

人体着装湿感觉的研究

魏玮¹, 季晓芬², 翟丽娜², 阎玉秀¹

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江理工大学 国际教育学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:皮肤湿感觉是影响服装穿着舒适性的重要因子,为深入理解人体着装湿感觉,改善服装穿着舒适性,从人体着装角度,阐述湿感觉的产生机制,回顾总结湿感觉测量试验中从静态到动态、从织物试验到人体穿着试验的演变,将影响湿感觉的因素归纳为外界刺激因素、织物因素和其他影响因素。最后指出,未来可着力于开发接触分离试验探究非紧身着装状态下人体湿度感知状况,结合其他学科优化湿感觉评价方式,针对特定人群开展湿度感知综合评价,为优化服装结构以及提高服装穿着舒适性提供理论依据。

关键词:皮肤湿感觉;着装感觉;服装穿着舒适性

中图分类号:TS 941.16

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2024)05-0053-06

Research Progress in the Moisture Feel of Garment Wearing

Wei Wei¹, Ji Xiaofen², Zhai Lina², Yan Yuxiu¹

(1.School of Fashion Design & Engineering, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2.School of International Education, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract: Considering that the human skin wetness perception is an important factor affecting the clothing comfort, so in order to have a deep understanding of dressing feeling and improve the clothing comfort, the mechanism of moisture perception is expounded, and its related evaluation methods from static to dynamic and from fabric experiment to human clothing experiment are summarized from the viewpoint of human body in dressing. In addition, the factors that affect the wetness perception are also generalized, including external stimulation, fabric properties and others. Finally, it points out that in the future, the efforts can be made to develop contact separation experiments to explore the human humidity perception under the condition of non-tight clothing, optimize the evaluation method of humidity perception by combining with other disciplines, and carry out comprehensive evaluation of humidity perception for specific groups, so as to provide theoretical basis for optimizing clothing structure and improving clothing wearing comfort.

Key words: Skin Moisture Perception; Dressing Feeling; Clothing Wearing Comfort

日常生活中,环境温度高、大量运动等因素会导致体温持续升高,人体随之产生大量的汗液帮助散热。被汗液润湿的服装与皮肤接触从而产生皮肤湿感觉,成为影响

服装穿着舒适性的重要因子。而持续强烈的湿感觉会对人体身心健康产生不良影响^[1]。因此,开展人体湿度感知的研究能为深入理解人体着装感觉、指导面料开发、优化

服装结构、改善服装穿着舒适性、发挥服装的保健作用开拓新思路。

本文从湿感觉的形成机制、测量试验以及影响因素等方面,对皮肤湿感觉相关文献进行梳理综述,

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LQ20E060002)。

作者简介:魏玮(1999—),女,硕士研究生。主要从事服装功能与舒适性方面的研究。

通讯作者:季晓芬(1971—),女,教授,博士生导师。E-mail:xiaofenji@zstu.edu.cn。

并根据目前的研究进展进行总结与归纳,为进一步挖掘皮肤湿感觉领域提供方向。

1 湿感觉的形成机制

尽管湿感觉是人体着装不舒服的重要因素之一^[2],但人体最大的器官——皮肤中却没有特定的湿度感受器^[3]。湿度的感知需要依靠皮肤上分布的温度感受器和机械感受器,将刺激信号转化为电信号并传递至大脑,经大脑综合做出对湿感的判断^[4]。由于湿感产生的间接性容易诱发湿润的感知错觉。Shibahara et al^[5]通过控制干布的表面温度和柔软度,使被试者感觉到与湿布相当的湿感。Filingeri et al^[6]发现当施加的冷干刺激强度达到35%时,被试者就产生了人为的湿感觉。

大脑的感觉判断还会依赖视听信号^[7-8]、以往经验和生活环境等。Jousmäki et al^[9]最早提出听觉反馈可显著改变人们的感知。苏亚帷^[8]通过播放不同声音频率的搓手声,令受试者通过听觉来判断手部的湿润情况,结果显示,较高赫兹的搓手声被认为更湿润。因此,湿感觉是多种感觉交叉综合形成的复杂感觉。

