

教室荧光灯色温对学生学习效率和生理节律的影响

严永红¹, 关 杨¹, 刘想德², 刘 炜¹

(1. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400045; 2. 重庆邮电大学 自动化学院, 重庆 400065)

摘 要:为了研究教室荧光灯色温对学生学习效率和生理节律的影响,通过实验对比了 3 种典型色温 T5 荧光灯在不同照度水平下对受试人学习效率、视疲劳、脑疲劳的影响。实验采用安菲莫夫字母表和近点测定法对学习效率和视疲劳进行测试,用学习效率变化率作为特定光环境下出现的脑疲劳指标。结果表明,由于 Cirtopic 效应作用,中间色温荧光灯在恰当的时间长度内可对学生产生适量的良性刺激,对大脑起到“唤醒”或“放松”的作用,达到提高学习效率、缓解视/脑疲劳的效果;而高、低色温荧光灯的作用则相反;不同色温的荧光灯光源,其最佳照度值并不相同;在实验研究的基础上,提出了教室照明中应避免的色温—照度组合。

关键词:照明;荧光灯;学习效率;视疲劳;脑疲劳

中图分类号:TU113.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)04-0085-05

Productivity and Physiological Response of Students Subjected to Fluorescent Lamps With Different Colour Temperatures and Luminance Level

YAN Yong-hong¹, GUAN Yang¹, LIU Xiang-de², LIU Wei¹

(1. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China;

2. Automation Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China;)

Abstract: The influence of luminance level on students' productivity, asthenopia (an eye strain), and brainfag (a mental exhaustion and depressive disorder) was studied with three typical colour temperatures of T5 fluorescent lamps. The changing rate of productivity and asthenopia were measured by using anomalistic distance determination and Анфимов alphabet test method and the changing rate of productivity was regarded as the brainfag index. It is found that medium colour temperature fluorescent lamps with appropriate exposure time can produce desirable consequences, stimulate the subjects' cognitive ability and enhance their productivity. However, some lamps with lower or higher colour temperature produced undesirable consequences. The optimal luminances levels were thus variable and correspond to the colour temperature of lamps. The worst combination of colour temperature & luminance was identifies and should be avoided in classroom lighting design.

Key words: lighting; fluorescent lamps; learning efficiency; asthenopia; brainfag

近年来,研究光对人的心理、生理效应已成为照明研究重要的领域之一^[1-2]。CIE 于 2004 年、2006 年 2 次召开以“照明与健康”为题的学术会议,对这

一问题进行专题研讨。CIE 第 158 号文件中指出,由于 Cirtopic^[3](眼睛的非视觉效应)^[4]的作用,光谱差异可影响人体的昼夜节律、体温、机敏程度,并直

收稿日期:2010-03-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50778182)

作者简介:严永红(1967-),女,教授,博士生导师,主要从事建筑光环境、生态建筑技术等研究,(E-mail)65120701@126.com。

接影响工作效率及人体健康^[5]。Phillips 公司绘出了典型人体体温、褪黑素、皮质醇及人体活跃性的 24 h 周期节律曲线^[5], 得出办公室光环境下时间、人体生理节律与光源色温的对应关系。日本学者片山就司等人对医院照明进行了研究, 得出了医院光环境下人体昼夜节律照明曲线^[6]。同济大学林丹丹、郝洛西对学生在不同照度、色温荧光灯环境下的视疲劳程度、主观评价、工作绩效进行了对比研究^[7]。复旦大学姚其等人对比计算了不同光谱光源在 Cirtopic 视觉条件下的有效光效^[8-9]。

总体来看, 目前国外对 Cirtopic 效应的研究和应用主要集中在医院和办公室照明上, 而在中国, 更为突出的问题是教室照明。资料表明, 目前中国青少年近视率居全球第二^[10], 特别是大学生的视力不良检出率竟高达 82.68%^[11], 其原因与不良的教室照明有很大关系。不同色温光源的光谱、光强度差异^[12]除直接影响学生的视力健康外, 还会影响他们的生理节律(兴奋或疲劳)。因此, 对教室照明进行深入的研究并加以改进是非常必要的。

