天， $k=1$ 表示滞后 1 天和调查当天的积温。 $k=-1$ 表示受访后第 1 天的积温（不考虑调查当天）， $k=-2$ 表示受访后第 1 天和受访后第 2 天的积温，以此类推。

(4) 模型中已包括其他天气状况和空气质量特征、个体特征、个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势、城市-年固定效应，模型考虑了城市-年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。

(五) 异质性分析

针对不同特征的中老年人分析将有助于识别高温影响的群体差异性，确定适当的干预方案。本文将高温积温指数 $HSDD_{25}$ 分别与性别、年龄、城乡、所属温度带区域做交互项，进一步探讨位于不同温度带或具备不同特征的个体认知受高温影响的差异。图 2 结果表明，女性相较于男性的认知得分受高温影响更大。人们通常认为女性更擅长语言和词语流畅性测试，但生理学家使用基于形态计量学对区域灰质分布的研究结果表明，在与语言相关的皮质区域中，男性和女性之间没有明显的差异 (Chen et al., 2007)。目前公共医学领域对温度敏感性是否存在性别差异的研究不足，女性认知能力更易受高温影响的原因形成机制尚不明确。

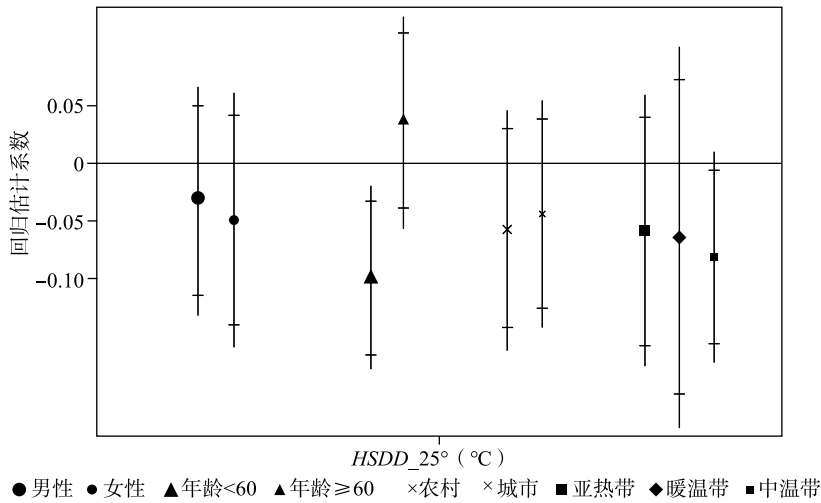


图 2 高温对中老年人认知能力影响的异质性分析

注：(1) 上图表示估计系数、90%置信区间及 95%置信区间。

(2) 模型中已包括其他天气状况和空气质量特征、个体特征、个体固定效应、时间固定效应、每日线性时间趋势、城市-年固定效应，模型考虑了城市-年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。

(3) 本文构建高温积温指数与各特征变量的交互项进行回归。

图2显示中年和老年人的认知能力受高温影响存在差异。本文将调查对象划分为40~60岁(中年组)和60岁及以上(老年组)两个年龄段组。结果显示,与老年组相比中年人的认知能力更易受到高温影响。可能的原因是年龄增长导致老年人感觉功能和体温调节机制发生退化,进一步降低了老年人对外界环境变化的敏感度(Dufour and Candas, 2007)。

与此同时,城乡中老年人的认知测试得分受高温的影响也存在一定差异。图2显示,农村居民较城镇居民更易因气温升高而导致认知下降。Graff-Zivin et al. (2014)发现减少户外活动是家庭对极端温度的有效适应性策略。相较于城市居民,农村居民室外活动时间可能更长因而受高温的影响较大。此外,Heutel et al. (2021)发现美国报告的与热浪相关的死亡人数地区差异几乎都可以解释为居民空调使用频率的差异。针对中国的实证研究也表明,城乡家庭所拥有的空调数量之间存在差距,并且当天气炎热时,城市居民更有可能增加空调的使用频率(Zhao et al., 2019)。这也在一定程度上解释了农村居民更易受高温影响的原因。

