

夏季室内风速对中学生学习效率的影响研究

蒋 婧¹, 秦石磊¹, 云旭鑫¹, 王登甲²

(1. 西安工程大学 城市规划与市政工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安建筑科技大学 建筑设备科学与工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 教室环境与学生身心健康及学习效率息息相关。基于前期研究, 本文旨在保证其他舒适环境参数前提下, 探究夏季室内风速变化对中学生学习效率的影响关系。本文采取问卷调查研究与学习效率实验测试相结合的方法, 在实验室内, 设置四组风速(0、0.4、0.8、1.2 m/s), 记录各工况下受试者的测试任务正确率及反应时间, 进而分析不同工况下风速大小对受试者学习效率的影响。结果表明: (1) 0~0.4 m/s 风速内, 受试者健康舒适程度维持最高且基本保持不变, 风速大于 0.4 m/s 后, 随风速的增加, 受试者健康舒适程度迅速下降; (2) 0~1.2 m/s 风速内, 正确率及学习效率先提升后下降, 反应时间先减少后增加, 三者峰值均出现在 0.4 m/s 风速下; (3) 夏季教室内最佳风速推荐值为 0.4 m/s。

关键词: 中学生; 室内风速; 学习效率; 主观评价; 实验研究

中图分类号: TU831.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)05-0766-08

Experimental research on the effect of indoor air velocity on learning efficiency in summer

JIANG Jing¹, QIN Shilei¹, YUN Xunxin¹, WANG Dengjia²

(1. School of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. School of Building Services Science and Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The quality of the classroom environment is closely related to students' physical and mental health and learning efficiency. Based on the previous research, This paper aims to explore the relationship between the change of indoor wind speed in summer and the learning efficiency of middle school students on the premise of ensuring other comfortable environmental parameters. This paper adopts the method of combining questionnaire research and experimental test of learning efficiency. Four groups of wind speeds (0, 0.4, 0.8 and 1.2 m/s) are set in the laboratory to record the test task accuracy and reaction time of subjects under various working conditions, and then analyze the influence of wind speed on subjects' learning efficiency under different working conditions. The results show that: (1) Within the wind speed of 0-0.4 m/s, the health and comfort degree of the subjects remained the highest and basically unchanged. After the wind speed was greater than 0.4 m/s, the health and comfort degree of the subjects decreased rapidly with the increase of the wind speed; (2) Within the wind speed of 0-1.2 m/s, the accuracy and learning efficiency first increased and then decreased, and the reaction time first decreased and then increased. The peak values of the three appeared at the wind speed of 0.4 m/s; (3) The recommended value of the best wind speed in the classroom in summer is 0.4 m/s.

Key words: middle school student; indoor wind velocity; learning efficiency; subjective evaluation; experimental research

中学生身心健康和学习效率受教室环境质量的直接影响^[1]。评价室内环境质量^[2]的参考指标众多, 主要包括室内热湿环境、空气品质、声、光环境。其中, 热湿环境影响因素主要包括: 温度、相对湿度、风速、辐射温度等。而夏季气温较高, 适当的风速能够加速人体表面汗液蒸发, 从而产

生舒适感; 其次, 当前研究者大多针对环境参数与人体舒适度关系进行研究, 而与学习效率相结合的研究相对较少; 同时, 由于测试效率的实验设计多尔繁琐, 从而导致实验结果各异且对受试者认知能力要求较高, 参与者多为大学生^[3-4], 然而中学生的生理特征、心理变化及认知能力与前

收稿日期: 2022-06-15

修回日期: 2023-08-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(51908438); 西部绿色建筑国家重点实验室开放基金项目(LSKF202004)

第一作者: 蒋 婧(1989—), 女, 博士, 副教授, 从事人体热舒适与可再生能源利用的研究, E-mail: jiangjing@xpu.edu.cn

者大不相同,相比于成年大学生,中小學生新陈代谢旺盛,使得中小學生对偏热的环境也更加敏感^[5];此外,众多学者^[6-7]研究发现,中小学教室环境往往较差,特别是乡村中小学。因此,研究夏季室内环境对中学生学习效率的影响具有深远意义。

本课题组前期在针对华中地区夏季的大量调研中发现,该地区的中小学教室一天当中,室内相对湿度、辐射温度等环境因素常常维持较小的波动范围,其变化对学生学习效率影响可忽略不计。室内温度、风速两因素变化范围较大,且大多是时间内,学生更期望通过降低温度、增大风速的方式提高舒适度及学习效率。因此,温度、风速两因素是夏季影响学生学习效率的主要因素。本课题组前期已经得出,该地区夏季教室内最适温度为 26℃。基于前期结论,本文主要研究最适温度下,风速对学生学习效率的影响关系。

