2007, 115(1): 13 – 24.
[21] 辛爱, 唐修文. Nrf2-ARE 信号通路与肿瘤发生及耐药性的关系[J]. 细胞生物学杂志, 2003, 31(3): 319 – 324.
[22] Ganan-Gomez I, Wei Y, Yang H, et al. Oncogenic functions of the transcription factor Nrf2[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2013, 65: 750 – 764.
[23] Lawal AO, Ellis EM. Nrf2-mediated adaptive response to cadmium-induced toxicity involves protein kinase C delta in human 1321N1 astrocytoma cells[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2011, 32(1): 54 – 62.
[24] Lawal AO, Ellis E. Differential sensitivity and responsiveness of three human cell lines HepG2, 1321N1 and HEK 293 to cadmium[J]. The Journal of Toxicological Sciences, 2010, 35(4): 465 – 478.
[25] Nazimabashir, Manoharan V, Miltonprabu S. Cadmium induced cardiac oxidative stress in rats and its attenuation by GSP through the activation of Nrf2 signaling pathway[J]. Chemico-Biological Interactions, 2015, 242: 179 – 193.
[26] Milton Prabu S, Muthumani M, Shagirtha K. Quercetin potentially attenuates cadmium induced oxidative stress mediated cardiotoxicity and dyslipidemia in rats[J]. European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 2013, 17(5): 582 – 595.
[27] Lee YJ, Lee GJ, Baek BJ, et al. Cadmium-induced up-regulation of aldo-keto reductase 1C3 expression in human nasal septum carcinoma RPMI-2650 cells: Involvement of reactive oxygen species and phosphatidylinositol 3-kinase/Akt[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2011, 31(3): 469 – 478.

收稿日期: 2016-07-16 （解学魁编辑 韩仰欢校对）

· 实验研究 ·

西昌和绍兴眼紫外线暴露强度差异比较*

于佳明[1], 王亚洲[2], 王芳[2], 高倩[2], 李发明[2], 华慧[2], 陈仁彤[2], 关雨沅[2], 刘扬[2]

摘 要: 目的 了解不同海拔的西昌和绍兴地区眼紫外线暴露强度的日间分布及随太阳高度角变化的差异。**方法** 采用自行研制的眼紫外线暴露模型, 在晴好天气下, 分别在西昌和绍兴地区进行监测。监测的数据运用 AvaSoft 7.4 for USB2 软件和 OriginPro 8 软件进行数据处理和分析。**结果** 最大暴露状态下, 西昌和绍兴地区眼紫外线 A 段(UVA)和紫外线 B 段(UVB)日间分布均呈双峰型, 峰值 UVA 分别为 2 181.91 μW/cm^2 和 2 003.6 μW/cm^2; UVB 分别为 117.2 μW/cm^2 和 72 μW/cm^2; 眼部和环境暴露比表明, 在最大暴露状态下, 西昌和绍兴地区 UVA 基本相近, 分别为 0.79 和 0.80, 而 UVB 西昌大于绍兴, 分别为 0.68 和 0.55。**结论** 西昌和绍兴地区眼部 UVA 与 UVB 最大暴露强度的日间变化呈双峰型分布; 相同太阳高度角下, 眼部 UVB 暴露强度西昌高于绍兴, 眼部 UVB 与环境 UVB 暴露比西昌亦大于绍兴。

关键词: 海拔; 眼; 紫外线; 暴露强度
中图分类号: R 181.11 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-0580(2017)04-0588-04 DOI: 10.11847/zgggws2017-33-04-18

Difference in ocular ultraviolet exposure intensity betweem Xichang and Shaoxing city

YU Jia-ming*, WANG Ya-zhou, WANG Fang, et al (*Department of Ophthalmology, The Fourth Affiliated Hospital of China Medical University, Shenyang, Liaoning Province 110005, China)

