



目 录

一、摘要	
中文论著摘要	1
英文论著摘要	5
二、英文缩略语	11
三、论文	
论文一、旋转人体模型不同解剖部位日光紫外线暴露日间分布研究	
前言	12
材料与方法	14
研究结果	18
讨论	44
结论	50
论文二、旋转人体模型不同解剖部位在相对太阳不同朝向角度的紫外线暴露分布研究	
前言	52
材料与方法	54
研究结果	56
讨论	123
结论	125
论文三、旋转人体模型不同解剖部位日光紫外线暴露拟合计算	
前言	126
材料与方法	128
研究结果	129
讨论	134
结论	135
四、本研究创新性的自我评价	136
五、参考文献	137

六、附录

综述	143
在学期间科研成绩	160
致谢	161
个人简介	162

旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露规律研究

前 言

日光紫外辐射 (ultraviolet radiation, UVR) 一直是人类生存环境的一部分, 是人们每天接触的重要环境因子。适度紫外线具有促进维生素 D 合成、防癌等作用, 过量的紫外线暴露会对人类健康产生许多直接和间接的影响, 例如皮肤癌、白内障、免疫抑制和光老化等。WHO 报告指出, 全球每年因过度紫外线暴露损失 150 万伤残调整寿命年 (相当于全球疾病负担的 0.1%)。其中主要的两个公共健康问题是皮肤癌和白内障。

由于臭氧层的破坏, 人们预期寿命的延长, 行为生活方式的转变等等使得人们紫外线终生暴露似乎要比以前多, 对紫外线暴露的定量和防护提出了更高的要求。水平面日光紫外线日间变化规律已众所周知, 但更为有效的定量和防护要建立在对了解个体各解剖部位紫外线暴露日间变化规律的基础之上。因此, 为了阐明各解剖部位日光紫外线暴露日间分布的变化, 本研究采用旋转人体模型模拟额部、眼部、颊部、肩部以及胸部的解剖结构, 在沈阳 (北纬 $41^{\circ}51'$, 东经 $123^{\circ}27'$) 和三亚 (北纬 $18^{\circ}19'$, 东经 $109^{\circ}42'$) 地区的日间每间隔 15min 进行了各季节日间紫外线暴露的监测, 获得这些部位的紫外线暴露剂量及其在日间分布的变化, 进而阐明各个解剖部位日间紫外线暴露状况及其高暴露时间段, 以有利于引导人们合理安排户外活动时间, 或针对不同时段的高暴露部位采取相应的防护措施, 更有效的避免紫外损伤。

公共卫生当局在过去的几十年已作出了很大努力, 旨在向公众宣传过度日光紫外暴露的危害。但考虑到地理位置、季节、个体行为等信息时, 还要发展有针对性的太阳紫外线健康指导方针。为了探讨一种简单有效的防护措施, 本研究对沈阳和三亚地区旋转人体模型在 $(0, 360^{\circ}]$ 范围内, 每 30° 间隔不同朝向角度下的额部、眼部、颊部、肩部和胸部的日间紫外线暴露进行了实地监测, 以阐明特定

朝向作用对人体具体部位接受太阳紫外辐射的影响，提升公众寻找阴影的防护意识，改变公众以往忽视回避户外活动中紫外线过度暴露的行为，倡导公众合理回避直射阳光，积极正确使用太阳防护措施，有效避免紫外损伤。

本研究还建议在个体定量研究中，不同季节、不同日间时段的暴露比率不同，分时间段、季节进行个体 UV 累积暴露的评估可能更有针对性，更为细致，特别是对于在早晚时段进行户外活动为主的特殊暴露人群，UV 累积暴露评估更为如此。希望通过对包括眼部在内的不同解剖部位紫外线暴露剂量的定量，对紫外线暴露剂量与相关疾病间剂量反应关系的评价提供帮助。

材料与amp;方法

一、旋转人体模型

旋转人体模型分为两部分：上半部分为人体模型，除眼部 SUB-T 紫外线监测仪贴合在右眼眼眶内，其它 SUB-T 紫外线监测仪紧密贴合固定在额部、左颊部、左右两个肩部和前胸部各解剖位置表面以进行紫外线监测；下半部分是装有电源的底座，稳定模型并为其旋转提供动力。电源开启后模型能以其垂直中心为轴水平自动匀速旋转，旋转速度为 6 秒/转。电源未开启时可人工手动旋转。

