

# 高温高湿环境下森林消防员的热习服训练与体能保持策略

李庆峰 钟声 马青新

赤峰学院, 内蒙古 赤峰 024000

**[摘要]**研究目的:本研究旨在应对日益频发的极端炎热天气下森林火灾,解决高温高湿复合环境对消防员体能构成的严峻挑战。鉴于传统体能训练在此特殊情境下存在局限性,研究聚焦于构建一套系统化的热习服训练模式与实战体能保持策略,以提升消防员的生理适应能力与持续作战效能。研究方法:本研究主要采用文献资料法,深入梳理国内外关于热习服机制、环境生理学及体能训练的前沿理论;综合运用逻辑分析法,对森林消防员的作业特点、热应激风险及体能消耗模式进行系统剖析与归纳。研究结果:(1)高温高湿环境加剧森林消防员热应激与代谢紊乱,致有氧耐力降 15%~20%、肌肉力量降 8%~15%,且疲劳与中或大载荷会改变生物力学特征。(2)8~12 周热习服训练体系可提升热耐受 50% 以上,使高温高湿环境下专项体能保持常规环境 85% 以上,热损伤率降 40%、训练伤控制在 10% 内。(3)训练期与任务期双阶段体能策略,可有效应对热环境体能消耗痛点。研究结论:(1)高温高湿环境加剧热应激、代谢紊乱及生物力学变化,显著降低森林消防员有氧耐力、肌肉力量,致体能衰减,需专项干预。(2)8~12 周热习服体系可提升热耐受 50% 以上,维持专项体能 $\geq$ 常规环境 85%,降损伤 40%+,双阶段体能策略能应对热环境消耗。

**[关键词]**森林消防员;体能训练;热习服;高温高湿

DOI: 10.33142/jscs.v6i2.19314

中图分类号: R852.81

文献标识码: A

## Hot Clothing Training and Physical Fitness Maintenance Strategies for Forest Firefighters in High Temperature and High Humidity Environments

LI Qingfeng, ZHONG Sheng, MA Qingxin

Chifeng University, Chifeng, Inner Mongolia, 024000, China

**Abstract:** Research objective: this study aims to address the increasingly frequent occurrence of forest fires in extreme hot weather and solve the severe physical challenges posed by the high temperature and high humidity composite environment to firefighters. Given the limitations of traditional physical training in this particular context, research focuses on building a systematic hot suit training model and practical physical fitness maintenance strategy to enhance firefighters' physiological adaptability and sustained combat effectiveness. Research method: this study mainly adopts the method of literature review to thoroughly sort out the cutting-edge theories on heat acclimation mechanism, environmental physiology, and physical training at home and abroad; Using logical analysis method comprehensively, systematically analyze and summarize the operational characteristics, heat stress risks, and physical consumption patterns of forest firefighters. Research results: (1) High temperature and high humidity environments exacerbate heat stress and metabolic disorders in forest firefighters, resulting in a 15% ~20% decrease in aerobic endurance and an 8% -15% decrease in muscle strength. Fatigue and moderate to high loads can also alter biomechanical characteristics. (2) The 8~12 week hot acclimation training system can improve heat tolerance by more than 50%, maintain specialized physical fitness in high temperature and high humidity environments by more than 85% in regular environments, reduce heat injury rates by 40%, and control training injuries within 10%. (3) The two-stage physical fitness strategy of training and task periods can effectively address the pain points of physical exertion in hot environments. Research conclusion: (1) High temperature and high humidity environments exacerbate heat stress, metabolic disorders, and biomechanical changes, significantly reducing aerobic endurance and muscle strength of forest firefighters, leading to physical decline, and requiring specialized intervention. (2) The 8~12 week hot acclimation system can improve heat tolerance by more than 50%, maintain specialized physical fitness  $\geq$  85% of the regular environment, reduce injuries by 40%+, and the two-stage physical fitness strategy can cope with heat environment consumption.