2 湿感觉的测量试验

为模拟不同的穿着状态,湿感觉测量的各类试验及其装置以满足试验条件、减小试验误差为目的不断完善、更迭,可以分为持续式接触试验和间歇式接触试验。

2.1 持续式接触试验

持续式接触根据接触状态的不同,又可以划分为静态接触和动态接触。

Raccuglia et al^[10]在探究不同含水量状态的湿度感知时,采取的是典型的静态接触,即将织物静置在受试者的上背部20 s使其接受

刺激,从而获取被试者的感知湿度。为了同时控制多项测量指标,Filingeri et al^[6]设计了一套以热探头为核心的试验装置,利用弹力带将湿润织物固定在热探头上^[11],以探究不同温度的湿润织物对湿感觉阈限的影响;将气囊和压力计固定在热探头上^[12],增加压力控制系统,以探究机械和温度共同作用对湿感觉的影响。这套试验装置(如图1所示^[11]),对探究静态接触下的湿感觉有很强的实操性。

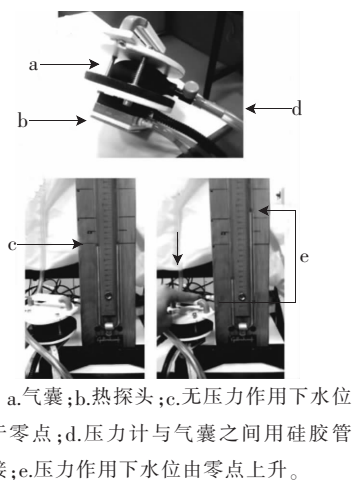


图1 以热探头为核心的静态接触装置

动态接触即人体皮肤与湿润试样之间动态不分离的接触状态。Shibahara et al^[13]研究发现静态和动态接触间存在湿度感知的差异,当皮肤动态接触织物时,受试者对于冷刺激更不容易产生湿感觉。Tang et al^[1]将弹簧、电动机、注水泵组合设计了一种织物驱动装置,如图2所示^[1],由夹子将织物与仪器各部件间相连,通过电动机带动试样以某一恒定速度运动,从而与皮肤之间产生额外的机械接触。

徐苏红等^[14]参考以上试验装置,并在此基础上设计以双手前臂为试验对象,同时移动参考织物和试样,如图3所示^[14]。该装置免去了受试者记忆参考织物的过程,可以避免参考值模糊的情况,有利于受试者比较参考织物和样品织物之间的湿感觉,提高试验准确性。