二、监测方法

本研究在辽宁省沈阳市(北纬 41°51′，东经 123°27′，平均海拔 50m)的冬至、春、秋分和夏至前后一周，以及海南省三亚市(北纬 18°19′，东经 109°42′，平均海拔 3.55-4.5m)的 5 月中下旬以及冬至前后，每间隔 15min 进行各解剖部位全天日间紫外线暴露的监测，所有监测均在晴朗少云天气下进行。此外，两个紫外线监测仪分别水平放置和垂直吊挂于离旋转人体模型不远的无遮挡处(全天监测期间太阳不被遮挡)，以测量在相同时段的水平环境日光紫外线辐射剂量及垂直面日光紫外线暴露剂量作为比较。其中旋转人体模型不同解剖部位日光紫外线暴露日间分布研究两地共监测 112 个监测日，相对太阳不同朝向角度下旋转人体模型不同解剖部位的紫外线暴露研究两地共监测 12 个监测日。此外，为了比较拟合计算的结果，在浙江省绍兴市马山镇(北纬 30°01′，东经 120°58′，平均海拔 5~6m)

的2009年9月秋分前后进行实地监测,方式如上两个地区。

三、数据处理与分析

利用SPSS13.0、Microsoft Excel 2003对监测数据进行统计分析及相应的图表处理。

研究结果

1、额部、肩部的日光紫外线暴露日间变化规律与对照的水平环境紫外线日间变化规律相似,都在当地正午前后达到单峰值。

2、眼部和颊部除沈阳地区的冬季与对照的水平环境紫外线日间变化规律相似仍为单峰值外,在其余各监测时段与垂直面紫外线日间变化规律相近,均呈现双峰值分布或近似平台分布。

3、胸部除三亚地区的夏季出现显著的双峰分布外,其余各监测时段与对照的水平环境紫外线日间变化规律相似,都在当地正午前后达到单峰值。

4、在全部太阳高度角范围内,额部和肩部的日光紫外线暴露随太阳高度角升高而增加,胸部最高暴露出现在太阳高度角 60° 左右,眼部和颊部的最高暴露分别出现在太阳高度角约 30° 和 40° 左右。

5、额部、肩部和水平环境紫外线均在正午前后最强,在正午前后2小时,额部、肩部和水平环境最低接受全天8小时紫外线暴露总量的54.79%。而眼部和颊部及垂直面在早晚一段时间的暴露相对较高。

6、除了冬季一天中额部日光紫外线暴露略高于肩部以外,各解剖部位的日光紫外线暴露严重程度依次为:眼部<颊部<胸部<额部<肩部。各解剖部位日光紫外线日累积暴露比率大小关系也依次为:眼部<颊部<胸部<额部<肩部。

7、沈阳地区各季节暴露比率大小为:冬季>春、秋季>夏季,三亚地区暴露比率为:冬季(一月)>夏季(五月)。暴露比率存在显著季节差异,冬季最大,夏季较低,个体紫外线暴露评估中应采用不同季节的暴露比率。

8、在正面对太阳的一定朝向角度范围内,眼部紫外线暴露在太阳高度角约 30° 时达到峰值,而在背对太阳的一定朝向角度范围内,其紫外线暴露在全太阳高度角范围内随高度角升高而增加。

9、朝向角度显著影响不同解剖部位的紫外线暴露，对于眼部，偏离正对太阳 30° 将有效降低眼部紫外线暴露。

结 论

1、旋转人体模型的额部、肩部紫外线暴露各季日间变化特点与水平环境紫外辐射相近，呈单峰钟型曲线分布；胸部紫外线暴露各季日间变化，除三亚地区夏季呈显著双峰型曲线分布外，其余各季日间变化特点也与水平环境紫外辐射相近，呈单峰钟型曲线分布；而眼部和颊部紫外线暴露与环境紫外辐射各季日间变化特点不同，其更接近于垂直面紫外辐射的日间变化，除沈阳地区冬季呈单峰钟型曲线分布外，其余各季日间变化特点为双峰型曲线分布。

2、额部和肩部紫外线暴露随太阳高度角升高而增加，胸部紫外线暴露峰值出现在太阳高度角约为 60° 时，眼部和颊部紫外线暴露峰值分别出现在日间早晚时段太阳高度角约为 30° 和 40° 时。

3、各解剖部位的紫外线暴露比率存在显著季节差异，冬季最大，夏季较低，个体紫外线暴露评估中应采用不同季节的暴露比率。

4、朝向角度显著影响眼部紫外线暴露，个体主观回避日光 UV，偏离正对太阳 30° 将有效降低眼部 UV 暴露。

5、地理位置、季节等因素决定了当地太阳高度角范围，进而影响了个体不同解剖部位紫外线暴露日间和季节间的分布，应根据各地实际情况制定相应的太阳紫外线健康指导方针。

关键词

紫外线；暴露；监测；朝向；太阳高度角

• 英文论著摘要 •

Research on Solar Ultraviolet Radiation at Typical Anatomical Sites with Rotating Manikins

Preface

Solar ultraviolet (UV) radiation is an important environmental factor that affects human health. Moderate UV radiation triggers vitamin D synthesis in the skin, contributes to protection against breast cancer, prostate cancer and non Hodgkin's lymphoma et al. However, excessive solar UV radiation has various direct and indirect effects on human health, which may lead to skin cancer, cataract, immune suppression, photoaging, and other ailments. Based on data from 2006, the World Health Organization reported that globally around 1.5 million Disability Adjusted Life Years (0.1% of the total global burden of diseases) are lost every year due to excessive UV exposure. Skin cancer and cataract are among the primary public health problems and are consequently of special concern.