根据各地日均温大于或等于10℃积温情况可以将中国划分为五个热量不同的温度带¹¹,按照年积温从大到小排列,中国占据了热带、亚热带、暖温带、中温带和寒温带五个不同热量的地区。由于热带与寒温带面积较小,样本数量也极为有限,因此本研究将处于这两个温度带的样本分别与亚热带和中温带合并。具体来说,本研究以中国温度带为依据划分样本省份,并将各温度带地区变量与HSDD_25相乘构建交互项。图2表明,相较于生活在亚热带地区的中老年群体,中温带地区(积温最低)中老年群体的认知测试得分更易受到高温的负面影响。区域异质性的可能解释原因是人类生理和行为的适应与改变(Heutel et al., 2021)。亚热带地区的老年人经历的高温频率更高、持续时间更长,与中温带地区的老年人相比,他们可能更有经验应对高温天气并采取有效的适应性行为。

五、总结与讨论

本文基于高温天气频繁出现和日益严重的人口老龄化现状,使用全国性调研数据考察了高温对中老年群体认知的影响。研究发现,高温对于中老年人认知能力有着较为显著的负面影响:平均温度每增加1℃,中老年人的认知能力将下降约0.1分。另一方面,高温的影响还具有显著的短期滞后性。为进一步探寻不同特征的样本之间的差异性,本文对样本进行了异质性分析,发现北方中温带地区的农村中年(年龄在40~60岁)女性个体认知能力更易受到高温的负面影响。有别于医学上的小样本研究,本文采用计量经济学的研究方法,从更大空间、时间尺度上证明了高温对中老年人认知能力具有负向影响。研究结论将有助于更加全面地认识气候变化背景下高温对中老年群体健康的影响,并实施必要的干预减缓外部环境带来的负面作用,避免对他们的社会经济决策产生影响。

本文研究结论具有理论和现实意义。一方面,本文是对现有相关研究的有益补充。当前相关研究主要关注高温对青年群体认知表现的风险,并未考虑中老年人这一社会经

¹¹ 温度带的划分具体请见:赵济,《中国自然地理》。北京:高等教育出版社,1995年。

济活动的主要决策者。此外，已有文献更多关注极端温度对国家或区域死亡率的宏观影响，对个体微观领域包括认知能力、慢性病等具体健康风险的研究较少。另一方面，本研究估计了高温对中老年人认知能力的负面效应，为政府采取措施应对气候变化，提升中老年人健康水平提供了科学依据。考虑到全球变暖和极端高温频发的现状，降低气候变化导致的不良影响变得尤为重要和紧迫。鉴于此，本文提出以下政策建议：第一，加强对气候变化与中老年健康关系研究的支持力度，全面评价气候变化对人力资本的影响。第二，加强国际合作，制定符合我国劳动力现状的气候适应性政策。尽管中国是劳动力大国，但目前中国正处于中老年劳动力占比不断上升的过程中。考虑到高温对中老年人健康的负面影响，制定适合我国现状的气候适应性政策可在一定程度上降低未来气候变化给人力资本带来的负面冲击。