持续式接触试验清晰体现了织物与皮肤接触过程,反映了贴附状态下人体湿感觉,在此基础上,若进一步进行人体着装试验,由织物试验向服装试验转变,可对后续

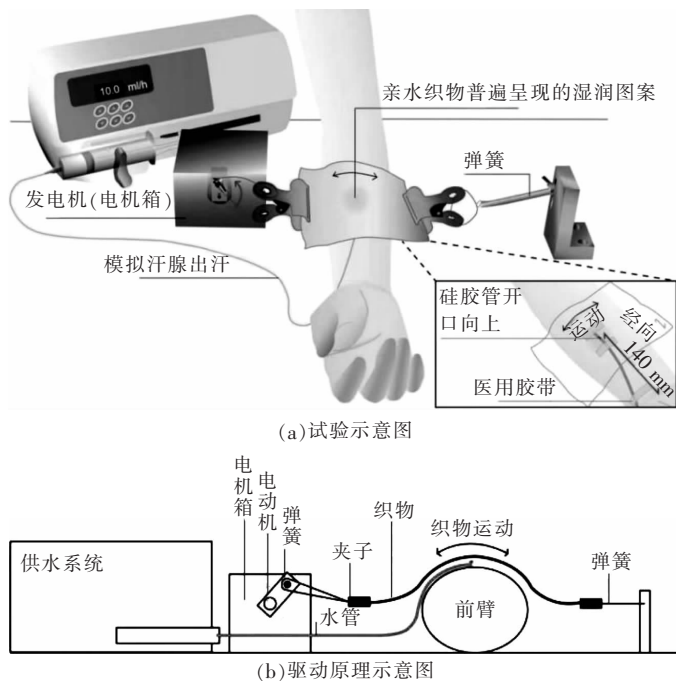


图2 动态织物驱动装置

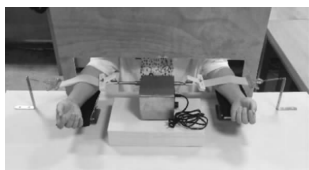


图3 双臂动态织物驱动装置
紧身服装产品开发提供指导。

2.2 间歇式接触试验

间歇式接触即皮肤与湿润试样为贴附分离接触^[15],其对湿度感知的作用依旧显著^[16]。姜琳^[17]采用人工操作方式将贴附于皮肤表面的织物重复做放置—掀起的动作,以模拟贴附分离接触。Kar^[18]采用人体着装试验,如图4所示^[18],受试者穿着不同材料的T恤衫做一系列跑步运动来实现间歇式接触。Davide et al^[19]发现相比于持续式接触,间歇式接触时人体湿度感知更灵敏,感知程度也更强。



图4 人体着装试验

间歇式接触试验考虑到真实着装时衣下空气层的热湿交换对湿度感知的影响,试验部位不再局限于人体某个区域,对于湿度的感知更为综合准确。但间歇式接触中的热湿交换对湿度感知的具体影响尚且不明,未来可进一步开展机理分析。

3 湿感觉的影响因素

湿感觉是皮肤接收到织物传递来的刺激后产生的心理感觉,同时又会受到其他因素的影响而产

生感知差异,因此本文从外界刺激因素、织物因素以及其他影响因素3个方面阐述影响皮肤湿感觉的因素。

3.1 外界刺激因素

3.1.1 温度刺激

a. 热传导

热传导主要通过扩大皮肤与织物之间的比热容引起皮肤降温从而产生皮肤湿感觉。皮肤与织物之间比热容差距越大,皮肤降温速率越快,从而刺激温度感受器,促使湿感觉产生。Li et al^[20]发现织物含水量增加,扩大了皮肤与织物之间的比热容,从而会诱发越强的湿感觉^[10]。徐苏红等^[14]认为织物加湿量增多时,主要从两个方面影响温度刺激:一方面,织物的瞬间最大热流量增加使热量散失更剧烈;另一方面,残留在皮肤表面的水分蒸发,导致局部皮肤温度降低,湿感觉增强。散热机制也是诱发皮肤湿感觉的重要因素。Zhang et al^[21]测量发现传导散热使韦伯分数增加0.10个单位,而蒸发散热仅增加0.03个单位,传导散热对湿感觉影响作用更强。除散热机制外,未来可深入探讨热传导速率、形式及交互作用等在诱发湿感觉中的作用。

b. 环境温度

当人体接触的织物较温暖时,皮肤区分干燥和潮湿的能力会受到限制^[22]。Merrick et al^[23]发现在中性环境下人体湿润感知灵敏度高于低温环境,温暖环境中,汗液蒸发产生的冷感觉可能不足以使人体区分出外界水分水平^[24]。当环境温度逐渐升高的同时,由于热量散失效率降低,湿度的感知能力也相对变得迟钝。未来的研究可以进一步探讨,当环境由低温向高温转变时,各种影响因素在湿度感知作用机制中的影响力变化情况。

3.1.2 机械刺激

a. 压力

探究压力在人体湿感知中发挥的作用是当前研究的重要方向之一。Filingeri et al^[11]在试验中设置了两种大小的机械压力,7 kPa为低压情况,10 kPa为高压情况,结果显示在低压情况下湿感觉更强烈,从而得出了在皮肤上施加更高机械压力的刺激会减弱湿感觉的结论。而Raccuglia et al^[25]以236 Pa模拟高压情况、127 Pa模拟低压情况,结果显示高压情况下的湿感知反应比低压情况下更大,由此Raccuglia et al^[25]提出湿度感知和接触压力之间可能存在U形关系。