目前教室人工光环境对比研究的实验结论大多倾向于认为高照度、高色温光源更为适宜^[13]。但这一结论或以学生主观评价^[7]、或以理论计算为依据^[8], 缺乏更深入的实验研究支撑。

为了解何种色温的教室光源更有利于学生的生理健康, 选定色温 2 700 K、4 000 K、6 500 K, R_a 为 85 的 T5 荧光灯(亮度均可实现 0~100% 可调)作为研究对象, 对其进行学习效率、视疲劳、脑疲劳影响研究。

1 不同色温环境下学生学习效率及视疲劳实验

通过对重庆大学建筑城规学院 110 名在校大学生进行了 3 种典型教室照明光源色温喜好问卷调查, 发现学生对色温的偏好并非一成不变, 而是随教室功能、照度水平而变化(见图 1)^[13]。因此, 仅以学生主观评价作为教室照明色温选择的依据显然并不可靠。评价一种光源是否是好的教室照明光源, 除考虑学生的主观评价外, 还必须考虑学生长时间处在特定光谱环境下, 大量刺激所带来的疲劳累积对学生生理健康的影响。

1.1 实验地点及时间

实验教室为重庆大学建筑城规学院自习教室(见图 2(a)), 对应教室座位排列方式, 在顶棚上平行于课桌安装 3 列索恩教室专用可调灯具(实验前已使用 DIALUX 软件进行过灯具布置方式优化方案对比^[13]); 每列灯具分别内装色温 2 700 K、

4 000 K、6 500 K, R_a 为 85 的 OSRAM T5 荧光灯光源(见图 2(b)、(c))。

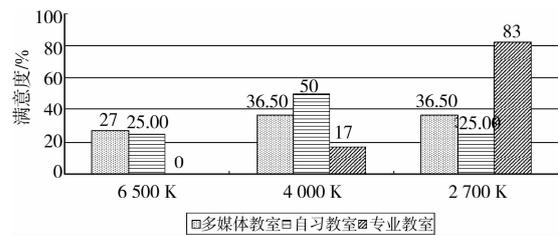


图 1 3 种典型教室中, 学生对光源色温的喜好调查

所有实验均在每晚 19:00—22:30 进行, 这一时间段的选择有利于完全排除天然光的影响, 且可保证各受试人每次实验均处在相近的生理节律周期中, 以确保其测试数据的相对连续性和可比性。