受制于数据问题，本研究尚不能针对以空调使用为代表的高温适应性行为及其效果开展研究。一方面，相关文献表明，减少户外热暴露 (Kjellstrom et al., 2009)、使用空调 (Heutel et al., 2021)、衣物调整和通风 (De Dear and Brager, 2002) 等行为是人类减缓高温影响的有效适应行为。另一方面，低估高温影响 (Burton et al., 2009) 和缺乏应对方法 (Michael et al., 2008) 导致人们较少对高温采取适应性措施。由于不能获取样本个体层面空调使用、代谢活动、建筑环境、户外热暴露时间、地区政策等高温适应信息，本研究目前无法对相关适应性行为的高温缓解作用大小作出判断和估计，这也是本研究存在的不足，有待后续进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] Alduchov, O. A., and R. E. Eskridge, "Improved Magnus Form Approximation of Saturation Vapor Pressure", *Journal of Applied Meteorology*, 1996, 35 (4), 601-609.
- [2] Bae, J. B., Y. J. Kim, J. W. Han, T. H. Kim, J. H. Park, S. B. Lee, J. J. Lee, H. G. Jeong, J. L. Kim, J. H. Jhoo, J. C. Yoon, and K. W. Kim, "Incidence of and Risk Factors for Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment in Korean Elderly", *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 2014, 39 (1-2), 105-115.
- [3] Burton, I., K. L. Ebi, and G. McGregor, *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. Dordrecht: Springer, 2009, 1-5.
- [4] Butler, E. E., and P. Huybers, "Adaptation of US Maize to Temperature Variations", *Nature Climate Change*, 2013, 3 (1), 68-72.
- [5] 陈帅、徐晋涛、张海鹏, "气候变化对中国粮食生产的影响——基于县级面板数据的实证分析", 《中国农村经济》, 2016年第5期, 第2—15页。
- [6] Chen, X., P. S. Sachdev, W. Wen, and K. J. Anstey, "Sex Differences in Regional Gray Matter in Healthy Individuals Aged 44-48 Years: A Voxel-Based Morphometric Study", *NeuroImage*, 2007, 36 (3), 691-699.
- [7] Chen, X., and L. Yang, "Temperature and Industrial Output: Firm-Level Evidence from China", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 95, 257-274.
- [8] Cho, H., "The Effects of Summer Heat on Academic Achievement: A Cohort Analysis", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 83, 185-196.
- [9] Curriero, F. C., K. S. Heiner, J. M. Samet, S. L. Zeger, L. Strug, and J. A. Patz, "Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States", *American Journal of Epidemiology*, 2002, 155 (1), 80-87.
- [10] De Dear, R. J., and G. S. Brager, "Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55", *Energy and Buildings*, 2002, 34 (6), 549-561.

- [11] Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, "Temperature and Income: Reconciling New Cross-sectional and Panel Estimates", *American Economic Review*, 2009, 99 (2), 198-204.
- [12] Deschênes, O., and M. Greenstone, "Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US", *American Economic Journal: Applied Economics*, 2011, 3 (4), 152-185.
- [13] 丁一汇、任国玉、石广玉, "气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势", 《气候变化研究进展》, 2006年第1期, 第3—8页。
- [14] Dufour, A., and V. Candas, "Ageing and Thermal Responses during Passive Heat Exposure: Sweating and Sensory Aspects", *European Journal of Applied Physiology*, 2007, 100 (1), 19-26.
- [15] Gaoua, N., J. Grantham, S. Racinais, and F. El Massioui, "Sensory Displeasure Reduces Complex Cognitive Performance in the Heat", *Journal of Environmental Psychology*, 2012, 32 (2), 158-163.
- [16] Gates, W. E., "The Spread of Ibn Khaldūn's Ideas on Climate and Culture", *Journal of the History of Ideas*, 1967, 28 (3), 415-422.
- [17] Graff-Zivin, J., S. M. Hsiang, and M. Neidell, "Temperature and the Allocation of Time: Implications for Climate Change", *Journal of Labor Economics*, 2014, 32 (1), 1-26.
- [18] Graff-Zivin, J., Y. Song, Q. Tang, and P. Zhang, "Temperature and High-Stakes Cognitive Performance: Evidence from the National College Entrance Examination in China", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2020, 104, 102365.
- [19] Hajat, S., B. Armstrong, M. Baccini, A. Biggeri, L. Bisanti, A. Russo, A. Paldy, B. Menne, and T. Kosatsky, "Impact of High Temperatures on Mortality: Is There an Added Heat Wave Effect", *Epidemiology*, 2006, 17 (6), 632-638.
- [20] Hansen, A., P. Bi, M. Nitschke, P. Ryan, D. Pisaniello, and G. Tucker, "The Effect of Heat Waves on Mental Health in a Temperate Australian City", *Environ Health Perspect*, 2008, 116 (10), 1369-1375.
- [21] Heal, G., and J. Park, "Reflections-Temperature Stress and the Direct Impact of Climate Change: A Review of an Emerging Literature", *Review of Environmental Economics and Policy*, 2016, 10 (2), 347-362.
- [22] Heutel, G., N. H. Miller, and D. Molitor, "Adaptation and the Mortality Effects of Temperature Across U. S. Climate Regions", *The Review of Economics and Statistics*, 2021, 103 (4), 740-753.
- [23] Hocking, C., R. B. Silberstein, W. M. Lau, C. Stough, and W. Roberts, "Evaluation of Cognitive Performance in the Heat by Functional Brain Imaging and Psychometric Testing", *Comparative Biochemistry & Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2001, 128 (4), 719-734.
- [24] Hsiang, S. M., "Temperatures and Cyclones Strongly Associated with Economic Production in the Caribbean and Central America", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107 (35), 15367-15372.
- [25] 胡倩、刘飞彤、聂芳芳、闫国立, "正常中老年人负性情绪积累对认知能力的影响", 《中医学报》, 2016年第8期第31卷, 第1203—1205页。
- [26] Huizenga, C., Z. Hui, and E. Arens, "A Model of Human Physiology and Comfort for Assessing Complex Thermal Environments", *Building and Environment*, 2001, 36 (6), 691-699.
- [27] Hygge, S., and I. Knez, "Effects of Noise, Heat and Indoor Lighting on Cognitive Performance and Self-Reported Affect", *Journal of Environmental Psychology*, 2001, 21 (3), 291-299.
- [28] Kalkstein, L. S., and J. S. Greene, "An Evaluation of Climate/Mortality Relationships in Large U. S. Cities and the Possible Impacts of a Climate Change", *Environ Health Perspect*, 1997, 105 (1), 84-93.
- [29] Keeney, J. T., and D. A. Butterfield, "Vitamin D Deficiency and Alzheimer Disease: Common Links", *Neurobiology of Disease*, 2015, 84, 84-98.
- [30] Kenny, G. P., J. Yardley, C. Brown, R. J. Sigal, and O. Jay, "Heat Stress in Older Individuals and Patients with Common Chronic Diseases", *Canadian Medical Association Journal*, 2010, 182 (10), 1053-1060.
- [31] Kjellstrom, T., R. S. Kovats, S. J. Lloyd, T. Holt, and R. S. J. Tol, "The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity", *Archives of Environmental & Occupational Health*, 2009, 64 (4), 217-227.