Abstract: Objective To explore the difference in intensities of ocular exposure to ultraviolet (UV) irradiance in diurnal distribution and at different solar elevation angle (SEA) between Xichang and Shaoxing city at different altitude. **Methods** A self-designed rotating manikin and dual-detector spectrometer were used to monitor the intensity of ocular exposure to UV irradiation under clear sky in Xichang and Shaoxing city. Monitoring data were processed and analyzed with AvaSoft 7.4 USB2 software and OriginPro 8 software. **Results** In maximum exposure, both the ocular ultraviolet radiation A (UVA) and ultraviolet radiation B (UVB) diurnal variations exhibited bimodal distribution in Xichang and Shaoxing city; the maximum values of UVA were 2 181.91 μW/cm^2 and 2 003.6 μW/cm^2; and those of UVB were 117.2 μW/cm^2 and 72 μW/cm^2, respectively. As for the ratio of ocular to ambient exposure, the study results revealed that the ratio was almost the same in two areas for UVA maximum exposure (0.79 and 0.80); but for the UVB maximum exposure, the exposure ratio of Xichang is higher than that of Shaoxing (0.68 vs. 0.55). **Conclusion** The maximum ocular UVA and UVB exposure exhibit bimodal diurnal distribution in Xichang and Shaoxing city. Under the same solar elevation angle, the intensity of ocular exposure to UVB irradiance in Xichang is higher than that in Shaoxing, the ratio of ocular to ambient UVB exposure in Xichang was higher than that in Shaoxing.

Key words: altitude; eye; ultraviolet; exposure intensity

* **基金项目**: 国家自然科学基金(81273034); 辽宁省自然科学基金(2014021009)
作者单位: 1. 中国医科大学附属第四医院眼科, 辽宁 沈阳 110005; 2. 中国医科大学公共卫生学院环境卫生教研室
作者简介: 于佳明(1969 –), 女, 辽宁沈阳人, 副研究员, 博士, 研究方向: 紫外线生物效应及眼科基础和流行病。
通讯作者: 刘扬, E-mail: yangliu@cmu.edu.cn
数字出版日期: 2017 – 3 – 29 8: 40
数字出版网址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20170329.0840.004.html

海拔是影响环境紫外辐射强度的一个重要因素[1-2]。Godar[3]和 Scotto[4]等研究得出,海拔每升高 300 m,紫外辐射强度增加 3.6% ~3.8%。中国海拔最高地区是青藏高原,平均海拔在 4 000 ~ 5 000 m,由于海拔高大气层稀薄,使得到达地面的紫外线增加,相应地人体暴露量也越大,尤其是眼晶体的损伤更为明显。目前,有研究进行了不同海拔地区白内障发病率及其危险因素探讨[5],Sydenham 等[6]在研究中让受试者佩戴具有聚砜薄膜的接触镜监测并计算眼角膜表面所受紫外辐射强度大小,Rosenthal 等[7]将紫外敏感膜安装在模型的眼部监测人眼受到的紫外辐射强度,但是这些研究均是间接获取眼部紫外线暴露强度。定量比较不同海拔地区眼紫外暴露强度差异的研究较少。本研究选择中国纬度相近但海拔不同的 2 个地点四川西昌(海拔 1 515 m)和浙江绍兴(海拔 9 m)作为监测点,利用旋转式眼部紫外线暴露模型,将紫外光线光谱仪探头置于模型眼内瞳孔处,模拟人体在户外站立状态下,监测眼部正对太阳朝向的紫外线暴露状况。旨在了解不同海拔高度眼紫外线暴露的日间分布规律及随太阳高度角变化的差异,为不同海拔地区的眼紫外线防护提供实验依据。结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 主要仪器 AvaSpec - 2048 × 14 - 2 - USB2 型光纤光谱仪(荷兰 Avantes 公司),采用 2048 × 14 个像素的高紫外线灵敏度 CCD 面阵探测器,光纤光谱仪的信噪比约在 500 dB,杂散光 <0.1%;光谱仪探头为余弦校正器(CC-UV/VIS),有效直径在 3.9 mm,探头为特氟龙(聚四氟乙烯)漫射材料制成,可对 200 ~400 nm 谱段紫外线进行优化,可接收 180 度视角范围内的紫外线;紫外线检测仪的一个探头监测环境紫外辐射强度,另一个探头监测眼部受到的紫外辐射强度。眼视角(field of the view, FOV)范围约为 139°(上视角约为 58°,下视角约为 81°);仪器由英国国家物理实验室校正,校正紫外线波长宽度为 200 ~400 nm。监测模型为旋转式眼部紫外辐射暴露模型(中国医科大学公共卫生学院环境卫生教研室),它具有逼真面部特征的人体模型,由头部模型、支架及转盘构成,头顶至地面约为 1.70 m,模型眼部中心至地面约为 1.60 m,两眼轴中心之间距离约为 6.0 cm,眉弓上沿位置距眼表面水平间距约为 0.6 cm。