The diurnal variation of solar UV radiation on a horizontal surface is well understood, but little attention has been paid to the study of this variation at anatomical sites of interest. The understanding of diurnal variations of UV radiation at anatomical sites may be more helpful in developing ways to protect humans from the harmful effects of UV radiation. Due to the depletion of ozone, the increasing life expectancy and the changing modern life style, it is likely that our lifetime exposure to UV radiation is greater than that of previous generations which may further increase UV-related disease burden. These situations put forward higher requirements for the quantification and protection of the individual UV exposure. Therefore, to characterize the diurnal variations, the UV exposure values are measured at 15min intervals using Solar-UV Sensors and a rotating manikin in Shenyang (41°51'N, 123°27'E) and Sanya

(18°19'N, 109°42'E), P R. China for each seasons. The diurnal variations in solar UV radiation at the shoulder, the forehead, and the chest were analyzed. An improved understanding of solar UV exposure variation will be helpful in deriving recommendations for how to avoid excessive exposure to certain parts of the body.

Public health authorities have made extensive efforts to educate the public about the risks of excessive solar UV exposure over the past several decades. Recognition of the regional, seasonal and individual messages, a more targeted policy for solar-UV health communications needs to be developed. In order to explore a simple and effective protective measures, the orientable manikin is programmed manually to scan 12 positions with horizontal orientation and 30° steps of azimuth angle (0, 360°] which started form the position of oriented towards the sun at each time. By clarify the specific role of the orientation to the UV exposure of anatomic sites, it will enhance the public awareness of protection for the shadow, change the public's behavior of neglecting to avoid excessive exposure in outdoor activities of the past, and advocate the public to avoid direct sunlight as well as correct use of sun protection measures actively. These can effectively prevent UV damage.

This study also suggested that quantifying individual UV exposure by the exposure ratio of different seasons, different times during the day, its assessment may be more focused and more detailed, especially for the special groups of outdoor activities in the morning and evening hours. Furthermore, by quantifying the exposure doses at different anatomical sites, including the eyes, the dose-effect relationship between UV exposure dose and disease profile can be better understood.

Materials and Methods

1. Rotating manikin

The rotating manikin consists of two parts. The upper part is the manikin and the lower part is a powered stage. The UV dose was measured using a set of Solar-UV Sensors attached to anatomical sites of interest on the manikin, included the forehead, the right eye, the left cheek, the shoulders, and the chest. The lower part supports and

automatically rotates the manikin at a uniform rate. When the power is turned on, the rotational speed of the manikin was one rotation every six seconds for this study. When the power is turned off, the manikin could be rotated manually.

2. UV exposure measurement

The dose measurement data in Shenyang, Liaoning ($41^{\circ}51'N$, $123^{\circ}27'E$, mean altitude of 50m) was collected during one week around the equinoxes and solstices and the data in Sanya, Hainan ($18^{\circ}19'N$, $109^{\circ}42'E$, mean altitude of 3.55-4.5m) was collected in mid and late May as well as around the winter solstice. The data was recorded at 15 min intervals. All of the measurements were acquired on sunny days with clear skies or minimal cloud cover. Two UV sensors were also placed horizontal or vertical in an exposed, unobstructed area near the rotating manikin. These two sensors were activated over the same experimental period in order to measure the ambient solar UV dose (the horizontal one) and the UV exposure on the vertical plane (the vertical one) in the locality of the manikin as control measurement. The cumulative solar UV at typical anatomical sites were measured for 112 days in total, and the measurement of UV exposure at different orientations was conducted for 12 days in total. In addition, to compare the fitting calculation results to the measurements data, the UV exposure to the manikin in Shaoxing, Zhejiang ($30^{\circ}1'N$, $120^{\circ}58'$, mean altitude of 5-6m) was measured during about one week around the autumnal equinox in 2009, and the field monitoring was conducted as that above-mentioned methods in Shenyang and Sanya regions.

3. Data analysis

The unscrambling, recording, checking and analysis of all data were executed by the software of Microsoft Excel 2003 and SPSS13.0.

Results

1. The diurnal variations in solar UV radiation at the forehead and the shoulder were similar to those associated with a horizontal control measurement, which reached

a single UV peak exposure dose during the measurement made at around solar noon.

2. The diurnal variations at the eye and the cheek exhibited bimodal distributions, with two peaks or platform distributions in all the seasons in Shenyang and Sanya except in winter in Shenyang, which were much similar to those associated with the vertical plane. In winter in Shenyang, the diurnal variations at the eye and the cheek were both unimodal distributions as the horizontal plane.