- [32] 李涛、朱俊兵、伏霖, “聪明人更愿意创业吗? ——来自中国的经验发现”, 《经济研究》, 2017 年第 3 期第 52 卷, 第 91—105 页。
- [33] Michael, H., G. Klepper, and S. Peterson, “Costs of Climate Change: The Effects of Rising Temperatures on Health and Productivity in Germany”, *Ecological Economics*, 2008, 68 (1-2), 381-393.
- [34] Moyon, N. E., C. L. V. Ellis, A. B. Ciccone, T. S. Thurston, K. C. Cochrane, L. E. Brown, J. W. Coburn, and D. A. Judelson, “Increasing Relative Humidity Impacts Low-Intensity Exercise in the Heat”, *Aviation Space & Environmental Medicine*, 2014, 85 (2), 112-119.
- [35] Nie, H., Y. Xu, B. Liu, Y. Zhang, T. Lei, X. Hui, L. Zhang, and Y. Wu, “The Prevalence of Mild Cognitive Impairment about Elderly Population in China: A Meta-Analysis”, *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 2011, 26 (6), 558-563.
- [36] Rupa, B., and M. Brian, “High Ambient Temperature and Mortality in California: Exploring the Roles of Age, Disease, and Mortality Displacement”, *Environmental Research*, 2011, 111 (8), 1286-1292.
- [37] Seppänen, O., W. J. Fisk, and D. Faulkner, “Cost Benefit Analysis of the Night-time Ventilative Cooling in Office Building”, *Healthy Buildings*, 2003, 3, 394-399.
- [38] Shakoor, U., A. Saboor, I. Ali, and A. Q. Mohsin, “Impact of Climate Change on Agriculture: Empirical Evidence from Arid Region”, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 48 (4), 327-333.
- [39] Steadman, R. G., “A Universal Scale of Apparent Temperature”, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, 12 (23), 1674-1687.
- [40] Sun, Y., X. Zhang, F. W. Zwiers, L. Song, H. Wan, T. Hu, H. Yin, and G. Ren, “Rapid Increase in the Risk of Extreme Summer Heat in Eastern China”, *Nature Climate Change*, 2014, 4 (12), 1082-1085.
- [41] 谭文静、陈功, “中国老年人视力功能、听力功能与认知功能的关系——基于抑郁状况和社交活动的中介作用分析”, 《人口与发展》, 2020 年第 2 期第 26 卷, 第 70—78 页。
- [42] Thompson, R., R. Hornigold, L. Page, and T. Waite, “Associations between High Ambient Temperatures and Heat Waves with Mental Health Outcomes: A Systematic Review”, *Public Health*, 2018, 161, 171-191.
- [43] Trezza, B. M., D. Apolinario, R. S. de Oliveira, A. L. Busse, F. L. Gonçalves, P. H. Saldiva, and W. Jacob-Filho, “Environmental Heat Exposure and Cognitive Performance in Older Adults: A Controlled Trial”, *Age*, 2015, 37 (3), 1-10.
- [44] Yi, F., T. Zhou, L. Yu, B. Mccarl, and Y. Wang, “Outdoor Heat Stress and Cognition: Effects on those Over 40 Years Old in China”, *Weather and Climate Extremes*, 2021, 32, 100308.
- [45] Zhang, X., X. Chen, and X. Zhang, “The Impact of Exposure to Air Pollution on Cognitive Performance”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115 (37), 9193-9197.
- [46] Zhao, H., G. Geng, Q. Zhang, S. J. Davis, X. Li, Y. Liu, L. Peng, M. Li, B. Zheng, H. Huo, L. Zhang, D. K. Henze, Z. Mi, Z. Liu, D. Guan, and K. He, “Inequality of Household Consumption and Air Pollution-Related Deaths in China”, *Nature Communications*, 2019, 10 (1), 1-9.