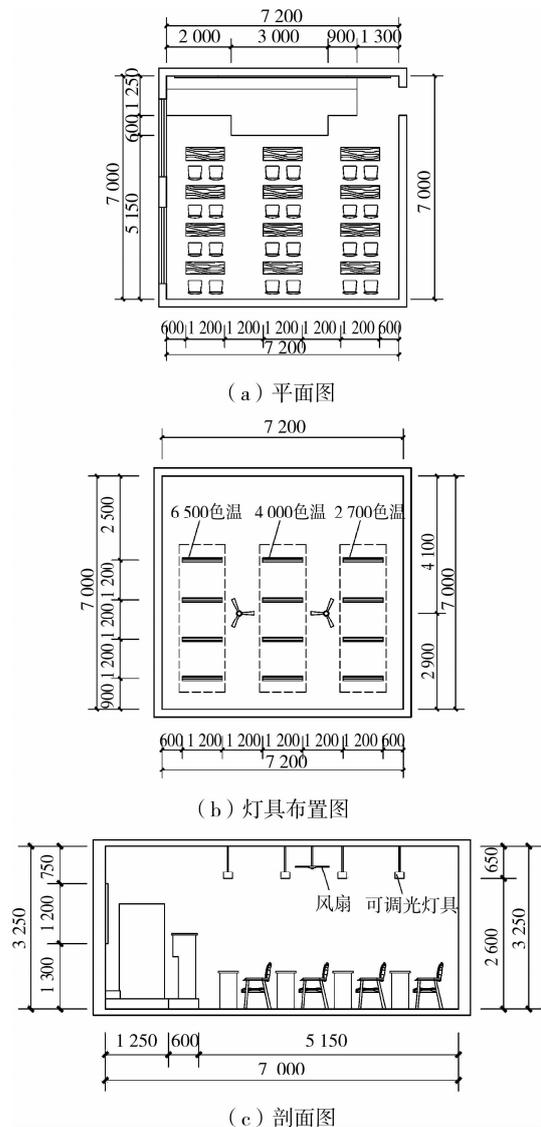


图 2 实验教室平面图、灯具布置图及剖面图

1.2 实验对象

选择一年级、二年级本科生各 8 名, 男女各半,

年龄在18~21岁间,身体健康,双眼矫正视力在5.0以上。将受试人分为2组,每组8人,男女各半,进行交叉实验。每次实验前均已排除了身体、心理异常的受试人样本。实验前对每位受试人进行训练,让其熟悉实验的步骤与方法。

1.3 测试方法

1)学习效率:采用剂量作业测定法进行测试,使用安菲莫夫表进行综合评定,以脑力工作能力指数(IMC)来反映学习效率。计算式:

$$\text{阅字速度(个/min)} = \text{阅字数} / 2$$

$$\text{错误率(\%)} = [(\text{错字数} + \text{漏字数}) / \text{阅字数}] \times 100\%$$

$$\text{脑力工作能力指数(IMC)} = (\text{阅字数} / 2) \times [(\text{应删数} - \text{错删数}) / \text{应删数}]$$

2)视疲劳:在预实验中对比了明视持久度法、眨眼次数法及眼动仪测量法等3种视疲劳测定方法,综合考虑本实验精度、时间要求及受试人对测试方法掌握的程度,最终采用学生易掌握的近点测定法^[14]来测试视疲劳。计算公式:

$$\text{视疲劳(\%)} = | \text{作业后近点距离} - \text{作业前近点距离} | / \text{作业前近点距离}$$

测试时让学生在某特定光环境下自习来充分适应该光环境,学习材料为学生自带的基础学科作业,如高数、英语等,以便更真实地模拟常规教室学习状况。

1.4 实验方案

1)光环境场景模式设计

根据《建筑照明设计规范》(GB 50034-2004),目前教室课桌面照度标准为300 lx, $R_a \geq 80$ ^[15],而根据相关实验,舒适的教室照度值普遍在500 lx以上。随着生活水准的提高和对视力健康的日渐重视,有专家甚至建议将照度标准提高到750~

1 000 lx;此外,根据《建筑照明设计规范》教室照明应采用色温范围在3 300~5 300 K内的光源^[15]。而根据调查,目前大部分高校教室照明采用色温为6 500 K左右的光源。因此,为寻找教室最适宜照度和色温,实验光环境模式设计如下:

在2 700 K、4 000 K和6 500 K 3种光源色温环境下分别进行测试,桌面平均照度设定为1 000 lx、750 lx、500 lx和300 lx 4档,照度均匀度 ≥ 0.7 。实验顺序为:1 000 lx、750 lx、500 lx和300 lx。当一组受试人完成全部测试后,换另一组受试人,进行交叉实验。

2)实验步骤:实验模拟教室教学模式,每个光环境场景测试约1 h,分作业前测试、自习、作业后测试3个部分。步骤如下:受试人进入某特定照明环境适应5 min后,用安菲莫夫剂量作业表测试学习效率并测试初始近点距离;让受试人在该光环境下自习45 min;再一次测试学习效率和近点距离,通过与作业前的近点距离比较来反映经45 min学习后的疲劳程度。