1.2 方法

1.2.1 监测地点与时间 四川省西昌市(海拔约 1 515 m,27.87°N,102.26°E)最高太阳高度角(solar elevation angle, SEA)日为夏至日,但由于 6 月当地雨水较多,监测选择在 7 月进行;浙江省绍兴市绍兴县斗门镇(海拔约 9 m,30.1°N,120.6°E),夏至日出现在 6 月份,正处于多雨季节,选择在 5 月底监测。监测地点均在以水泥材料铺设而成的楼房楼顶上,其视野范围内无遮挡物。

1.2.2 监测气象条件 监测日选择在晴朗天气、天空中尽可能无云,地平线附近有少量云可忽略,该地区的空气质量是一个相对未受污染的状态,监测当日绍兴市环境空气质量为良(AQI 为 51 ~100),西昌市为良(AQI 为 51 ~100)。

1.2.3 监测方法 监测时间从太阳升起开始到日落结束,每次监测开始位置为监测模型正对太阳方向,间隔 10 min;紫外辐射强度单位为 μW/cm^2。在 2 个地区连续监测 3 d,并从中选择数据最好的一天进行处理,监测时间为北京时间(central standard time, CST)7:00到 18:00;太阳高度角覆盖范围在 10°到 82°。

1.3 数据处理与分析 将紫外线监测仪器监测获得的数据通过仪器自带的“AvaSoft 7.4 for USB 2.0”软件处理为 Microsoft Excel 格式,同时将环境紫外辐射强度数据和眼部暴露紫外辐射强度数据分开。使用 OriginPro 8.0 软件整理 60 个不同采样点的紫外线强度数据,应用 OriginPro 8.0 软件计算全波段范围的强度积分数值,其中紫外线 B 段(ultraviolet radiation B, UVB)强度数值范围在 300 ~ 320 nm,紫外线 A 段(ultraviolet radiation A, UVA)强度数值范围在 320 ~400 nm;将模型正对太阳作为眼紫线暴露的最大状态,其监测所得数据作为眼紫外线暴露的最大值。

2 结 果

2.1 西昌和绍兴地区眼部及环境紫外辐射强度的日间分布

2.1.1 西昌和绍兴地区眼 UVA 和环境 UVA 暴露强度日间变化(图 1、2) 西昌和绍兴地区环境 UVA 强度变化呈单峰型分布,UVA 峰值分别为 5 871.71 μW/cm^2 和 5 900.15 μW/cm^2,分别出现在 81.36° SEA、13:30 左右和 80.31°SEA、12:20 左右。在最大暴露状态下,西昌和绍兴地区眼部紫外线暴露强度日间分布呈双峰型分布,西昌和绍兴地区眼部 UVA 峰值分别为 2 181.91 μW/cm^2 和 2 003.6 μW/cm^2,峰值的 2 个时间点分别为 10:30、15:40 和 8:40、15:30 左右,SEA 范围分别为 51°、56°和 41°、45°左右。

2.1.2 西昌和绍兴地区眼 UVB 和环境 UVB 暴露强度日间变化(图 3、4) 西昌和绍兴环境 UVB 暴露强度日间分布呈单峰型分布,两地峰值分别为 384.53 μW/cm^2 和 339.63/μW cm^2,西昌比绍兴高 13.2%,分别出现在 81.36° SEA、13:30 左右和 80.31°SEA、12:20左右;两地环境UVB强度均随