How Does Heat Stress Affect the Cognitive Abilities of Middle-aged and Elderly Cohorts?

YI Fujin* YU Luyun

(Zhejiang University)

ZHOU Tianhao

(University of Chinese Academy of Science)

YAN Binjian

(Nanjing Agricultural University)

WANG Yanjun

(Nanjing University of Information Science & Technology)

Abstract: Based on the data from China Health and Retirement Longitudinal Survey, this study analyzes the impact of heat stress on the cognitive ability of middle-aged and elderly cohorts, who are major decision makers in social-economic affairs. Therefore, the stability of their cognitive level is crucial. It is found that heat stress not only has a significantly adverse impact on the cognition of middle-aged and elderly cohorts, but also has a short-term lag effect. In addition, the heterogeneity analysis results show that middle-aged women in north mid-temperature rural areas are more vulnerable to the heat stress. The evidence on the negative impact of heat stress provides a scientific basis for government to take proactive measures to mitigate the impact driven by climate change and consequently improve the health of the middle-aged and elderly.

Keywords: heat stress; cognitive ability; middle-aged and elderly cohorts

JEL Classification: Q54, I18, I15

* Corresponding Author: Yi Fujin, China Academy for Rural Development & School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China; Tel: 86-571-88981520; E-mail: yifujin@zju.edu.cn.

附 录

附表 A1 变量定义及 CHARLS 编码

变量名	描述	CHARLS 编码/气象数据计算方法
认知测试得分	询问年、月、日、星期和季节，以此考察日常记忆能力，共 5 个问题；调研员随机选读 10 个词语，让被调查者进行单词回忆，以此考察被调查者的即时记忆能力，并在一定时间后让被调查者再次回忆之前的 10 个词语，以此考察被调查者的延时记忆能力；让被调查者从 100 连续减 7，以此考察算术能力。共 30 题，每题回答正确记 1 分，否则记 0 分，总分 30 分，得分越高，代表认知功能越健全。	DC001s1-DC001s3；DC002；DC003；DC006s1-DC006s10；DC019-DC023；DC027s1-DC027s10
居住地	0=农村，1=城市	BB000_w3_2
性别	0=男，1=女	BA000_w2_3
年龄	岁	BA002_1 (CHARLS2013)；BA004_w3_1 (CHARLS2015)
婚姻状况	1=有配偶；0=其他	BE001
受教育年限	年	BD001；BD001_w2_3；BD001_w2_4；zBD001；BD001_w3_1
家庭净收入	万元	G2；CE；A001_w3；A002_w3
慢性病数量	个数	DA007
老年痴呆症虚拟变量	0=无；1=有	DA007_12
BMI	0=正常 ($18.5 \leq \text{BMI} \leq 23.9$)，1=不正常 ($\text{BMI} > 23.9$ 或 $\text{BMI} < 18.5$)	QL002；QI002
抑郁程度得分	1—4 分，1=无抑郁	DC009-DC018
家户人数	个	A001_w3；A002_w3