3. The diurnal variations in solar UV radiation at the chest were similar to those associated with a horizontal measurement except in May in Sanya. In May in Sanya, the diurnal variations at the chest exhibited bimodal distributions, with two peaks significantly.

4. In the whole solar elevation angle range, the increase in UV exposure at the forehead and the shoulder were following the rise of the angles. The UV exposure peaks at the eye, the cheek and the chest were measured at solar elevation angle about 30°, 40° and 60°, respectively.

5. The solar UV exposure at the forehead, shoulder and on the horizontal plane was strongest in the 4h midday period. During this period, they all received more than 54.79% of the total 8h UV exposure. While the solar UV exposure at the eye and the cheek were relatively high during the period of in the early morning and late afternoon.

6. The five anatomical sites can be ordered by increasing daily UV exposure on the selected measurement days as follows: eye, cheek, chest, forehead, and shoulder. However, the dose at the forehead was slightly higher than at the shoulder in winter in Shenyang. when the sorting criterion was changed to the ratio between the UV exposure of a particular anatomical site, the order for these sites remained unchanged.

7. The seasons can be ordered by increasing UV exposure ratios in Shenyang, it was as follows: winter>spring and fall>summer. In Sanya, it was winter (in January) >summer (in May). There was a significant seasonal difference in the exposure ratios, the maximum was in winter and the minimum was in summer. The assessment of individual UV exposure should adopt in different exposure ratios of seasons.

8. In the front of the sun towards a certain orientation of view, the eye reach the peak in the sun elevation angle of about 30° during the day. While in the back towards a certain orientation of the sun, the UV exposure of the eye rise with the solar elevation angle increased in the whole range of solar elevation angle.

9. The orientation impact the UV exposure of different anatomical parts significantly. For the eyes, the orientation of straiied from the sun about 30° will effectively reduce UV exposure.

Conclusions

1. The diurnal variations in solar UV radiation at the forehead and the shoulder were similar to those associated with a horizontal control measurement, which were exhibited unimodal distributions; the diurnal variations at the chest exhibited unimodal distribution in all the seasons except in summer in Sanya that it was bimodal distributions; while The diurnal variations at the eye and the cheek were much similar to those associated with the vertical plane, which exhibited bimodal distributions, with two peaks in all the seasons except in winter in Shenyang that it was unimodal distribution.

2. The UV exposure doses at the forehead and shoulder sites increased with increasing solar elevation angle. The UV exposure peaks at the chest was measured at solar elevation angle about 60° . The UV exposure peaks at the eye, the cheek were measured at solar elevation angle about 30° and 40° , respectively.

3. The daily exposure ratios were different between the seasons. While the daily UV exposure ratios in the summer were the lowest, the daily ratios in the winter were the highest across the various anatomical sites. It's reasonable that quantifying individual UV exposure by the exposure ratio of different seasons.

4. The orientation impact the UV exposure of different anatomical parts significantly. For the eyes, the orientation of straiied from the sun about 30° will effectively reduce UV exposure.

5. Geographical location, seasonal and other factors determine the scope of the

local solar elevation angle, and then influence seasonal diurnal distribution of the UV exposure at various anatomical sites of the individual. Based on the actual situation, corresponding more targeted solar ultraviolet health guidelines needs to be developed.

Key Words

ultraviolet radiation; exposure; monitors; orientation; solar elevation angle

• 英文缩略语 •

缩略语	英文全称	中文全称
UVR	Ultraviolet Radiation	紫外辐射
WHO	World Health Organization	世界卫生组织
MED	Minimal Erythema Dose	最小红斑剂量
NBS	National Bureau of Standards	美国国家标准局
CST	China Standard Time	北京时间
SAA	Solar Azimuth Angle	太阳方位角
SEA	Solar Elevation Angle	太阳高度角
UVI	Global solar UV index	太阳紫外线指数

旋转人体模型不同解剖部位 日光紫外线暴露日间分布研究

前 言

日光紫外辐射 (ultraviolet radiation, UVR) 一直是人类生存环境的一部分, 是人们每天接触的重要环境因子。由于臭氧层的破坏, 人们预期寿命的延长, 行为生活方式的转变等等使得人们紫外线终生暴露似乎要比以前多^[1]。适度紫外线具有促进维生素 D 合成^[2]、防癌等作用^[3], 过量的紫外线暴露会对人类健康产生许多直接和间接的影响, 例如皮肤癌、白内障、免疫抑制和光老化等^[4-7]。WHO 报告指出, 全球每年因过度紫外线暴露损失 150 万伤残调整寿命年 (相当于全球疾病负担的 0.1%)^[6]。其中主要的两个公共健康问题是皮肤癌和白内障^[6]。这也吸引了全球范围内对此研究的关注。