目前,关于风速与学习效率之间关系的研究中,尚未明确给出夏季营造舒适且高效的室内学习环境的推荐风速。白鲁建等^[8]研究者对西安市中小学教室环境调查研究发现,中学教室由于人员密集、室内风速过低,导致空气质量差,使得学生闷热感强烈,这将降低学生的学习效率。Wargocki 和 Wyon^[9]与 Bakó-Biró^[10]的研究同时表明,在一定范围内,测试正确率随风速的提高而增加。同济大学胡佳林等^[7-11]研究发现,教室新风量不

足,导致二氧化碳含量过高是影响学生学习效率的主要原因;清华大学朱颖心等^[12]研究发现,适当的风速在保证人员舒适度的同时,不会降低工作效率。综上可知,一定的通风量不仅能提高室内人员舒适度,更有助于提升学习效率,这对学校建筑节能的影响意义深远。

本文基于中学生认知水平,从专注力、感知能力、理解记忆、逻辑推理^[13]四种神经行为为评价测试中,选取 12 项测试任务进行学习效率测试。研究 4 组不同风速下学生学习效率的变化趋势,得出夏季室内风速对中学生学习效率的影响关系。

1 实验方法

1.1 实验条件

实验于 2021 年 8 月在河南省洛阳市模拟教室环境下进行,图 1 为实验现场平面布局图。采用分体式空调控制室内温度,风扇控制风速,空气加湿器调节室内湿度,通过向室内释放 CO₂ 气体控制室内 CO₂ 浓度。通过室外气候的自然变化与室内设备的人工调节共同作用,营造夏季实验工况。实验前,由测试人员对室内环境进行调控、监测。实验中,实时监测室内气流速度、温度、相对湿度、CO₂ 浓度、黑球温度等,并做好记录。根据实验前的室内环境与人员舒适度问卷调查及现场环境参数实测,最终确定本实验设计风速为 0、0.4、0.8 及 1.2 m/s。

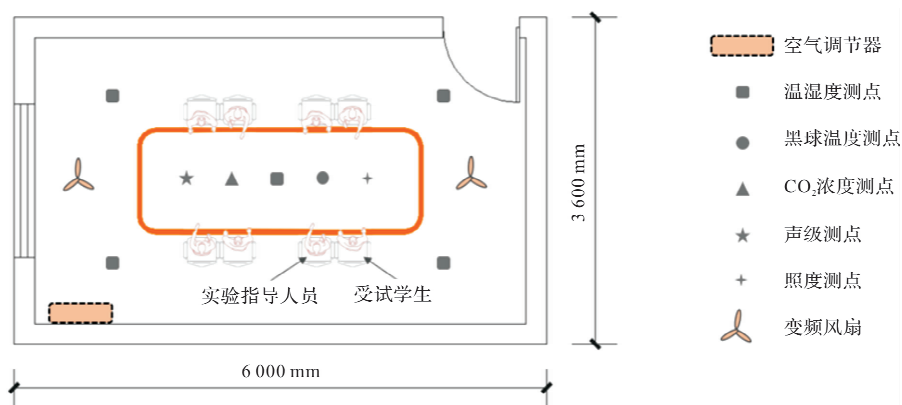


图 1 实验室平面布局图

Fig. 1 Layout plan of laboratory

1.2 受试者和实验安排

本次实验受试者均为当地中学生。首先对选取的受试者进行预实验,使其熟悉实验流程。同时根据预实验的学习效率测试结果,最终确定 16 名(8 男 8 女)成绩相当的学生参加正式实验,以降低因受试者学习能力的差异而对实验结果造成的影响。正式实验的受试者基本信息情况如表 1

所示。

受试者均满足以下五点:(1)近期无感冒发烧等;(2)统一着装,上身 T 恤,下身短裤,鞋子为休闲鞋;(3)避免剧烈运动;(4)参与实验的受试者得到受试者及其家长的同意;(5)受试者严格按照实验要求并配合指导人员完成实验。受试学生被分为 4 组(每组 2 男 2 女),均参与所有的风速工

况实验，为了排除受试者主观意愿对实验产生的误差，实验各工况对受试者保密。

表 1 受试者基本信息表(均值±标准差)

Tab.1 Basic information of subjects(mean value ± standard deviation)