附表 A2 个体变量统计描述 (按受访时间)

变量名	单位	样本总体		2013 年		2015 年	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
认知测试得分	分	13.20	5.56	13.53	5.50	12.88	5.60
年龄	岁	60.50	9.13	59.52	9.10	61.48	9.06
婚姻状况	1=有配偶；0=其他	0.88	0.33	0.89	0.32	0.87	0.33
受教育年限	年	5.13	4.08	5.15	4.09	5.10	4.08
人均净收入	万元	1.68	3.05	1.84	3.09	1.53	2.99

(续表)

变量名	单位	样本总体		2013年		2015年	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
慢性病数量	个数	0.53	0.84	0.50	0.82	0.57	0.87
老年痴呆虚拟变量	0—无; 1—有	0.01	0.11	0.01	0.09	0.01	0.12
BMI	0 = 正常 ($18.5 \leq \text{BMI} \leq 23.9$), 1 = 不正常 ($\text{BMI} > 23.9$ 或 $\text{BMI} < 18.5$)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
抑郁程度得分	抑郁程度得分	1.82	0.62	1.80	0.57	1.84	0.66
家户人数	个	3.46	2.46	4.40	3.01	2.53	1.13

附表 A3 调查当天及滞后七天的气象指标统计描述

变量名	样本总体		2013年		2015年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
PM ₁₀ ⁰ (mg/m ³)	0.07	5.56	0.09	0.04	0.06	0.03
PM ₁₀ ¹ (mg/m ³)	0.08	4.77	0.09	0.04	0.06	0.03
PM ₁₀ ² (mg/m ³)	0.08	0.04	0.09	0.04	0.06	0.03
PM ₁₀ ³ (mg/m ³)	0.08	9.13	0.09	0.04	0.06	0.03
PM ₁₀ ⁴ (mg/m ³)	0.08	0.33	0.09	0.04	0.07	0.03
PM ₁₀ ⁵ (mg/m ³)	0.08	4.08	0.09	0.04	0.07	0.03
PM ₁₀ ⁶ (mg/m ³)	0.08	3.05	0.09	0.04	0.07	0.03
PM ₁₀ ⁷ (mg/m ³)	0.08	0.84	0.09	0.04	0.07	0.03
日照时长 ⁰ (小时/日)	6.98	3.80	7.29	7.17	6.67	3.84
日照时长 ¹ (小时/日)	6.93	3.33	7.30	3.25	6.56	3.37
日照时长 ² (小时/日)	6.87	3.04	7.30	2.96	6.44	3.06
日照时长 ³ (小时/日)	6.83	2.85	7.27	2.79	6.39	2.84
日照时长 ⁴ (小时/日)	6.82	2.70	7.26	2.66	6.38	2.66
日照时长 ⁵ (小时/日)	6.79	2.58	7.22	2.55	6.37	2.54
日照时长 ⁶ (小时/日)	6.76	2.47	7.19	2.45	6.33	2.42
日照时长 ⁷ (小时/日)	6.72	2.39	7.17	2.37	6.28	2.32
降水量 ⁰ (毫米/日)	47.77	106.18	39.13	80.51	56.42	126.17
降水量 ¹ (毫米/日)	49.50	86.87	38.57	65.25	60.43	102.95
降水量 ² (毫米/日)	49.69	74.67	39.54	56.32	59.84	88.17
降水量 ³ (毫米/日)	49.06	65.30	40.00	51.18	58.12	75.80
降水量 ⁴ (毫米/日)	48.62	59.00	39.96	48.53	57.29	66.77
降水量 ⁵ (毫米/日)	48.66	56.37	40.47	46.15	56.85	63.96