目前为止, 紫外线的监测和评估主要是在环境日光 UV 辐射水平监测的基础上进行的, 测量上升流或下降流的 UV 光谱辐射, 其研究比较广泛, 主要来自于政府 (气象部门)、科学机构、大学和私人团体^[7-17], 目前, 美国国家航空航天局已实现对每日全球范围内臭氧总量及环境紫外线辐射量的监测。世界气象组织与不同国家和机构合作建立了全球大气监测项目, 其中 UV 辐射监测网络分布在七大洲, 包括中国在内的 40 多个国家和地区参加了全球 UV 辐射监测, 可以为科学研究提供易得、高质量的数据。

但是生物有效日光 UV 辐射依赖于接收者关于太阳的取向定位, 人类和动植物的 UVR 接收面很多时候取向于太阳正交面、垂直面或其它倾斜面, 其 UV 辐射暴露量和分布与水平面不同。因此, 除了水平面环境 UV 辐射的监测, 各地研究者还进行了一些系统的不同位面 UV 暴露水平的测量, 模拟人体不同解剖位置相对应的各种倾斜面^[18-24], 提供了更为贴近个体 UV 暴露真实水平的数据, 同时证

实了不同位面 UV 暴露量和分布与水平面不同，用环境 UV 辐射评价个体暴露是不恰当的。

除了倾斜面的不同，人体不同解剖位置 UV 暴露还有其自身的特点。暴露于天然紫外辐射场的人体，眼球在眶内，受到眼睑、眉弓、鼻梁、颊部等的遮挡或反射^[25,26]，胸部、肩部受到头部遮挡等等。此外，人们在日常生活中不可能一直处于静止或者直立状态，个体从事日常活动有许多姿势和体位，处于不断变化之中，且人体随机暴露于不同的朝向。例如，散步、园艺和农田耕种，虽然他们都是户外进行的活动，却有不同姿势，个体不同解剖位置的 UV 暴露差别巨大。正是人体具有的这种解剖结构和行为特征，改变了最终到达个体损伤靶部位的 UV 辐射量^[27]。在紫外线暴露评价上，环境紫外辐射水平很难反映人体紫外线暴露靶器官的解剖学特征，很难排除个体因年龄、行为生活方式和职业等因素对个体紫外线暴露量的潜在影响。

因此，在定量实验研究中，研究者在努力提高人类日光 UV 暴露测量的精确度。有研究者制作了人体模型^[28-35]进行个体 UV 暴露的模拟监测。现已有的研究结果大多为头部和腿部的人体模型，姿势也主要是简单的坐姿、站姿、跪姿等，科学家一致认为仍有必要对到达人体不同解剖部位的 UV 暴露进行精确定量，建议进行更多模拟现实人体暴露的适当模型实验^[30]，以获得个体其它解剖部位和日常生活中各种姿态下的 UV 暴露值。根据暴露比率，可以建立计算人体特定解剖部位长期 UV 暴露的数学模型^[33]，而且避免了真实个体 UV 暴露监测所可能引发的过度 UV 暴露等伦理学问题。这是皮肤肿瘤和其它日光 UV 辐射相关疾病的病因学研究以及日光 UV 辐射危害性确定和评价可靠性的关键。

此外，水平面日光紫外线日间变化规律已众所周知，而对各解剖部位紫外线暴露的日间变化规律研究较少。进一步阐明各个解剖部位日间紫外线暴露状况，将有利于引导人们合理安排户外活动时间，或针对不同时段的高暴露部位，即防护“热点”采取相应的防护措施，更有效的避免紫外线损伤。此外，我们希望通过包括眼部在内的不同解剖部位紫外线暴露剂量的定量，对紫外线暴露剂量与相关疾病间剂量反应关系的评价提供帮助。

因此，我们根据采用标准模拟状态监测日间全程紫外线暴露的设想，以人一

生面对各方位的概率基本均等为研究的出发点,采用旋转人体模型作为模拟个体紫外线暴露的标准状态。旋转人体模型从解剖结构上再现了个体的光暴露状态,旋转的方式恰好用群体面向各方位概率分布的均衡性替代了单一个体暴露朝向的随意性,以普遍人群的标准暴露状态评价个体紫外线暴露剂量。这种监测方式代表的不是一个个体、一个年龄段或一种职业,而是代表整个人群的标准暴露状态。

为了阐明各解剖部位日光紫外线暴露日间分布的变化,本次研究选择沈阳市和三亚市为监测地点,于2005年3月至2009年6月不同季节时段,采用旋转人体模型监测额部、眼部、颊部、肩部以及胸部晴好天气下日间全程紫外线暴露状况,揭示了上述各解剖部位紫外线暴露及水平环境紫外线在日间和四季的分布,以及其相互关系。