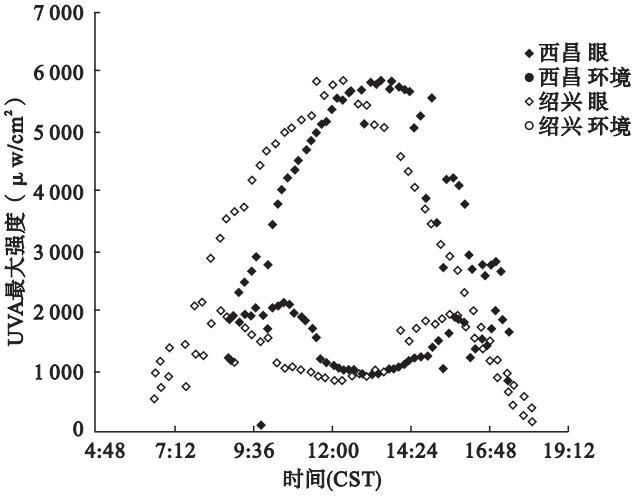

图 1　西昌和绍兴地区眼 UVA 和环境 UVA 最大暴露强度日间分布

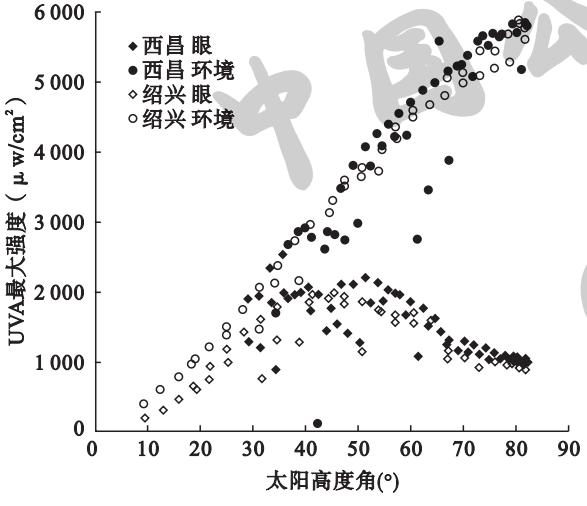

图 2　西昌和绍兴地区眼 UVA 和环境 UVA 最大暴露强度随太阳高度角变化

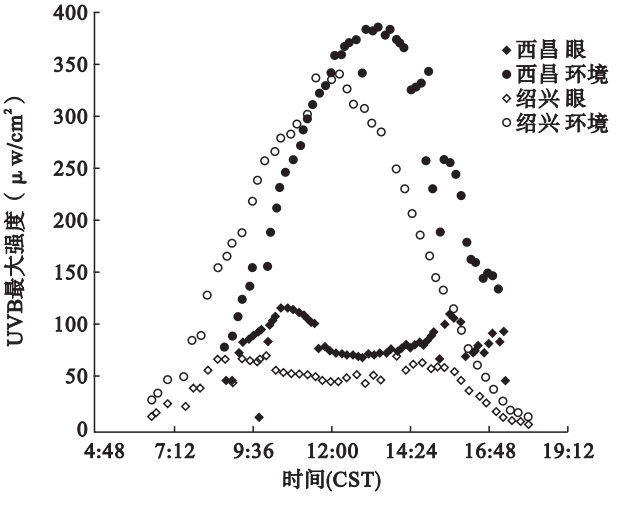

图 3　西昌和绍兴地区眼 UVB 及环境 UVB 最大暴露强度日间分布

SEA 上升而增高，在相同太阳高度角下，西昌普遍高于绍兴；在最大暴露状态下，两地眼部 UVB 暴露强度日间分布均呈双峰型分布，且西昌普遍高于绍兴，两地峰值分别为 117.2 μW/cm² 和 72 μW/cm²，西昌比绍兴高 64.8%，峰值的 2 个时间点分别为 10:40、15:40 和 10:00、14:40 左右，SEA 分别为 53°、56°和 60°、63°左右。