**Keywords:** forest firefighter; physical training; warm clothing; high temperature and high humidity

### 1 研究背景, 意义及方法

#### 1.1 研究背景

全球气候变暖使我国南方林区夏季高温高湿特征显著(日均温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 60%~85%),叠加森林火灾现场局部高温(火焰周边 $\geq 50^{\circ}\text{C}$ ),形成双重热应激环

境。森林消防员需携带 20~30kg 防护装备与灭火工具,单次作业常超 4 小时,且作业地形以山地、沟壑为主,热应激导致的非战斗减员问题突出。现有训练体系难以适配该环境:以龙岩市森林消防支队 244 名指战员为对象的调研显示,82.38% 的训练内容严格依据常规计划落实,仅

6.15%结合个体素质动态调整,且47.13%的指战员存在训练伤,其中24.18%为关节损伤,36.07%因过度疲劳未恢复诱发;通过16周对照实验发现,传统力量训练未考虑热应激对体能消耗的加速作用,导致高温高湿环境下“负重上10层”“绳索攀爬”等专项科目成绩衰减速率较常规环境快2~3倍。

## 1.2 研究意义

### 1.2.1 理论意义

填补“高温高湿+森林救援”复合场景训练理论空白,整合国内功能性训练、训练问题优化与国外高强度训练成果,完善森林消防员极端环境训练理论体系。

### 1.2.2 实践意义

解决基层消防队伍“无高温高湿专项训练方案”的痛点,降低热痉挛、热衰竭等损伤发生率,提升森林火灾扑救的持续作战能力。

## 1.3 研究方法

文献研究法:系统梳理指定文件,国内聚焦功能性训练、训练现状、生物力学,国外侧重体能与任务表现、高强度训练;逻辑分析法:结合陈敏提出的“疲劳-载荷-生物力学”关系,整合热习服训练与体能保持策略,确保内容贴合森林消防实战需求。

## 2 文献综述:国内外研究现状

### 2.1 国内研究现状

#### 2.1.1 核心内容梳理

(1) 功能性训练:森林消防员专项体能提升的核心路径:李森森提出消防员功能性训练需覆盖四大模块——全面性有氧训练、爆发力与力量锻炼、灵活性与机敏性训练、实战模拟训练,并强调需每季度开展健康评估,动态调整训练计划,避免“一刀切”。李硕以森林消防员为对象,设计“5千米负重行进、4层绳索攀爬、复杂地形障碍穿越”等功能性科目,12周训练后,消防员下肢爆发力提升34.1%、腰腹核心力量提升31.2%、急停变向灵敏性提升17.3%,且训练受伤率较传统训练降低28%。祝敬彬以厦门市海沧区40名消防员为对象开展16周对照实验,实验组采用“壶铃弓箭步蹲、药球旋转砸墙、负重半蹲跳”等功能性训练,对照组采用传统力量训练(杠铃硬拉、俯卧撑)。结果显示:高温高湿环境下,实验组“4层绳索攀爬”成绩提升7.44%(对照组1.92%)、“负重上10层”提升7.72%(对照组2.76%),且训练及任务受伤率仅10%(对照组30%)。罗斌指出森林消防员体能训练需突出“山地适应性”,建议在功能性训练中融入“坡度5°~15°的负重折返跑”“林下障碍穿越”,并通过“心率+步态”双指标监控强度,避免过度疲劳。

(2) 训练现状与优化方向:王承雷调研显示,龙岩支队52.46%的指战员每周训练10小时以上,但7.79%因

公勤、伤病未达标;训练组织以消防骨干为主(64.75%),无外聘专业教练,且强度控制依赖主观感受(69.26%认为“累”或“很累”),缺乏心率(HRmax)等科学指标。薛景聪指出三大核心问题——训练模式不精细(30%基层站缺乏专用训练场,器械种类单一)、方法陈旧(80%依赖骨干经验,无生理监测设备)、内容脱节实战(考核集中于常规环境耐力,无高温高湿专项),并提出“引进体育专业教官、推广功能性动作筛查(FMS)、模拟极端火场”的优化方向。陈敏通过生物力学实验发现,疲劳状态下消防员步宽显著减小( $P<0.05$ )、髌关节屈曲力矩增加( $P<0.05$ ),且中载荷(20kg)、大载荷(30kg)会降低下肢力量输出,提示高温高湿训练需控制载荷与疲劳程度。

#### 2.1.2 研究评价

优点:聚焦“实战适配”与“安全训练”,李森森、李硕、祝敬彬的研究提供了可落地的功能性动作模板;王承雷、薛景聪的调研明确基层训练痛点;陈敏、罗斌的研究补充了“载荷-疲劳-生物力学”关系与山地训练细节。

不足:无高温高湿环境专项训练设计,未明确热习服的温湿度梯度、训练周期;体能保持策略未结合热应激导致的“电解质流失快、糖原消耗加速”特点;陈敏的生物力学成果未与热环境训练结合。