材料和方法

一、旋转人体模型

旋转人体模型分为两部分:上半部分为人体模型;除眼部 SUB-T 紫外线监测仪贴合在右眼眼眶内,其它 SUB-T 紫外线监测仪紧密贴合固定在额部、左颊部、两个肩部和前胸部各解剖位置表面以进行紫外线监测,如图 1 所示;下半部分是装有电源的底座,稳定模型并为其旋转提供动力。电源开启后模型能自动以其垂直中心为轴水平匀速旋转。旋转人体模型的旋转速度为 6 秒/转。电源未开启时可人工手动旋转。

二、紫外线监测仪及其校正

(一) 紫外线监测仪

本研究使用的紫外线监测仪是产于日本的 Solar-UV Sensor (Model: SUB-T, Toray Industries, Tokyo, Japan),如图 2 所示。其作用光谱为 280-390nm,见图 3。紫外线监测仪可以提供任意时间的瞬间紫外线暴露强度和任意时间段的积分紫外线暴露累积剂量。其产品具有高敏感度,温度适应范围宽,入射角度相应曲线与理论曲线接近重合的特点。SUB-T 紫外线监测仪暴露于可见光(400 nm 以上)波段时的相对敏感度为零。当环境温度低于 50°C 时,紫外线监测仪的相对敏感度接近

100%，而当环境温度达到 70°C 时，其相对敏感度也不低于 95%。监测仪角度响应范围为 $[-90^{\circ}, 90^{\circ}]$ ，与理想余弦响应曲线接近，具备较好的余弦响应特性。且可与紫外线生物剂量 MED (Minimal Erythema Dose, 最小红斑剂量) 转换，为进一步解读紫外线暴露定量的生物效应提供了极好的技术支持。



图 1，旋转人体模型

旋转人体模型模拟个体紫外线暴露监测的解剖部位为：(1)前额；(2)右眼；(3)左颊；(4)左右肩(在结果数据中，采用左右肩平均值)；(5)胸。模型眼部紫外线监测仪位于右眼眶内。



图 2，SUB-T 紫外线监测仪

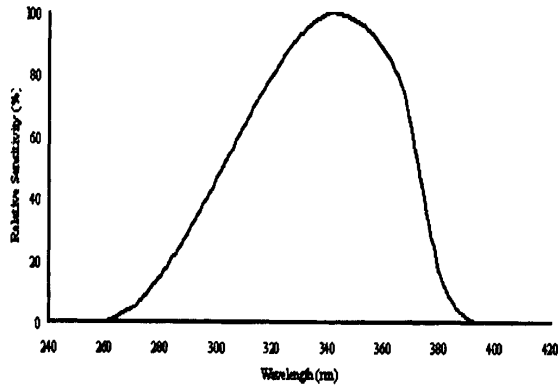


图3, SUB-T紫外线监测仪作用光谱

(二) 仪器的校对

出厂前每个紫外线监测仪均按照NBS (National Bureau of Standards, 美国国家标准局)的校对标准进行校正, 校对系统见图4。为了监测和减少系统误差, 每次监测前在晴朗天气下, 将所有紫外线监测仪同时、同地、同角度下水平放置, 全天8小时不遮挡暴露于日光下, 记录各监测仪日间累积暴露剂量, 计算其均值, 以实际暴露剂量读数与均值之比计算各监测仪校正系数。所有监测仪同条件下读数一致性都在 $\pm 5\%$ 内。

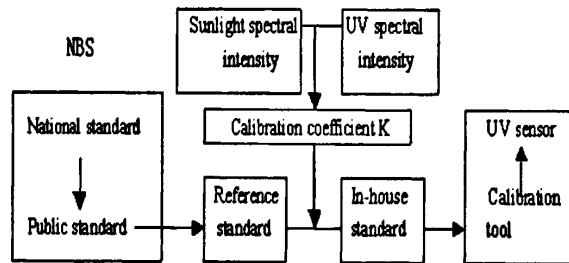


图4, SUB-T紫外线监测仪校对系统流程图

三、监测地点、时间及气象条件

(一) 地点

本研究的监测地点为辽宁省沈阳市(北纬 $41^{\circ}51'$, 东经 $123^{\circ}27'$, 平均海拔 50 m), 其气候四季分明; 以及海南省三亚市(北纬 $18^{\circ}19'$, 东经 $109^{\circ}42'$; 平均海拔 3.55-4.5m), 全年温暖, 为热带海洋季风气候。

（二）时间

沈阳地区四季变化分明，本研究选择冬至、春、秋分和夏至前后进行日间连续监测，各监测期间日间太阳高度角最高值分别达到约 25°(冬至)、50°(春、秋分)、和 70°(夏至)左右。三亚地区位于北回归线以南，全年日光充足，在每年的 5 月中下旬，太阳高度角在正午可达到最高值 90°，而在冬至前后最低高度角也近 50°，故本研究选择 5 月和 12 月太阳高度角最高日和最低日前后进行三亚地区日间紫外线暴露监测。每天依据季节和日照情况确定日间的监测时间，沈阳地区春、秋季为 7:30-16:00CST (China Standard Time, 北京时间)，夏季为 6:30-17:30CST，冬季为 8:00-16:00CST；三亚地区监测时间均为 7:00-18:00CST。