性别	年龄/y	身高/cm	体重/kg	体质 指数/BMI
男	14.6±0.5	165.9±2.3	54.1±3.6	19.7±0.9
女	14.1±0.8	154.6±2.7	45.4±3.1	19.0±0.9
总人数	14.4±0.7	160.3±6.2	49.8±5.5	19.3±1.0

正式实验时间为每天上午 08：00～12：00，下午 14：00～18：00。每天上、下午各进行 1 组

工况实验，每组实验约持续 50 分钟，测试结束即可离开。实验顺序由电脑随机产生，本文实验随机顺序按照 0.8、0、0.4、1.2 m/s 的顺序进行。受试者测试时间分配如图 2 所示。

1.3 实验测试方法

1.3.1 室内环境参数测量

实验前，对所用仪器进行校准，实验中，对室内环境参数进行实时监测，并做好记录。所用仪器包括 CO₂ 测试计、温湿记录仪、热球风速计、热力指数计、噪音计、数字照度计等，仪器具体参数如表 2 所示。

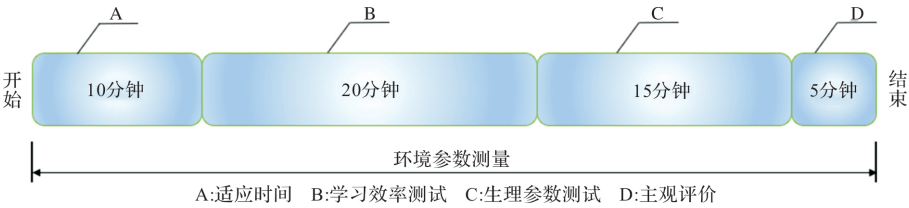








图 2 受试者实验流程

Fig.2 Experimental process of subjects

表 2 实验所用仪器

Tab.2 Instruments used in the experiment

测试参数	测试仪器	仪器型号	测量范围	测量精度	仪器照片
CO ₂ 浓度	CO ₂ 测试计	TES-1370H	0~6 000 ppm	±1 ppm	
温、湿度	温湿记录仪	PR-3003-WS	温度：-40~85 ℃ 湿度：0~100% RH	温度：±0.1 ℃ 湿度：±1.5 %	
气流速度	热球风速计	ZRQF-F30J	0.05~30 m/s	±(4%+0.1) m/s	
黑球温度	热力指数计	8 778	0~80 ℃	±1 ℃	
声级	噪音计	DT855	30~130 dB	±1.4 dB	
照度	数字照度计	BSD33OL	0~100 000LUX/FC	±(3%+5 Lux)	

1.3.2 主观问卷调查

问卷调查主要包括了学生个人基本信息调查、教室内环境主观评价、学习状态自我评价三部分。学生个人基本信息调查,该项调查内容主要包括学生性别、年龄、身高、体重、衣着情况等;教室内环境主观评价,包括了学生对热湿环境和空气品质等的感觉、期望变化,以及对室内整体环境舒适度、满意度评价,热感觉评价采用ASHRAE的7级标度:冷(−3)、凉(−2)、稍凉(−1)、适中(0)、稍暖(+1)、暖(+2)、热(+3);舒适度采用5级标度:舒适(0)、有点不舒适(1)、不舒适(2)、很不舒适(3)、难以忍受(4);满意度采用5级评价标度:很不满意(−2)、不满意(−1)、可接受(0)、满意(+1)、很满意(2);学习状态自我评价,包括了学习效率和热情自我评价,均采用7级标度:很低(−3)、较低(−2)、低(−1)、一般(0)、高(+1)、较高(+2)、很高(+3)^[11-12]。

1.3.3 学习效率测试

基于人员认知能力^[13]的神经行为评价是一种高效便捷的效率测试方法。本测试结合初中生认知水平,设置恰当的测试任务。以注意力测试、舒尔特方格、数字分类表征专注力;以字母检索、空间定位、立体视觉表征感知能力;以记忆扫描、方格填充、视觉学习表征理解记忆;以连续加减、顺序推理、定义判断表征逻辑推理。测试结果记录各任务的正确率及反应时间,并换算成学习效率^[15-16],以此体现学习效率的高低。此外,针对学习效率的测试,采用开发的学习效率测评软件进行电脑端测试^[17]。学习效率测评软件部分页面如图3所示。

1.3.4 数据分析

首先,检查所有数据,剔除极个别明显偏离正常取值范围的数据,以保证数据分析结果的准确

性^[2];然后对数据进行描述性统计^[2],计算得到各项结果的描述统计量:均值和标准差;检验数据是否服从正态分布。

进行方差分析,确定各组测试项目在不同风速下的差异,设置显著性水平P为0.05。此外,由于P值仅能表明结果存在差异的概率,而无法显示结果差异的大小,而效应量(ES)是衡量实验影响强度的指标,因此,还要计算并分析效应量^[15]。