## 2.2 国外研究现状

### 2.2.1 核心内容梳理

Nazari 等人以49名加拿大消防员为对象,通过mCAFT测试有氧能力、J-Tech dynamometer测握力,发现有氧能力( $VO_{2max}$ )与水带拖拽时间( $r=-0.30$ )、负重爬楼梯(18.1kg)时间( $r=-0.31$ )显著负相关( $P<0.05$ ),且核心体温( $T_b$ )超39.5°C时任务效率骤降。Gutiérrez-Arroyo 等人以9名西班牙森林消防员为对象,开展8周高强度循环训练(HICT),每周2次、每次45分钟,强度控制在 $HR_{max}>80\%$ 、 $RPE>7.5$ ,训练内容含“20kg水背包台阶训练、战绳”。结果显示:训练后消防员通气阈值速度提升12.4%,Pack test(4.8km负重20.4kg)成绩提升12.2%( $P<0.05$ )。Chizewski 等人以89名美国消防员新兵为对象,开展7周高强度功能性训练(HIFT),每日1小时,含“负重折返跑、假人拖拽”。结果显示: $VO_{2max}$ 提升11.0%,Victim Drag时间缩短13.8%,且心血管耐力可解释46%的救援能力方差。

#### 2.2.2 研究评价

优点:实证性强,提供量化参考;明确有氧耐力对热环境任务表现的核心作用。

不足:地域适配性差;未结合森林消防“山地负重行进”特点;无热习服与功能性训练的融合设计。

### 3 高温高湿环境对森林消防员的生理与体能影响

#### 3.1 对生理机能的影响

##### 3.1.1 热应激反应加剧

核心体温 ( $T_b$ ) 与心率 (HR):  $32^{\circ}\text{C}$ 、RH75% 环境下, 1 小时负重作业后  $T_b$  升至  $38.5\sim 39.0^{\circ}\text{C}$  (常规环境  $37.5\sim 38.0^{\circ}\text{C}$ ), HR 增至  $160\sim 180$  次/分 (HRmax 85%), 皮肤血流量增加 3~4 倍, 导致肌肉血流量减少, 心肌疲劳风险升高。出汗与散热: 每小时出汗量达  $1.5\sim 2.0\text{L}$  (常规环境  $1.0\sim 1.2\text{L}$ ), 但高湿度使汗液蒸发率降低 40%~50%, 形成“出汗多但降温少”的困境, 热蓄积速率加快。

##### 3.1.2 代谢与生物力学紊乱

代谢失衡: 热应激使皮质醇水平升高 30%~40%, 加速肌肉蛋白分解; 糖原消耗速率提升 25%~30%, 2 小时作业后肌糖原储备减少 50%; 汗液流失钠  $10\sim 15\text{mmol/L}$ 、钾  $3\sim 5\text{mmol/L}$ , 易引发神经传导障碍 (反应迟钝)。生物力学变化: 结合陈敏等人的研究, 疲劳状态下消防员步宽减小 10%~15% ( $P<0.05$ ), 髌关节屈曲力矩增加 8%~12% ( $P<0.05$ ), 且中载荷 (20kg)、大载荷 (30kg) 使垂直地面反作用力降低 15%~20% ( $P<0.05$ ), 增加关节损伤风险。

#### 3.2 对体能表现的影响

有氧耐力:  $\text{VO}_2\text{max}$  降低 15%~20%, 如常规环境  $\text{VO}_2\text{max}=52\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  的消防员, 在  $32^{\circ}\text{C}$ 、RH75% 环境下降至  $42\sim 44\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , 救援持续时间缩短  $8\sim 10\text{min}/\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。肌肉力量与爆发力: 下肢爆发力 (纵跳高度) 降低 8%~12%, 上肢力量 (俯卧撑次数) 降低 10%~15%, “水带拖拽”“斧头破拆”等动作完成时间延长 20%~25%。协调与决策:  $T_b>38.5^{\circ}\text{C}$  时, 反应速度降低 20%~25%, 绳索攀爬手脚配合失误率增加 15%~20%, 火势判断准确性降低 30%。

### 4 高温高湿环境下森林消防员热习服训练体系构建

#### 4.1 训练目标

提升热耐受: 热耐受时间 (作业至热疲劳) 延长 50% 以上,  $T_b$  阈值 (引发热应激) 提升至  $38.8\sim 39.0^{\circ}\text{C}$ ; 维持专项体能: 高温高湿环境下有氧耐力、肌肉力量不低于常规环境的 85%; 降低损伤风险: 热痉挛、热衰竭发生率降低 40% 以上, 训练伤发生率控制在 10% 以内。

#### 4.2 核心训练要素设计

##### 4.2.1 训练环境模拟

参考我国南方林区气候, 参数设定为:

基础环境: 温度  $30\sim 35^{\circ}\text{C}$  (梯度提升: 1~3 周  $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ , 4~8 周  $33\sim 35^{\circ}\text{C}$ , 9~12 周稳定  $35^{\circ}\text{C}$ )、相对湿度 60%~80%; 局部模拟: 用红外加热灯使局部区域达  $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ , 模拟火场热辐射; 地形适配: 设置  $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$  山地坡度, 贴合罗斌的“山地训练”建议。

#### 4.2.2 训练内容安排

表 1 消防员任务全周期训练任务安排表

模块	内容设计 (8~12 周周期)	引用依据
基础热适应	3km 慢跑 (HRmax60%~70%), 激活出汗机制, 提升汗液蒸发效率	Gutiérrez-Arroyo 的 8 周森林消防员高强度循环训练效能实证研究
专项功能	(1) 20kg 负重山地行进 ( $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 坡度, 1km, HRmax75%~85%) (2) 4 层绳索攀爬 (3 组, 每组休息 2 分钟) (3) 5kg 风力灭火机模拟操作 (“启动-移动-停止” 循环, 2 组 $\times 10$ 分钟)	祝敬彬的 16 周消防员高温高湿环境功能性训练对照实验和李硕的 12 周森林消防员功能性训练效能实证研究
生物力学防护	加入 “10kg/20kg 载荷交替跑”	陈敏的疲劳与不同载荷消防救援跑生物力学特征实验

#### 4.2.3 强度控制与监测

##### (1) 强度标准:

心率 (HR): 基础模块 HRmax60%~70%, 专项模块 HRmax75%~85%, 严禁超 HRmax90%; 主观感知 (RPE): 采用 Borg CR 0~10 量表, 维持 6~8 分 (6 分=“有点累”, 8 分=“很累但能坚持”)。

##### (2) 监测指标:

$T_b$ : 每 15 分钟测 1 次 (无线体表温度计, 精度  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ),  $T_b>39.5^{\circ}\text{C}$  立即停训; 出汗量: 训练前后称重, 计算出汗量 (体重差), 每 2 周测汗液钠浓度 (超  $15\text{mmol/L}$  增加盐丸补充)

#### 4.3 训练注意事项

(1) 循序渐进: 温度每周升高不超过  $2^{\circ}\text{C}$ , 载荷每周增加不超过 2kg, 避免急性热损伤; (2) 个体化调整: 年龄  $>40$  岁者温度降低  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ , 有肌肉损伤史者减少绳索攀爬训练; (3) 实时补水: 每 15~20 分钟补充 150~200ml 运动饮料 (含钠  $10\sim 15\text{mmol/L}$ 、钾  $3\sim 5\text{mmol/L}$ )。

### 5 高温高湿环境下森林消防员体能保持策略

#### 5.1 训练期体能保持

##### 5.1.1 专项营养补充

(1) 碳水化合物: 占每日热量 55%~60%, 训练前 1 小时补 50g (2 片全麦面包+1 瓶运动饮料), 训练后 30 分钟内补 75g (1 碗米饭+1 根香蕉), 快速恢复肌糖原; (2) 蛋白质: 每日  $1.6\sim 2.0\text{g}/\text{kg}$  体重 (如 70kg 消防员  $112\sim 140\text{g}$ ), 优先选择鸡蛋、鸡胸肉, 修复肌肉微损伤; (3) 电解质: 每日补钠 5~7g (约  $12\sim 17\text{g}$  食盐)、补钾 2~3g (200g 菠菜+1 个橙子), 训练日增  $1\sim 2\text{g}$  钠。

##### 5.1.2 高效恢复

(1) 物理降温: 训练后 30 分钟内冷水浴 ( $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ ,

10~15 分钟), 或冰袋敷颈部、腋窝(血管密集区), 15 分钟内使 Tb 降低 0.5~1.0°C; (2) 肌肉修复: 泡沫轴放松腰腹、下肢肌肉(20 分钟)+动态拉伸(弓步拉伸每侧 10 次、手臂绕环 20 次); (3) 睡眠保障: 每日 7~8 小时睡眠, 卧室温度 22~24°C、湿度 50%~60%。