因此,未来可对皮肤产生湿感觉的压力阈值进行进一步深入研究,进而根据不同服装的功能和要求,对其压力与接触舒适性进行综合提升。

b. 动态接触

Shibahara et al^[13]研究发现静态和动态接触之间存在湿度感知的差异,动态接触的过程除了带来接触速度等直接的湿感觉影响因子,还间接产生了空气对流、触觉感受等诸多影响因素。

张昭华等^[15]在探究动态接触下皮肤湿感觉的影响因素与作用机制时,发现较低的接触速度能造成更强的湿感觉。Tiest et al^[26]在试验中设置被试者通过拾取和操纵湿润织物来获得额外的黏感觉,结果表明这种额外的机械刺激显著提高了被试者辨别湿度的能力。West et al^[27]在探究足部湿感觉时发现,脚趾和脚跟这些出汗量低的区域被认为比脚背、足底这些出汗量高的区域更湿,并认为这是由于在跑步过程中脚趾和脚跟具有更高的接触负荷、更多的推进动作,由此得出脚在鞋中移动引起的触

觉对足部的湿感具有决定性作用。

综上,织物与皮肤的动态接触更真实地模拟了织物与皮肤接触过程,但目前对于动态接触而产生的影响因子对湿感觉影响的研究还处在定性分析阶段,若对其进行进一步定量分析,将有益于深入理解动态接触中湿感觉产生机理。

3.2 织物因素

3.2.1 纤维成分

由于纤维特性不同,所构成的织物也会使人体对湿度感知产生差异^[28]。吸湿性较弱的聚酯织物被认为比吸湿性强的羊毛织物更潮湿^[29]。但经过改性的Coolmax®织物引起的湿感觉显著降低,这是由于Coolmax®织物表面的凹槽结构使其容易将水从皮肤上吸走并扩散到环境中^[30]。与棉织物相比,不仅具有更大的表面积^[31](Coolmax®细度细),还具有优良的吸湿性和湿传递性能。然而,Jeon et al^[28]的研究结果截然相反,高性能聚酯(类似于Coolmax®)在加入等量的水后,被认为比棉织物更湿。出现差异的原因可能在于试验中测试织物的状态不同^[32],棉织物初始吸湿速度快,若向织物加水后立即进行测试,就使得皮肤感知棉织物比其他织物更干燥,若扩散一段时间后再次进行测试,棉织物的湿感觉则会相应增强。综上,通过深入分析织物湿传递性能的各项指标与湿度感知之间的相关性,将有助于理解湿度感知机制,为织物设计提供指导,从而改善用户在湿度环境下的舒适体验。

3.2.2 表面特性

张昭华等^[15]研究发现织物的表面材料特性是影响动态接触下皮肤湿感觉的主要因子,织物和皮肤之间较高的摩擦阻力会削弱湿润感^[30]。Raccuglia et al^[25]认为这是

由于织物粗糙度增加的同时,减少了织物与皮肤的接触面积,而光滑的织物与皮肤的接触点更多,从而唤起更强的湿感。

Zhang et al^[21]在一系列湿感觉形成机制的研究中发现,织物冷暖感的重要指标——瞬间最大热流量与皮肤湿润感呈正相关。尤其是在出汗量较大的时期,织物的瞬间最大热流量成为影响皮肤湿感觉的主要因子^[21]。

目前湿感觉研究主要集中在织物粗糙度与冷暖感两个方面,织物表面特性的其余指标与皮肤湿感觉之间的关系仍不可知,未来仍需要对此展开深入研究。

3.2.3 组织结构

织物组织结构是影响服装接触舒适性的重要因素之一^[32]。Tang et al^[33]研究发现,梭织平纹组织比其他组织更容易使人感知到湿润。平纹组织沿纱线有更多的交叉点和更高的纱线弯曲度,从而形成更小的纱线间孔隙以吸收水分,因此平纹织物的水平芯吸面积最大,具有更快的蒸发速度。但在绝对含水量相同的情况下,厚织物比薄织物湿感觉更明显^[33]。因此,若进一步探究组织结构与织物厚度的最优组合,可综合优化织物的接触舒适性。