此后,让受试人去教室外充分休息10~15 min,测试人员更换光环境场景(调整照度值或色温),用同样方法进行下一轮测试。

2 实验结果与分析

2.1 不同照度下学习效率、视疲劳与色温关系

图3为2组受试人(共16人)交叉实验后经算术平均得出的照度/色温与学习效率、视疲劳关系图。

表1是根据图3分析得出的不同照度段受试人平均学习效率及视疲劳与色温关系排序,以“>”表示“优于”。

表1 不同照度下学习效率、视疲劳与色温关系

照度/lx	学习效率排序	视疲劳排序
300	2 700 K > 4 000 K > 6 500 K	2 700 K > 6 500 K > 4 000 K
500	4 000 K > 2 700 K > 6 500 K	4 000 K > 6 500 K > 2 700 K
750	4 000 K > 6 500 K > 2 700 K	4 000 K > 2 700 K > 6 500 K
1 000	4 000 K > 6 500 K > 2 700 K	4 000 K > 2 700 K > 6 500 K

根据排序,300 lx时,2 700 K效率最高、视疲劳最低;500~1 000 lx时,4 000 K不仅效率最高,且视疲劳最低。

总体来看,在各照度段,4 000 K的综合表现最为突出。

2.2 不同色温下各照度段学习效率、视疲劳对比

在2 700 K荧光灯环境下,学习效率曲线呈马鞍形,视疲劳曲线较为缓和。各照度段呈现出不同的特点:单从学习效率来看,300 lx最佳,但其视疲劳相对较重,1 000 lx视疲劳最轻,但其学习效率明

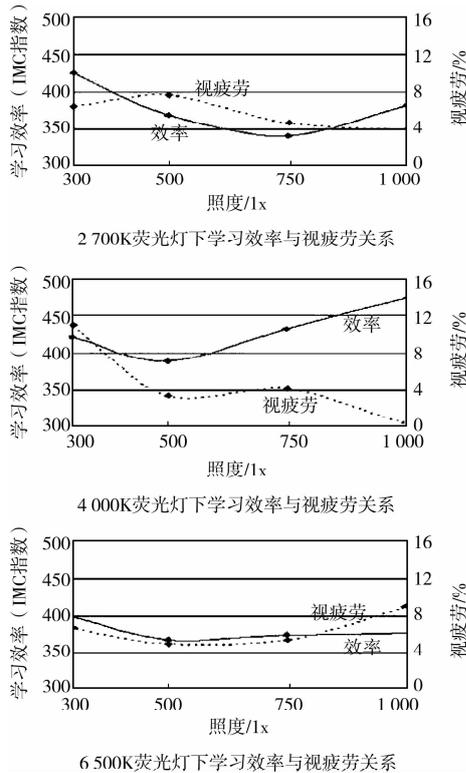


图 3 不同色温下照度与学习效率、视疲劳关系曲线

显低于 300 lx。因此,尚不能断言哪个照度值最佳,但 750 lx 和 500 lx 较差。

在 4 000 K 荧光灯环境下,学习效率及视疲劳曲线变化最为剧烈,表明随着照度值的提高,学习效率及视疲劳都得到了明显的改善。但曲线在 500 lx 时出现了明显的拐点,尽管此时视疲劳并不显著,但其学习效率明显低于其他照度段。因此当使用 4 000 K 荧光灯光源时,应避免这一照度值。1 000 lx 为最佳照度值。

在 6 500 K 荧光灯环境下,学习效率及视疲劳曲线比较平缓,表明提高照度标准并不能显著提高学生的学习效率及明显减轻视疲劳。比较而言,300 lx 效率最高,但视疲劳显著。

2.3 脑疲劳程度对比分析

在实验中发现一个现象:在某些特定光环境下,受试人普遍反映在经过 45 min 学习后,头脑反而更清醒了,而在另一些光环境下则正好相反。为了解其中原因,除进行学习效率和视疲劳测试外,还增加了对学习效率变化率 η 的测试,即将受试人在各光环境状态下自习前后的学习效率之差除以自习前的学习效率,得到 η 值(见图 4)。 η 为正值表明经 45 min 自习后比自习前学习效率提高了,说明在该光环境下学习能让人兴奋和清醒,并保持良好的脑力工作状态; η 为负值则表明在该光环境下学习后出现脑疲