在方差分析中,效应量(ES)可由下式计算得到:

$$ES=\sqrt{\frac{F}{n}}$$
 (1)

式中:ES为效应量;ES≥0.1、ES≥0.25和ES≥0.4时分别代表有较小、中等和较大影响;F为方差分析中的检验统计量;n为组间人数相等时每组的人数^[13]。



图3 学习效率测评软件界面

Fig.3 Interface of evaluation software

2 结果与分析

2.1 环境测量结果与分析

环境参数测量值如表3所示(均值±标准差)。由表可知,室内风速实际工况值接近设计工况值,而空气温度、相对湿度、CO₂浓度、平均辐射温度等在工况间基本无差异,说明室内环境得到了较好的控制。

表3 实验环境参数测试结果(均值±标准差)

Tab.3 Test results of experimental environment parameters(mean value ± standard deviation)

实验工况	室内风速/(m·s ⁻¹)	空气温度/℃	相对湿度/%	CO ₂ 浓度/ppm	平均辐射温度/℃
0 m/s	0.01±0.02	26.2±0.3	45.8±1.6	1 245±112	25.9±0.1
0.4 m/s	0.40±0.03	26.1±0.3	45.2±1.4	1 194±95	25.8±0.2
0.8 m/s	0.79±0.05	26.0±0.2	45.7±1.5	1 172±118	25.9±0.1
1.2 m/s	1.18±0.07	26.1±0.3	45.0±1.4	1 200±129	26.0±0.1

2.2 主观问卷调查结果分析

不同工况下的受试者环境满意度投票值如图4所示。超过85%的受试者对0.8 m/s之内的风速可接受度评价较高,风速大于0.8 m/s之后,可接

受度有明显降低。超过75%的受试者对0.4 m/s的风速满意度评价较高,风速大于0.4 m/s之后,满意度明显降低,直至为零。同一工况下,受试者对风速的可接受度均大于受试者对风速的满意

度,其中,在 0.4 m/s 的工况下,受试者对风速的满意度及可接受度较为接近且评价均最高.随着风速的增加,受试者对风速的不可接受度逐渐上升,1.2 m/s 工况下,受试者对风速的不可接受度高达 70%.

不同风速条件下,受试者的病态建筑综合症^[18-19]结果如表 4,病态建筑综合症均值越高,表示相应症状越严重.由表 4 可知,随着室内风速的增加,学生的“头痛”、“口干、嗓子难受”、“流鼻涕”、“鼻子堵塞”症状更明显,其他症状变化较小.表中 P 值表示病态建筑综合症在不同风速条件下差异的显著性水平;ES 值表示病态建筑综合症在不同风速条件下差异效应的程度.结果表明,“头痛”、“口干、嗓子难受”、“流鼻涕”、“鼻子堵塞”等症状具有中等效应值,其他症状均具有较小的效应值.

不同风速条件下受试者的整体健康舒适水平程度如图 5 所示.受试者的整体健康舒适评价价值可由整体健康舒适主观评价结果计算得出.具体算法为:将受试者的环境整体舒适感觉主观评价结果用 0 到 4 赋值,分别表示舒适(0)、有点不舒适(1)、不舒适(2)、很不舒适(3)、难以忍受(4),然后用“4”减去各项统计值,最后将不同风速条件下所得值相加,总分越高,表明学生的整体健康舒适水平越高^[2].由图可知,在风速为 0.4 m/s 之内,受试者整体健康舒适程度较高.风速大于 0.4 m/s

之后,随着风速的增加,受试者整体健康舒适度明显下降.