3.3 其他影响因素

3.3.1 皮肤感知敏感度

人体皮肤上的感受器数量分布并非均匀的,因此刺激信号的施加部位与湿度感知程度有着密不可分的关系。Filingeri et al^[6]探究了人体各部位湿感觉感知敏感度的分布信息。Ackerley et al^[34]发现背部和大腿是湿度感知最敏感的区域,颈部是最不灵敏的区域。由于背部是人体出汗的主要区域,而前臂与背部的湿感觉感知敏感度

相似,因此目前织物研究的试验部位都集中在前臂。未来可针对不同品类服装进行细化试验,达到最优的人体着装体验。

3.3.2 皮肤特征

相似的身体部位也会因皮肤特征的不同而对湿度的感知有所差异。Davide et al^[12]发现有毛发的皮肤对湿度感知更敏感。性别也是造成感知湿度差异的重要因素^[35]。Valenza et al^[36]发现女性比男性对皮肤湿度更敏感,尤其是在寒冷环境中,女性对湿度的敏感度比男性要高14%~17%。因此,未来可针对不同服装品类选取合理试验对象以减小试验误差,扩大试验应用价值和前景。

3.3.3 整体着装差异

人体穿着服装时产生的湿感觉比织物试验复杂得多。Raccuglia et al^[24]探究运动期间皮肤与服装的接触面积对湿感觉的影响时发现,接触面积与湿感觉不存在显著相关性。与该研究相对,Davide et al^[19]比较紧身和宽松两种着装状态下的湿感觉时发现,紧身状态下湿度感知没有宽松时灵敏,感知程度也较弱。

综上,人体皮肤湿感觉与人体-服装-环境中的任何一环都密切相关,各方因素均会造成湿感觉的感知差异,这两项研究的试验条件不同(分别为持续式接触试验与间歇式接触试验),感知差异也截然不同,因此针对服装类型细化湿感觉的研究试验对于未来的研究将具有重要意义。

表1示出了部分湿感觉研究中的影响因素及研究结论,持续性接触状态下湿感觉影响因素的研究已稳步发展起来,而间歇式接触状态下湿感觉的影响因素研究相对较少,仍有较大的探究空间。

表1 湿感觉的影响因素比较

文献	接触状态	影响因素	研究结论
Raccuglia et al ^[10]	持续式接触	热传导	随着织物含水量的增加,湿感觉增强
Merrick et al ^[23]	持续式接触	环境温度	低温环境下食指的湿润感知灵敏度更强
Raccuglia et al ^[25]	持续式接触	压力	相较于低压(127 Pa)状态,高压(236 Pa)时的湿感觉更明显
West et al ^[27]	持续式接触	动态接触	足部的湿润感主要是由脚在鞋中移动引起的触觉决定的
张昭华等 ^[15] 、Zhang et al ^[37]	持续式接触	织物表面特性	初始出汗状态下,织物的表面材料特性是影响湿感觉的主要因子
Tang et al ^[33]	持续式接触	织物组织结构	平纹组织织物表现为更强的湿度感知
Ackerley et al ^[34]	持续式接触	皮肤感知敏感度	背部和大腿是湿度感知最敏感的区域
Davide et al ^[12]	持续式接触	皮肤特征	有毛发的皮肤对湿度感知更为敏感
Ackerley et al ^[34]	持续式接触	整体着装差异	皮肤与服装的接触面积与湿度感知无关
Davide et al ^[19]	间歇式接触	整体着装差异	紧身状态下湿度感知能力下降

4 结束语

本文通过梳理湿感觉产生机制、测量试验和影响因素,简要归纳了皮肤湿感觉相关研究进展,为深入皮肤湿感觉领域提供新的思考方向。

现阶段关于湿感觉的研究主要集中在织物的持续性接触试验层面,以前臂为试验对象,而用于模拟贴附分离接触的试验及延伸到服装中的文献较少。在剧烈运动过程中,服装相对于织物来说,与人体有着更加复杂的交互。服装的结构设计如合体度、开口、服装与人体之间的自然对流传热等因素,都会明显影响服装与人体之间温度刺激和机械刺激程度,从而对湿度的感知产生影响。因此,为了探究非紧身着装状态下人体湿度感知状况,未来可以着力于开发接触分离试验,进一步对湿感觉进行整体综合评价。