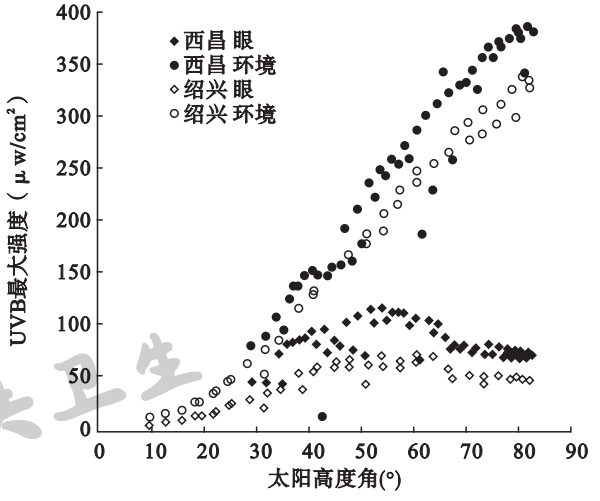

图 4　西昌和绍兴地区眼 UVB 和环境 UVB 最大暴露强度随太阳高度角变化

2.2　西昌和绍兴地区眼与环境紫外辐射强度暴露比随太阳高度角变化

2.2.1　西昌和绍兴地区眼 UVA 与环境 UVA 暴露比随太阳高度角变化（图 5）　在最大暴露状态下，西昌和绍兴地区眼部 UVA 与环境 UVA 暴露比峰值分别为（0.79，33°～40° SEA）和（0.80，24°～31° SEA），之后随着 SEA 增加比值不断减小；在 33°～81° SEA 范围内，两地暴露比基本相近。

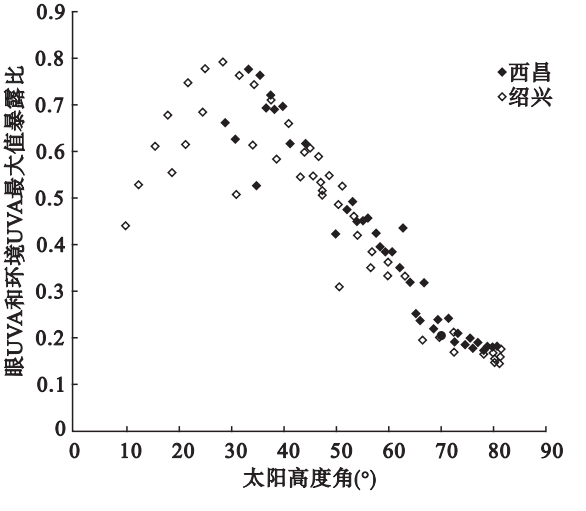

图 5　西昌和绍兴眼部 UVA 与环境 UVA 最大暴露比随太阳高度角变化

2.2.2　西昌和绍兴地区眼 UVB 与环境 UVB 暴露比随太阳高度角变化（图 6）　在最大暴露状态下，西昌和绍兴地区眼部 UVB 与环境 UVB 暴露比峰值分别为（0.68，33°～37° SEA）和（0.55，12°～24°

中国公共卫生 CPH

SEA),之后随着 SEA 增加比值不断减小。在所有 SEA 范围内,暴露比西昌均明显高于绍兴,这与两地区眼部 UVA 与环境 UVA 暴露比变化规律明显不同。

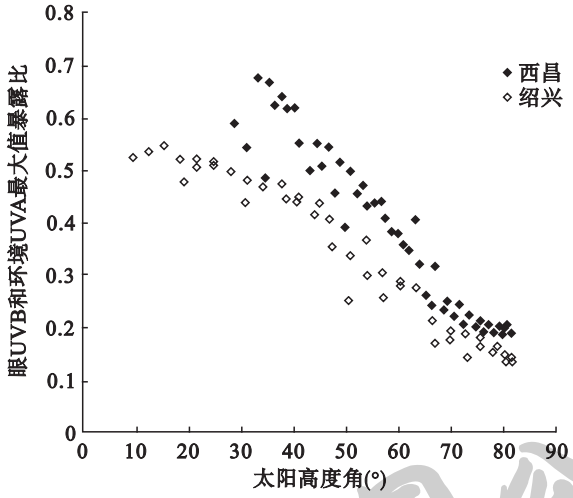

图 6　西昌和绍兴地区眼部 UVB 与环境 UVB 最大暴露比随太阳高度角变化

3　讨　论

在本研究中,环境空气质量是监测数据准确性的重要影响因素。云量多少、雾霾程度强弱[8-9]均会影响到环境紫外线辐射强度,从而使得眼部紫外辐射暴露强度受到影响。本研究在进行监测时选择晴朗天气、天空中尽可能无云或少云、大气中无雾霾等空气污染的日子进行。绍兴监测日当天天空无云,空气污染指数(air pollution index, API)为 62,空气质量状况为良;西昌地区全年空气质量优良天数比例达 100%,监测日当天天空少云,空气质量状况为良。本研究选择的两个城市纬度接近,均在北纬 30°左右,以减少纬度、云量、空气质量等因素对环境紫外辐射强度的影响,以确定两地区眼部紫外辐射暴露强度的差异是由于海拔高低的不同所导致的。