(续表)

变量名	样本总体		2013 年		2015 年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
降水量 ⁶ (毫米/日)	48.38	52.19	41.15	44.15	55.61	58.27
降水量 ⁷ (毫米/日)	48.76	49.40	42.35	42.93	55.16	54.38
相对湿度 ⁰ (0—1)	0.73	0.13	0.71	0.14	0.75	0.12
相对湿度 ¹ (0—1)	0.73	0.13	0.71	0.13	0.75	0.12
相对湿度 ² (0—1)	0.73	0.12	0.71	0.13	0.75	0.11
相对湿度 ³ (0—1)	0.73	0.12	0.71	0.12	0.75	0.11
相对湿度 ⁴ (0—1)	0.73	0.11	0.71	0.12	0.75	0.10
相对湿度 ⁵ (0—1)	0.73	0.11	0.71	0.12	0.75	0.10
相对湿度 ⁶ (0—1)	0.73	0.11	0.71	0.12	0.75	0.10
相对湿度 ⁷ (0—1)	0.73	0.11	0.71	0.11	0.75	0.10
平均风速 ⁰ (米/秒)	2.04	0.96	2.05	1.02	2.03	0.89
平均风速 ¹ (米/秒)	2.03	0.89	2.05	0.97	2.01	0.80
平均风速 ² (米/秒)	2.03	0.86	2.07	0.94	2.00	0.76
平均风速 ³ (米/秒)	2.03	0.83	2.08	0.93	1.99	0.72
平均风速 ⁴ (米/秒)	2.03	0.81	2.08	0.91	1.99	0.69
平均风速 ⁵ (米/秒)	2.03	0.79	2.08	0.90	1.97	0.66
平均风速 ⁶ (米/秒)	2.02	0.77	2.08	0.88	1.97	0.63
平均风速 ⁷ (米/秒)	2.02	0.76	2.08	0.87	1.97	0.62

附表 A4 高温对中老年人认知能力的非线性影响估计

	k=0	k=1	k=2	k=3
	(1)	(2)	(3)	(4)
$21 \leq AT^k < 22$	-0.0490 (0.3317)	0.0492 (0.2611)	0.0354 (0.2059)	0.1169 (0.1576)
$22 \leq AT^k < 23$	-0.4918 (0.3406)	-0.3411* (0.1946)	-0.1851 (0.1344)	-0.1665* (0.0998)
$23 \leq AT^k < 24$	-0.4977 (0.3778)	-0.2866 (0.2166)	-0.2608 (0.1637)	-0.1630 (0.1244)
$24 \leq AT^k < 25$	-0.5212 (0.4208)	-0.3218 (0.2222)	-0.2201 (0.1559)	-0.1705 (0.1276)
$25 \leq AT^k < 26$	-1.0846** (0.4221)	-0.4883** (0.2326)	-0.3678** (0.1742)	-0.2187 (0.1376)

(续表)

	k=0	k=1	k=2	k=3
	(1)	(2)	(3)	(4)
$26 \leq AT^k < 27$	-0.8569* (0.4431)	-0.4595** (0.2322)	-0.3110* (0.1635)	-0.2613** (0.1322)
$27 \leq AT^k < 28$	-1.2429*** (0.4242)	-0.6549*** (0.2394)	-0.4314** (0.1764)	-0.3068** (0.1377)
$28 \leq AT^k < 29$	-1.2906*** (0.4856)	-0.6798*** (0.2439)	-0.4958*** (0.1785)	-0.3380** (0.1479)
$AT^k \geq 29$	-1.3318*** (0.4815)	-0.7394*** (0.2516)	-0.4781*** (0.1836)	-0.3499** (0.1499)
观测值	10 630	10 630	10 630	10 630

注：(1) ***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

(2) 括号中的数字代表标准误。

(3) $k=0$ 表示调查当天的积温， $k=1$ 表示滞后 1 天和调查当天的积温，以此类推。

(4) 模型中已包括其他天气状况和空气质量特征，个体特征，个体固定效应，时间固定效应，每日线性时间趋势，城市一年固定效应，模型考虑了城市一年层面的聚类标准误，并在校正无响应的个体层面控制了权重。