由于湿度感知是一种主观感受,不同受试者之间不可避免地会产生时间差和评估误差。目前接触压力、黏感觉等研究领域开发了生理评价方法,通过ERP、功能性磁共振等技术手段,监测织物接触刺激皮肤时的生理指标,从而表征人体感觉。未来湿感觉的研究也可以

结合神经生理学等其他学科,进一步优化湿感觉的评价方式。

皮肤特征的差异可能会导致对湿度的感知能力不同,在研究中针对不同目标人群(如儿童、老人、女性、男性、特殊群体)开展湿度感知综合评价,有助于服装结构优化设计,提高服装穿着舒适性。特殊群体中,如进行乳房切除术后佩戴假体的人群,其假体与皮肤之间产生的湿感觉更易对人体保健产生不利影响。通过对特殊群体的湿感觉进行研究,既可以丰富湿度感知研究,也有利于保健服装的革新。

参考文献

- [1]TANG K P M, KAN C W, FAN J T. Psychophysical measurement of wet and clingy sensation of fabrics by the volar forearm test[J].Journal of Sensory Studies,2015,30(4):329-347.
- [2]LI Y. Perceptions of temperature, moisture and comfort in clothing during environmental transients[J].Ergonomics, 2005,48(3):234-248.
- [3]CLARK R P, EDHOLM O G. Man and his thermal environment[M].London: Edward Arnold,1985.
- [4]HATCH K L, MARKEE N L, MAIBACH H I. Skin response to fabric: a review of studies and assessment methods[J].Clothing and Textiles Research

Journal,1992,10(4):54-63.

- [5]SHIBAHARA M, SATO K. Illusion of wet sensation by controlling temperature and softness of dry cloth[C]//International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications. Springer, Cham,2016:371-379.
- [6]FILINGERI D, FOURNET D, HODDER S, et al. Body mapping of cutaneous wetness perception across the human torso during thermo-neutral and warm environmental exposures[J].Journal of Applied Physiology,2014,117(8):887-897.
- [7]YAMAKAWA M, ISAJI S. Factors affecting the clamminess[J].Journal of Textile Engineering,1987,33(1):9-15.
- [8]苏亚帷.皮肤感觉:感知温度与压力[J].科学世界,2016(6):88-97.
- [9]JOUSMÄKI V, HARI R. Parchment-skin illusion: sound-biased touch[J].Current biology,1998,8(6):190-191.
- [10]RACCUGLIA M, HODDER S, HAVENITH G. Human wetness perception in relation to textile water absorption parameters under static skin contact[J].Textile Research Journal,2017,87(20):2449-2463.
- [11]FILINGERI D, REDORTIER D, HODDER S, et al. Thermal and tactile interactions in the perception of local