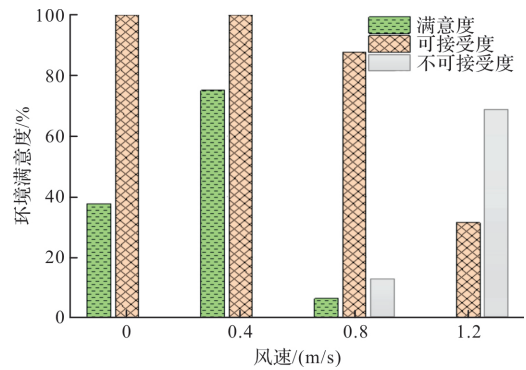


图 4 受试者环境满意度评价

Fig. 4 Environmental satisfaction evaluation of subjects

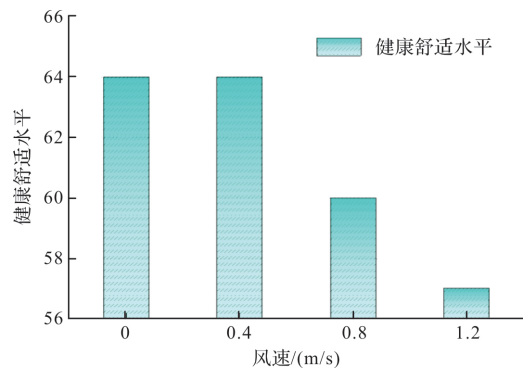


图 5 不同风速对中学生健康舒适的影响

Fig. 5 Effects of different wind speeds on health and comfort of middle school students

表 4 不同室内风速对受试者健康舒适感觉的影响(均值±标准差)

Tab. 4 Effects of different indoor wind speeds on subjects' feeling of health and comfort(mean value ± standard deviation)

建筑病态综合症	0 m/s	0.4 m/s	0.8 m/s	1.2 m/s	P	ES
头痛	0.13±0.33	0.19±0.39	0.25±0.43	0.44±0.70	0.33	0.27
口干、嗓子难受	0.06±0.24	0.06±0.24	0.19±0.39	0.38±0.60	0.11	0.36
呼吸困难	0.06±0.24	0.06±0.24	0.06±0.24	0.13±0.33	0.89	0.11
皮肤干、痒	0.13±0.33	0.06±0.24	0.13±0.33	0.19±0.39	0.78	0.15
想睡觉	0.19±0.39	0.19±0.39	0.13±0.33	0.06±0.24	0.72	0.17
无精打采	0.25±0.43	0.19±0.39	0.25±0.43	0.31±0.46	0.89	0.11
思考能力下降	0.19±0.39	0.19±0.39	0.25±0.43	0.31±0.58	0.86	0.13
难以集中注意力	0.19±0.39	0.25±0.43	0.38±0.48	0.44±0.61	0.48	0.23
流鼻涕	0.06±0.24	0.13±0.33	0.25±0.43	0.44±0.61	0.09	0.38
鼻子堵塞	0.00±0.00	0.06±0.24	0.19±0.53	0.31±0.68	0.24	0.30

注: P 表示显著性水平; ES 表示效应量

2.3 学习效率评价

2.3.1 测试结果

学习效率指标用于评价整体性能,其根据正确率及反应时间的测试结果,经加权计算得到.正确率和反应时间的倒数的权重定为 0.5. 计算公式^[18]如下:

$$LP=[AC^{0.5}\times\left(\frac{1}{RT}\right)^{0.5}]^2=AC/RT \quad (2)$$

式中: LP 为学习效率指标; AC 为正确率; RT 为反应时间, s.

由于不同测试项的反应时间差别较大,为了比较不同项目,对所有受试者的学习效率数据进

行标准化处理，计算公式^[21]如下。

$$RP = S_{i,j}(\%) = \frac{x_{i,j}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{i,j}} \quad (3)$$

式中， $RP(S_{i,j})$ 为第 i 个受试者在工况 j 时的学习效率指标经标准化处理后的数值； $x_{i,j}$ 指第 i 个受试者在工况 j 时的指标； n 指每个测试者进行的工

况总数。
基于人员认知能力的学习效率测试任务在不同风速下的测试结果如表 5 所示。对测试任务的正确率、反应时间及学习效率标准化指标进行统计分析，分别得到 P 值及 ES 值。

表 5 学习效率测试结果(均值±标准差)
Tab. 5 Learning efficiency test results(mean value ± standard deviation)