劳,导致效率下降。负值的绝对值越大表明脑疲劳越严重。该文以 η 值来粗略地反映脑疲劳程度。

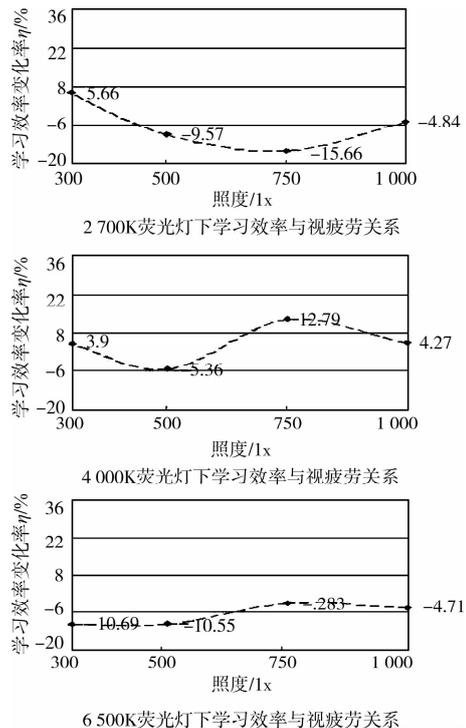


图 4 学习效率变化率曲线

从图中可以看出,2 700 K 色温下 η 值曲线呈马鞍形变化,且除 300 lx 外,其余照度段 η 值均为负值。表明在该色温下学习,学生易出现脑疲劳;特别是在 750 lx 时,脑疲劳最为严重。但此色温在低照度 300 lx 时 η 值表现为正值,表明当使用 2 700 K 色温光源时,平均照度较低时反而有利于提高兴奋度、减轻脑疲劳。

6 500 K 色温下曲线平缓, η 值全部为负值,表明在该色温下学习,学生更易出现脑疲劳。但从图 4 可看出,曲线随照度升高呈绝对值减小的趋势,因此,可推定该色温下高照度环境略优于中、低照度环境,相对而言,750 lx 略好。

与其他 2 种色温相比,4 000 K 色温表现出众。除 500 lx 外,其余 η 值全为正值。表明在 45 min 内,除 500 lx 时脑疲劳较显著外,其余各照度值下受试人均能保持良好的兴奋度。其中,750 lx 时兴奋度最好。

值得一提的是, η 值最高点与前文中学习效率最高点或视疲劳最低点并不完全一致。如 4 000 K 组的 1 000 lx,从图上看,与其他照度段相比,该段学习效率最高、视疲劳最轻,但图中显示其脑疲劳并不是 η 值最高点, η 值最高点出现在 750 lx 段。

此外,通过对比图 3、图 4 发现,即使视疲劳与脑疲劳这 2 个反映受试人疲劳状况的指标也不完全

一致。以 2 700 K 荧光灯组 750 lx 段为例,尽管在此照度段视疲劳较轻,与 4 000 K 组同照度段的数值相近,但其脑疲劳却是 4 000 K 组的近一倍,其结果是导致学习效率低下,与 4 000 K 组相差 21.3%。

由于学生在教室某一特定光环境下所进行的视觉工作时间较长,有一个长时间刺激累计的问题。因此,对其光环境的评价不能简单地以单一指标来进行衡量,在该实验中,以学习效率、视疲劳、脑疲劳 3 个指标来对其作出综合评价更为合理。

3 结论

通过对实验数据的分析,表明在对各特定光环境进行评定时,仅考虑学习效率或视疲劳是不够的。由于 Circadian 作用,特定人工光谱/光强度对学生生理节律的影响还以脑疲劳的形式出现。因此,应综合考虑这 3 个指标的影响。

1)在教室照明光源选择中,应以 4 000 K 左右中等色温的荧光灯作为主要光源。而目前大学教室普遍使用的高色温(6 500 K)荧光灯光源,可加重学生的脑疲劳和视疲劳,降低学习效率,不应作为教室主光源。