- skin wetness at rest and during exercise in thermoneutral and warm environments [J]. *Neuroscience*, 2014, 258(1): 121-130.
- [12] DAVIDE F, DAMIEN F, SIMON H, **et al.** Why wet feels wet? A neurophysiological model of human cutaneous wetness sensitivity [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2014, 112 (6): 1457-1469.
- [13] SHIBAHARA M, SATO K. Illusion of wetness by dynamic touch [J]. *IEEE Transactions on Haptics*, 2019, 12(4): 533-541.
- [14] 徐苏红, 倪军, 孙岑文捷, 等. 织物热湿传递性能对皮肤湿感觉阈限的影响 [J]. *丝绸*, 2021, 58(9): 21-26.
- [15] 张昭华, 唐香宁, 李俊, 等. 织物与皮肤动态接触下的湿感觉阈限与强度评价 [J]. *纺织学报*, 2021, 42(2): 93-100.
- [16] GERRETT N, REDORTIER B, VOELCKER T, **et al.** A comparison of galvanic skin conductance and skin wettedness as indicators of thermal discomfort during moderate and high metabolic rates [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2013, 38(8): 530-538.
- [17] 娄琳. 织物湿态贴附性的表征与建模 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [18] KAR F. Effect of heat and moisture transfer properties of T-shirts on comfort sensations [D]. Hong Kong, China: Hong Kong Polytechnic University, 2007.
- [19] DAVIDE F, DAMIEN F, SIMON H, **et al.** Tactile cues significantly modulate the perception of sweat-induced skin wetness independently of the level of physical skin wetness [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2015, 113(10): 3462-3473.
- [20] LI Y, PLANTE A M, HOLCOMBE B V. Fiber hygroscopicity and perceptions of dampness [J]. *Textile Research Journal*, 1995, 65(6): 316-324.
- [21] ZHANG Z, SUN C, ZHANG X. The effect of the heat transfer mechanism on the psychophysical assessment of moisture sensation in fabrics [J]. *Textile Research Journal*, 2022, 92(19-20): 3629-3640.
- [22] FILINGERI D, REDORTIER B, HODDER S, **et al.** Individual ability to discriminate between wetness and dryness during short contacts with a warm surface [C]// *Proceedings of the 15th International Conference on Environmental Ergonomics*. Portsmouth, UK: International Society for Environmental Ergonomics, 2013: 108.
- [23] MERRICK C, ROSATI R, FILINGERI D. Skin wetness detection thresholds and wetness magnitude estimations of the human index fingerpad and their modulation by moisture temperature [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2021, 125(5): 1987-1999.
- [24] RACCUGLIA M, SALES B, HEYDE C, **et al.** Clothing comfort during physical exercise-determining the critical factors [J]. *Applied ergonomics*, 2018, 73: 33-41.
- [25] RACCUGLIA M, PISTAK K, HEYDE C, **et al.** Human wetness perception of fabrics under dynamic skin contact [J]. *Textile Research Journal*, 2018, 88(19): 2155-2168.
- [26] TIEST W M B, KOSTERS N D, KAPPERS A M L, **et al.** Haptic perception of wetness [J]. *Acta Psychologica*, 2012, 141(2): 159-163.
- [27] WEST A M, HAVENITH G, HODDER S. Are running socks beneficial for comfort? The role of the sock and sock fiber type on shoe microclimate and subjective evaluations [J]. *Textile Research Journal*, 2021: 91(15-16): 1698-1712.
- [28] JEON E, YOO S, KIM E. Psychophysical determination of moisture perception in high-performance shirt fabrics in relation to sweating level [J]. *Ergonomics*, 2011, 54(6): 576-586.
- [29] LI Y, PLANTE A M, HOLCOMBE B V. The physical mechanisms of the perception of dampness in fabrics [J]. *Journal of Thermal Biology*, 1993, 18(5-6): 417-419.
- [30] ZHANG Z, TANG X, LI J, **et al.** The effect of dynamic friction with wet fabrics on skin wetness perception [J]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2020, 36: 370-383.
- [31] MCGREGOR B A, STANTON J, BEILBY J, **et al.** The influence of fiber diameter, fabric attributes and environmental conditions on wetness sensations of next-to-skin knitwear [J]. *Textile Research Journal*, 2015, 85(9): 912-928.
- [32] 胡金明. 针织内衣接触舒适性研究 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [33] TANG K M, KAN C, FAN J. Assessing and predicting the subjective wetness sensation of textiles: subjective and objective evaluation [J]. *Textile Research Journal*, 2015, 85(8): 838-849.
- [34] ACKERLEY R, OLAUSSON H, WESSBERG J, **et al.** Wetness perception across body sites [J]. *Neuroscience Letters*, 2012, 522: 73-77.
- [35] GERHARDT L C, STRÄSSLE V, LENZ A, **et al.** Influence of epidermal hydration on the friction of human skin against textiles [J]. *Journal of the Royal Society Interface*, 2008, 5(28): 1317-1328.
- [36] VALENZA A, BIANCO A, FILINGERI D. Thermosensory mapping of skin wetness sensitivity across the body of young males and females at rest and following maximal incremental running [J]. *The Journal of Physiology*, 2019, 597(13): 3315-3332.
- [37] ZHANG Z, TANG X, WANG Y, **et al.** Effect of fiber type, water content, and velocity on wetness perception by the volar forearm test: stimulus intensity test [J]. *Perception*, 2019, 48(9): 862-881.

收稿日期 2023年7月29日