测试类别	测试项目	指标	0 m/s	0.4 m/s	0.8 m/s	1.2 m/s	P	ES
专注力	注意力测试	AC	0.94±0.11	0.92±0.12	0.91±0.12	0.88±0.18	0.62	0.19
		RT/s	59±6.17	57±7.69	61±8.54	63±6.74	0.15	0.34
		RP	1.11±0.16	1.13±0.16	1.04±0.18	0.96±0.19	0.04	0.43
	舒尔特方格	AC	0.97±0.08	0.98±0.06	0.97±0.08	0.95±0.10	0.78	0.15
		RT/s	111±8.60	109±6.25	113±8.04	117±8.07	0.04	0.42
		RP	1.07±0.13	1.10±0.09	1.04±0.09	0.99±0.10	0.05	0.42
	数字分类	AC	0.98±0.06	1.00±0.00	1.00±0.00	0.98±0.06	0.58	0.20
		RT/s	6±1.07	5±0.83	5±1.17	5±1.05	0.27	0.29
		RP	0.93±0.16	1.08±0.16	1.04±0.24	1.01±0.17	0.16	0.33
感知能力	字母检索	AC	0.98±0.06	0.97±0.12	0.98±0.06	0.98±0.06	0.93	0.09
		RT/s	14±3.20	14±1.54	15±4.10	16±3.62	0.50	0.22
		RP	1.08±0.29	1.05±0.20	1.04±0.30	0.99±0.24	0.84	0.13
	空间定位	AC	0.86±0.12	0.88±0.13	0.86±0.12	0.84±0.12	0.92	0.10
		RT/s	18±5.02	17±4.39	18±4.06	19±4.09	0.61	0.20
		RP	1.10±0.38	1.18±0.37	1.03±0.30	0.98±0.25	0.40	0.25
	立体视觉	AC	0.97±0.08	0.97±0.08	0.95±0.10	0.95±0.10	0.93	0.10
		RT/s	42±6.25	40±5.26	42±6.99	43±6.78	0.72	0.17
		RP	1.04±0.16	1.07±0.13	1.03±0.22	1.01±0.21	0.80	0.15
理解记忆	记忆扫描	AC	0.94±0.11	0.95±0.10	0.94±0.11	0.94±0.11	0.97	0.07
		RT/s	80±11.38	78±8.03	82±10.47	85±9.54	0.27	0.29
		RP	1.05±0.17	1.09±0.17	1.03±0.18	0.99±0.15	0.36	0.26
	方格填充	AC	0.95±0.10	0.97±0.08	0.95±0.10	0.95±0.10	0.96	0.08
		RT/s	49±3.41	49±3.89	50±3.22	51±2.79	0.33	0.27
		RP	1.02±0.11	1.05±0.10	1.01±0.13	0.99±0.11	0.49	0.23
	视觉学习	AC	0.20±0.20	0.28±0.29	0.31±0.30	0.25±0.28	0.72	0.17
		RT/s	291±33.88	289±23.70	294±25.42	296±25.09	0.92	0.10
		RP	0.96±0.91	1.20±1.25	1.31±1.30	0.98±1.11	0.80	0.14
逻辑推理	连续加减	AC	0.81±0.24	0.81±0.24	0.80±0.24	0.77±0.27	0.95	0.09
		RT/s	111±20.11	104±23.97	114±21.70	120±32.30	0.35	0.26
		RP	1.07±0.35	1.16±0.37	1.07±0.40	0.97±0.42	0.61	0.20
	顺序推理	AC	0.70±0.22	0.72±0.23	0.69±0.23	0.69±0.23	0.98	0.06
		RT/s	85±27.33	79±23.09	89±17.87	95±20.11	0.26	0.29
		RP	1.16±0.48	1.23±0.48	1.02±0.38	0.93±0.37	0.25	0.30
	定义判断	AC	0.28±0.21	0.31±0.19	0.30±0.20	0.27±0.21	0.93	0.10
		RT/s	64±16.45	62±9.85	66±15.40	68±16.12	0.68	0.18
		RP	0.95±0.83	1.14±0.68	1.07±0.89	0.95±0.87	0.90	0.11

注：AC 表示正确率；RT 表示反应时间；RP 表示标准化学习效率；P 表示显著性差异；ES 表示效应量

由表 5 可知，不同风速对学习认知能力测试的影响差异主要取决于任务类型。注意力测试、舒尔特方格的学习效率，具有较高的效应值；数字分类、空间定位、记忆扫描、顺序推理的学习效

率具有中等效应值;注意力测试、数字分类、记忆扫描、方格填充、连续加减、顺序推理的反应时间具有中等效应值;其他测试项目,除字母检索、记忆扫描、方格填充、连续加减、顺序推理的正确率(AC)外,均具有较小的效应值。说明风速对受试者的学习效率影响程度最大,对受试者的反应时间影响次之,对受试者的正确率影响最小。

2.3.2 学习任务效率变化

不同测试任务间的反应时间差别,将导致学习效率差别较大,无法统一比较。现对受试者的正确率、反应时间、学习效率数据进行标准化处理,得到不同风速下正确率、反应时间、学习效率变化趋势线,如图6、图7、图8所示。下图中AC表示经标准化处理后的正确率,RT表示经标准化处理后的反应时间,LP表示经标准化处理后的学习效率。