（三）气象条件

所有监测均在晴朗少云天气下进行。根据天气预报为参考，早晨天气晴朗则进行监测，日间天气发生变化，遇阴雨则停止监测。

四、实地监测

辽宁省沈阳市的监测在 2005 年 3 月至 2007 年 6 月的春分、夏至、秋分和冬至前后进行。海南省三亚市的监测在 2008 年 5 月、2008 年 12 月和 2009 年 5 月进行。在上述时间地点和气象条件下，将旋转人体模型水平放置在空旷无遮挡的地面，保持眼眶内监测仪距地面为 1.55 米。此外，两个紫外线监测仪分别水平放置和垂直吊挂于离旋转人体模型不远的无遮挡处(全天监测期间太阳不被遮挡)，以在相同时段测量水平环境日光紫外辐射剂量及垂直面日光紫外线暴露剂量作为比较。为了避免远山，城市建筑等对太阳的遮挡，同时考虑地面反射对监测结果的影响，我们选择在远郊空旷无遮挡处，且在粗糙的地面背景下监测，其反射能力较弱。监测时随时注意检查各监测仪的工作状态，以确保监测工作的顺利进行。每次开始时将其调零，并切换到累积剂量记录状态，每隔 15min 由监测负责人(通过培训，熟练掌握仪器的操作方法)读取一次数据填入监测表格，单位为 kJ m^{-2} 。在结果数据中，肩部结果采用左右肩的平均值。

五、数据处理与分析方法

利用 SPSS13.0、Microsoft Excel 2003 对监测数据进行统计分析及相应的图表

处理。

结 果

本研究在沈阳地区于 2005 年 3 月至 2007 年 6 月的春分、夏至、秋分和冬至前后进行监测, 因天气状况及监测项目等原因, 沈阳地区四季分别实际监测为春季 7 天、夏季 12 天、秋季 8 天和冬季 5 天, 共 32 天; 在三亚地区于 2008 年和 2009 年的 5 月实际监测 11 天, 于 2008 年的 12 月实际监测 3 天, 共 14 天。沈阳(春、秋分和夏、冬至)和三亚地区(最高高度角日期和冬至)六个监测时期不同时点太阳方位见表 1。