通过对模型正对太阳朝向的数据进行分析,以此反应人体在户外站立姿势下的最大暴露状态。结果显示,当模型正对太阳朝向时,两地区眼 UVA 和 UVB 暴露强度的日间变化均为十分明显的双峰型分布。在 41°~62°太阳高度角范围内,正对太阳朝向可接受到最大眼部紫外线暴露。这有别于环境最大值出现在太阳高度角最高时。提示,当人们在户外活动时除应避免正午太阳最高时的紫外辐射,还应注意太阳高度角 41°~62°时的眼部保护,从而更好地预防紫外辐射对眼睛产生的伤害。

本研究结果显示,在 UVB 段眼部紫外暴露强度和环境紫外辐射强度中,当太阳高度角相近时,最大暴露状态下,眼与环境紫外线暴露强度西昌均普遍高于绍兴。而且眼 UVB 与环境 UVB 暴露比西昌均高于绍兴地区(西昌暴露比最大值为 0.68,绍兴暴露比最大值为 0.55),说明西昌地区因高海拔地区的大气层稀薄,空气污染较少,空中颗粒物和气溶胶含量较低,对 UVB 紫外线的吸收作用也相应较弱。这也提示高海拔地区的人们眼部生物组织受到的紫外辐射强度比低海拔地区的人们更大。研究显示,西昌和绍兴所在省份四川和浙江的年龄调整白内障伤残患病率(四川:0.965%;浙江:0.600%)及伤残调整寿命年(disability adjusted life years, DALY 四川:255;浙江:96)2 项指标均显示高海拔的四川省高于低海拔的浙江省[10-11]。本研究较之前面单纯用环境紫外线暴露量来评价人群的健康效应更符合眼的实际暴露状态。可为不同海拔地区人群的眼紫外线的最大暴露定量和防护提供依据。

参考文献

[1] Pfeifer MT, Koepke P, Reuder J. Effects of altitude and aerosol on UV radiation[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111(D01203): 1-11.
[2] Diffey BL. Human exposure to solar ultraviolet radiation[J]. J Cosmet Dermatol, 2002, 1(3): 124-130.
[3] Godar DE, Wengraitis SP, Shreffler J, et al. UV doses of Americans[J] Photochem Photobiol, 2001, 73(6): 621-629.
[4] Scotto J, Cotton G, Urbach F, et al. Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States, 1974 to 1985[J]. Science, 1988, 239(4841 Pt 1): 762-764.
[5] Yu JM, Yang DQ, Wang H, et al. Prevalence and risk factors of lens opacities in rural populations living at two different altitudes in China[J]. Int J Ophthalmol. 2016; 9(4): 610-616.
[6] Sydenham MM, Collins MJ, Hirst LW. Measurement of ultraviolet radiation at the surface of the eye[J]. Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1997, 38(8): 1485-1492.
[7] Rosenthal FS, Phoon C, Bakalian AE, et al. The ocular dose of ultraviolet radiation to outdoor workers[J]. Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1988, 29(4): 649-656.
[8] 尤思喻,柳中明. 东亚地面紫外线通量的气候特征性相关因子的气候关联性探讨[J]. 大气科学,1997,36(1):63-81.
[9] 李日邦,王五一,谭见安,等. 我国人口老龄化发展的阶段、趋势和区域差异[J]. 地理研究,1999,18(2):113-223.
[10] Wang Y, Yu J, Gao Q, et al. The relationship between the disability prevalence of cataracts and ambient erythemal ultraviolet radiation in China[J]. PLoS One, 2012, 7(11): e51137.
[11] Zhu M, Yu J, Gao Q, et al. The relationship between disability-adjusted life years of cataracts and ambient erythemal ultraviolet radiation in China[J]. J Epidemiol, 2015, 25(1): 57-65.

收稿日期: 2017-01-16　　(解学魁编辑　韩仰欢校对)