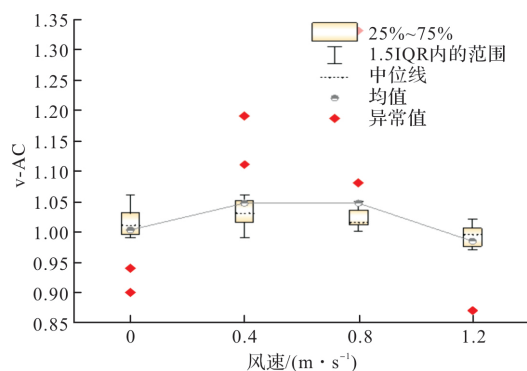


图6 不同风速下受试者正确率变化趋势图

Fig. 6 Change trend of accuracy rate of subjects under different wind speeds

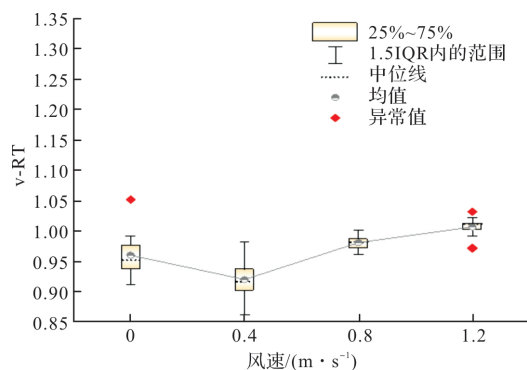


图7 不同风速下受试者反应时间变化趋势图

Fig. 7 Change trend of subjects' reaction time under different wind speeds

图6表明,随着风速的增加,正确率平均值先增加后减小,正确率指标大部分维持在1.00~1.05之间;图7表明,随着风速的增加,反应时间平均值先减少后增加,反应时间指标大部分维

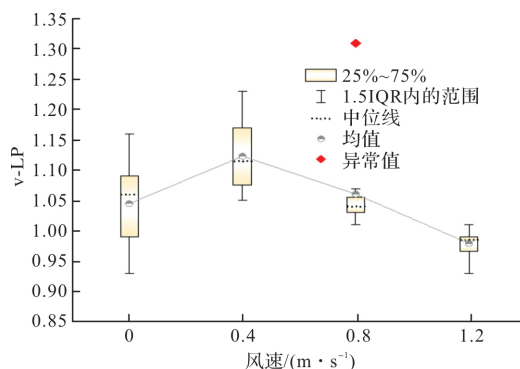


图8 不同风速下受试者学习效率变化趋势图

Fig. 8 Change trend of subjects' learning efficiency under different wind speeds

持在1.00以下;图8表明,随着风速的增加,学习效率平均值先增加后减小,学习效率指标大部分维持在1.00~1.15之间。总体上看,各测试项目的正确率及学习效率在0.4 m/s风速下较高,当风速增加或减小时,正确率及学习效率均有所下降。同时,0.4 m/s风速条件下,受试者的总体反应时间最短。这说明,0.4 m/s的风速是受试者最佳的学习状态点。

3 结论

(1)0~0.4 m/s风速内,受试者健康舒适程度维持最高且基本保持不变,风速大于0.4 m/s后,随风速的增加,受试者健康舒适程度迅速下降;

(2)0~1.2 m/s风速内,正确率及学习效率先提升后下降,反应时间先减少后增加,三者峰值均出现在0.4 m/s风速下;

(3)夏季教室内最佳风速推荐值为0.4 m/s。

参考文献 References

- [1] HADDAD S, OSMOND P, KING S. Application of adaptive thermal comfort methods for Iranian school-children[J]. Building Research & Information, 2016, 47(2):1-17.
- [2] 蒋婧,王登甲,刘艳峰,等.室内二氧化碳浓度对学习效率影响实验研究[J].建筑科学,2020,36(6):81-87.
JIANG J, WANG D J, LIU Y F, et al. Experimental study on the effect of indoor carbon dioxide concentration on learning efficiency[J]. Building Science 2020, 36(6):81-87.
- [3] CUI W, CAO G, PARK J H, et al. Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance[J]. Building & environment, 2013, 68(2):114-122.
- [4] 严永红,晏宁,关杨,等.光源色温对脑波节律及学习效率的影响[J].土木建筑与环境工程,2012,34(1):