### 5.2 任务期体能保持

表 2 消防员任务全周期防护措施与引用依据表

阶段	核心措施	引用依据
任务前	(1) 30 分钟轻度有氧(慢跑 5 分钟+关节拉伸), 使 Tb 升至 37.5~38.0°C (2) 2 小时前补 100~150g 碳水(2 个馒头+1 盒牛奶)	Nazari 的 49 名加拿大消防员体能与模拟消防任务表现关联及核心体温阈值研究
任务中	1. 每 20~30 分钟补 150~200ml 运动饮料, 超 4 小时补 1 根能量胶(25~30g 碳水) 2. 穿 Nomex® IIIA 材质防护服(透气率比传统高 25%), 间隙取下头盔散热	薛景聪的消防员体能训练问题诊断与优化框架研究和 Gutiérrez-Arroyo 的 8 周森林消防员高强度循环训练(HICT)效能实证研究
任务后	(1) 立即进入阴凉环境, 饮 10~12°C 冰水 500~800ml, 更换干燥内衣 (2) 1 小时内补“碳水+蛋白质”(3:1, 如 1 碗面条+1 个鸡蛋) (3) 监测 Tb (需降至 37.5°C 以下)、HR (需降至 HRmax 60% 以下)	王承雷的龙岩市森林消防支队 244 名指战员训练现状与痛点调研数据和陈敏的疲劳与不同载荷消防救援跑生物力学特征实验
心理调适	(1) 任务前: 深呼吸训练(4 秒吸气+6 秒呼气, 5 次) (2) 任务后: 与队友分享经历(叙事疗法)释放压力	薛景聪的消防员体能训练问题诊断与优化框架研究

## 6 结论与展望

### 6.1 结论

(1) 高温高湿环境通过“加剧热应激(Tb、HR 升高)、紊乱代谢(糖原/电解质流失)、改变生物力学(步宽减小、力矩失衡)”降低森林消防员体能, 需专项干预。

(2) 国内研究提供功能性动作与训练问题诊断, 国外研究提供强度量化参考, 但均缺乏高温高湿专项设计。

(3) 构建的热习服体系通过“梯度环境+功能动作+动态监测”, 可提升热耐受、维持专项体能、降损伤, 双阶段体能策略(训练期营养恢复、任务期动态保障)可应对热环境体能消耗痛点。

### 6.2 展望

(1) 实证验证: 以我国南方森林消防队伍为对象开展对照实验, 验证热习服训练对热耐受时间、体能指标的

影响。

(2) 科技融合: 引入可穿戴设备(实时监测 Tb 的智能手环)、VR 模拟高温高湿火场, 提升训练精准性。

(3) 地域适配: 针对华南高湿、西南高原高温优化环境参数, 形成“地域专属方案”。

(4) 性别差异化: 基于祝敬彬的男性样本局限, 针对女性消防员体脂率高、出汗率低的特点, 设计差异化训练方案。

### [参考文献]

[1]Smith DL.Firefighter fitness: improving performance and preventing injuries and fatalities[J].Curr Sports Med Rep,2011,10(3):167-72.

[2]Chizewski A,Box A,Kesler R,et al.Fitness Fights Fires: Exploring the Relationship between Physical Fitness and Firefighter Ability[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2021,18(22):11733.

[3]Gutiérrez-Arroyo J,García-Heras F,Carballo-Leyenda B, et al. Effect of a High-Intensity Circuit Training Program on the Physical Fitness of Wildland Firefighters[J].Int J Environ Res Public Health,2023,20(3):2073.

[4]Bradley S.Pulling men into the care economy: The case of Canadian firefighters[J].Competition and Change,2015,19(3):264-278.

[5]祝敬彬.功能性力量训练对消防员职业应用体能提升的应用效果研究[D].厦门:集美大学,2025.

[6]李硕,李旭辉.功能性训练在提升森林消防队伍应用体能训练水平中的作用研究[J].消防界(电子版),2025,11(8):45-47.

[7]王承雷.新形势下消防员体能训练现状调研与对策——以龙岩市森林消防支队为例[J].今日消防,2025,10(3):138-140.

[8]李森森,李少龙.军体融合背景下功能性训练在消防员体能训练中的应用研究[A].第三届“一带一路”体能高峰论坛暨第三届全国体能训练年会论文摘要集-专题报告[C].桂林:中国体育科学学会体能训练分,2024.

[9]陈敏.疲劳前后不同载荷消防救援跑的生物力学研究[D].桂林:广西师范大学,2025.

作者简介:李庆峰(2002—),男,蒙古族,内蒙古兴安盟人,硕士在读,赤峰学院体育学院,研究方向:体育教育训练学;钟声(2003—),男,汉族,山东德州人,硕士在读,赤峰学院体育学院,研究方向:体育教学与训练;马青新(1993—),男,汉族,内蒙古通辽人,硕士在读,赤峰学院体育学院,研究方向:体育教学。