2)不同色温的荧光灯光源,其最佳照度值并不相同。2 700 K 荧光灯光源,300 lx 为最佳照度建议值;4 000 K 荧光灯光源,750 lx 为最佳照度建议值;6 500 K 荧光灯光源,无最佳照度建议值。

3)不同色温的荧光灯光源,其最不利照度值也不相同。2 700 K 荧光灯光源,750 lx 的照度应尽量避免;4 000 K 荧光灯光源,500 lx 的照度应尽量避免;6 500 K 荧光灯光源,500 lx、1 000 lx 的照度应尽量避免。

根据实验结果,《建筑照明设计规范》(GB 50034—2004)中所规定的教室课桌面照度标准应为 300 lx,仅在低色温情况下是合适的。而当使用中等色温荧光灯光源时,从有利于学生身心健康的角度来看,应提高这一标准,且应注意避开 500 lx 这一最不利照度段。此外,高色温荧光灯不应作为教室主要照明光源。

参考文献:

- [1] CIE 139-2001 The Influence of Daylight and Artificial Light on Diurnal and Seasonal Variations in Humans - a Bibliography[R]. Vienna: CIE Central Bureau, 2001.
- [2] 杨铭,郝允祥. 日光和人工光对人的每日及季节变换的影响研究进展概况. 照明工程学报[J]. 2000, (11)4: 53-55.
YANG MING, HAO YUN-XIANG. Advances in research on psychobiological effects of light[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2000, 11(4): 53-55.
- [3] SAM M, BERMAN, ROBERT D CLEAR. Past vision studies can support a novel human photoreceptor[C]// International Lighting Conference "Lighting in the 21 Century" Proceedings, Leon, Spain, 2005.
- [4] 章海聪. 照明科学新进展——眼睛的非视觉效应. 照明工程学报[J]. 2006, 17(3): 1-3.
ZHANG HAI-CONG. New progress among the lighting science; the non-visual effect of eye[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2006, 17(3): 1-3.
- [5] CIE 158-2004 Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behavior [R]. Vienna: CIE Central Bureau, 2004.
- [6] 片山就司,野口公喜,伊藤武夫. 生物钟照明的应用——关于应用人体生物钟的新型照明[C]//中国照明学会(2005)学术年会: 445-447.
- [7] 林丹丹,郝洛西. 关于中小学生视力健康与光照环境关系的实验研究[J]. 照明工程学报, 2007, 18(4): 38-42.
LIN DAN-DAN, HAO LUO-XI. Experimental research on relationship between vision health and luminous environment for the primary and middle school students [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2007, 18(4): 38-42.
- [8] 姚其,居家奇,程雯婷,等. 不同光源的人体视觉及非视觉生物效应的探讨[J]. 照明工程学报, 2008, 19(2): 25-28.
YAO QI, JU JIA-QI, CHENG WEN-TING, et al. Discussion on the visual and non-visual biological effect of different light sources [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2008, 19(2): 25-28.
- [9] HUBALEK S, ZOSCHG D, SCHIERZ C. Ambulant recording of light for vision and non visual biological effects [J]. Lighting Res. Technol, 2006, 38(4): 314-324.
- [10] 北京军区总医院眼科准分子激光治疗中心. 我国青少年近视率世界排名第二 [EB/OL]. 2008-03-26. <http://www.eyes100.com/html/guanyuyanke/yankedongtai/20080326/7811.html>.
- [11] 李小伟. 我国青少年近视率逐年攀升阻碍入伍和报专业 [N]. 中国教育报, 2009-12-22(2).
- [12] GEORGE C BRAINARD, IGNACIO PROVENCIO. Photoreception for the neurobehavioral effects of light in humans[C]//2nd CIE Expert Symposium on Lighting and Health. 2006: 62-21.
- [13] 严永红. 基于光生物效应的教室健康照明研究[R]. 国家自然科学基金面上项目年度进展报告, 2008: 10-12.
- [14] 庞蕴凡. 视觉与照明[M]. 北京: 中国铁道出版社. 1993: 256-257.
- [15] GB 50034-2004 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

(编辑 胡英奎)