- 76-79.
- YAN Y H, YAN N, GUAN Y, et al. Effect of light source color temperature on brain wave rhythm and learning efficiency[J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2012, 34(1): 76-79.
- [5] 王登甲,王晗旭,刘艳峰,等. 陕西关中乡域中小学教室冬季热舒适调查研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2016, 48(2): 277-281.
- WANG D J, WANG H X, LIU Y F, et al. Investigation on thermal comfort of primary and middle school classrooms in Guanzhong rural area of Shaanxi Province in winter[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2016, 48(2): 277-281.
- [6] GIULI V D, POS O D, CARLI M D. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools[J]. Building and Environment, 2012, 56(2): 335-345.
- [7] 李明雪,吴晓艳,董砖,等. 冬季自然通风教室室内环境对学习效率的影响[J]. 建筑热能通风空调, 2012, 31(6): 5-5.
- LI M X, WU X Y, DONG Z, et al. Influence of indoor environment of natural ventilation classroom on learning efficiency in winter[J]. Building Energy & Environment, 2012, 31(6): 5-5.
- [8] 白鲁建,杨柳,李署婷,等. 西安市中小学春季室内热环境研究[J]. 西安建筑科技大学学报, 2015, 47(3): 407-412.
- BAI L J, YANG L, LI S T, et al. Study on indoor thermal environment of primary and middle schools in Xi'an in spring[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2015, 47(3): 407-412.
- [9] WARGOCKI P, WYON D P. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (rp-1257) [J]. Hvac&r research, 2007, 13(2): 193-220.
- [10] BAKÓ-BIRÓ Z, CLEMENTS-CROOME D, KOCH-HAR N, et al. Ventilation rates in schools and pupils' performance[J]. Building and Environment, 2012, 48(9): 215-223.
- [11] 胡佳林,窦豆,陈松,等. 夏季自然通风教室室内环境对学习效率的调查研究[J]. 节能, 2009, 28(7): 19-23.
- HU J L, DOU D, CHEN S, et al. Investigation on indoor environment and learning efficiency of natural ventilation classroom in summer[J]. Energy Conservation, 2012, 48(9): 215-223.
- [12] 余娟,杨月婷,罗茂辉,等. 偏热环境下空调非等温可感送风对人体热舒适影响的实验研究[J]. 暖通空调, 2015, 45(4): 116-119.
- YU J, YANG Y T, LUO M H, et al. Experimental study on the effect of non isothermal sensible air supply of air conditioner on human thermal comfort in partial heat environment[J]. Hvac, 2015, 45(4): 116-119.
- [13] 蒋婧. 热舒适与学习效率综合作用的西北乡域教室冬季热环境研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2018.
- JIANG J. Study on winter thermal environment of Northwest Rural classroom with the comprehensive effect of thermal comfort and learning efficiency[D]. Xi'an: Xi'an university of architecture and technology, 2018.
- [14] 许延超. 中小學生夏季热舒适与学习效率影响因素研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2019.
- XU Y C. Study on influencing factors of summer thermal comfort and learning efficiency of primary and middle school students[D]. Xi'an: Xi'an university of architecture and technology, 2019.
- [15] 兰丽. 室内环境对人员工作效率影响机理与评价研究[D]. 上海:上海交通大学, 2010.
- LAN L. Study on the influence mechanism and evaluation of indoor environment on staff work efficiency[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010.
- [16] 兰丽,连之伟,宋沅沛. 办公建筑人员工作效率室内环境影响因素及经济分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34(S2): 135-139.
- LAN L, LIAN Z W, SONG Y P. Influence factors and economic analysis of indoor environment on work efficiency of office building staff[J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2012, 34(S2): 135-139.
- [17] 李学义,吴兴裕,韩厉萍,等. 计算机化神经行为测试系统的编制[J]. 中国心理卫生杂志, 2000, 14(5): 3-3.
- LI X Y, WU X Y, HAN L P, et al. Development of computerized neurobehavioral test system[J]. Chinese Journal of Mental Health, 2000, 14(5): 3-3.
- [18] JINHUA H, YINGDONG H, XIAOLI H, et al. Optimal temperature ranges considering gender differences in thermal comfort, work performance, and sick building syndrome: a winter field study in university classrooms[J]. Energy & Buildings, 2021, 12(3): 23-28.
- [19] 楼华鼎,欧达毅. 室内物理环境质量对病态建筑综合症的影响研究——以高校开放式办公室为例[J]. 建筑科学, 2019, 35(6): 9-17.
- LOU H D, OU D Y. Study on the influence of indoor physical environment quality on sick building syndrome——taking the open office of colleges and universities as an example[J]. Building Science, 2019, 35(6): 9-17.
- [20] LAN L, LIAN Z, PAN L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity—evaluated with subjective ratings[J]. Applied Ergonomics, 2011, 42(1): 29-36.
- [21] LAN L, LIAN Z. Use of neurobehavioral tests to evaluate the effects of indoor environment quality on productivity[J]. Building and Environment, 2009, 44(11): 2208-2217.