表 1, 沈阳和三亚地区六个监测时期不同时点太阳方位

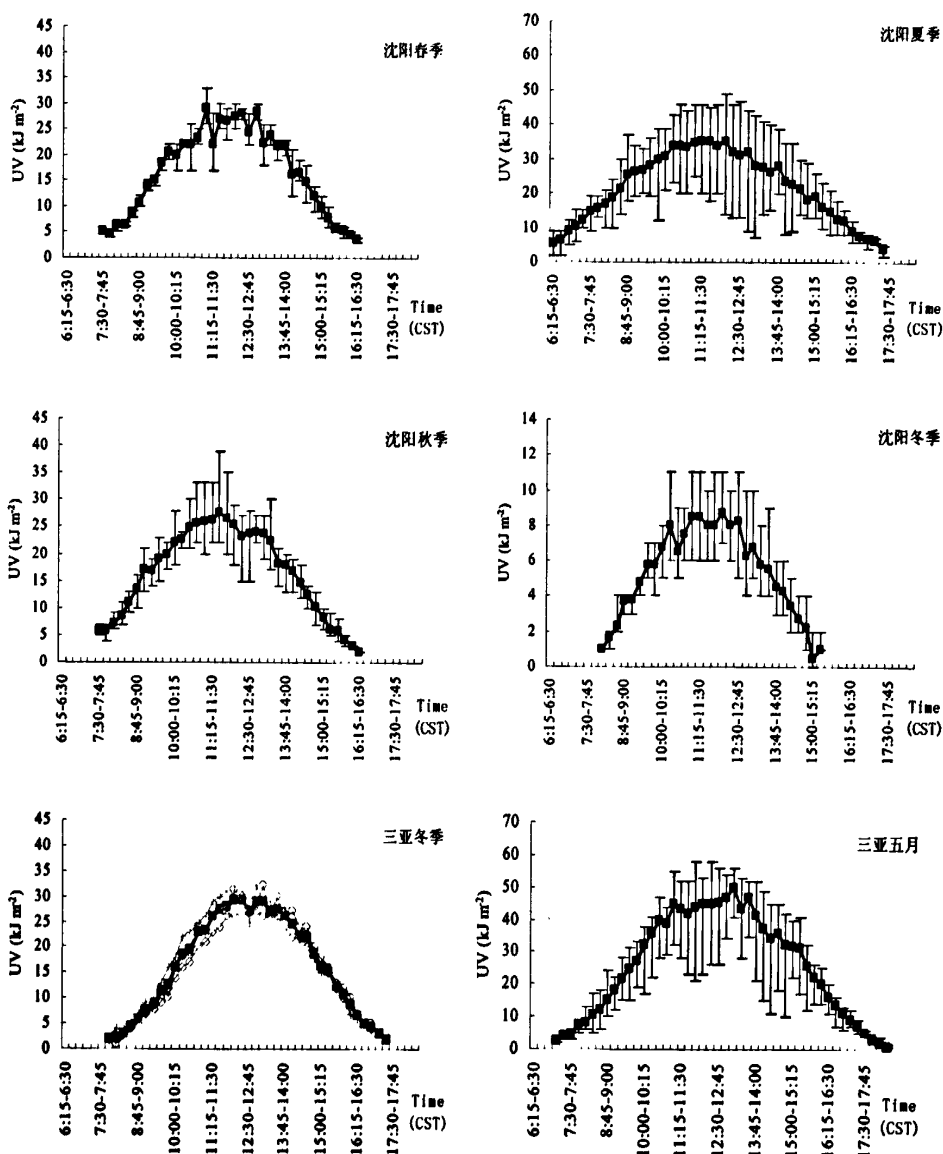
时间 (CST)	沈阳春分		沈阳夏至		沈阳秋分		沈阳冬至		三亚冬至		三亚最高 SEA	
	2007-03-21		2009-06-23		2005-09-23		2005-12-23		2008-12-23		2009-05-12	
	SAA*	SEA#	SAA	SEA	SAA	SEA	SAA	SEA	SAA	SEA	SAA	SEA
7:00	101.09	12.49	82.90	28.39	103.84	15.03	119.53	-	113.76	-	74.30	10.80
7:30	106.45	17.91	87.62	33.95	109.36	20.36	124.52	2.39	116.14	3.81	76.20	17.65
8:00	112.14	23.18	92.63	39.54	115.26	25.52	129.78	6.69	118.89	10.01	77.94	24.58
8:30	118.28	28.24	98.11	45.10	121.69	30.42	135.35	10.77	122.08	16.11	79.55	31.56
9:00	125.01	33.00	104.32	50.58	128.77	34.98	141.28	14.46	125.81	22.00	81.06	38.57
9:30	132.48	37.36	111.63	55.89	136.64	39.09	147.59	17.70	130.19	27.60	82.50	45.61
10:00	140.80	41.21	120.63	60.91	145.41	42.60	154.27	20.41	135.36	32.83	83.87	52.68
10:30	150.06	44.39	132.20	65.42	155.10	45.37	161.30	22.52	141.48	37.55	85.21	59.77
11:00	160.24	46.75	147.39	69.04	165.62	47.24	168.62	23.97	148.67	41.63	86.53	66.86
11:30	171.15	48.15	166.68	71.24	176.70	48.09	176.13	24.71	156.99	44.89	87.90	73.97
12:00	182.42	48.47	188.31	71.49	187.90	47.86	183.70	24.72	166.36	47.13	89.51	81.09
12:30	193.60	47.70	208.42	69.71	198.79	46.56	191.20	24.00	176.45	48.20	94.43	88.21
13:00	204.24	45.89	224.59	66.37	208.98	44.28	198.53	22.57	186.75	48.00	269.35	84.66
13:30	214.05	43.17	236.91	62.03	218.28	41.18	205.57	20.47	196.67	46.55	271.43	77.55
14:00	222.93	39.70	246.43	57.11	226.65	37.40	212.26	17.78	205.73	43.97	272.88	70.43
14:30	230.88	35.62	254.08	51.85	234.17	33.08	218.58	14.55	213.70	40.44	274.22	63.33
15:00	238.03	31.08	260.50	46.40	240.95	28.36	224.52	10.86	220.54	36.14	275.55	56.24
15:30	244.51	26.19	266.12	40.85	247.13	23.33	230.10	6.80	226.35	31.25	276.90	49.16
16:00	250.45	21.04	271.22	35.26	252.85	18.08	235.36	2.49	231.26	25.89	278.30	42.11
16:30	255.99	15.70	276.00	29.69	258.23	12.69	240.35	-	235.43	20.19	279.77	35.09
17:00	261.26	10.26	280.59	24.17	263.38	7.21	242.77	-	238.98	14.22	281.34	28.09
17:30	266.34	4.79	285.11	18.73	268.41	1.83	245.13	-	242.02	8.07	283.01	21.15
18:00	271.36	-	289.63	13.41	273.41	-	247.46	-	244.65	1.91	284.83	14.26

注: *SAA: solar azimuth angle, 太阳方位角; #SEA: solar elevation angle, 太阳高度角。

一、沈阳和三亚两地不同季节日间各时点监测结果的均值

图 5-11 中，除了三亚冬季给出的为全部监测 3 天的结果外，其余各个季节的结果均为各个季节中各监测日在不同时间点上的均值，其中上误差限为各时间点上最大值与均值之差，下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

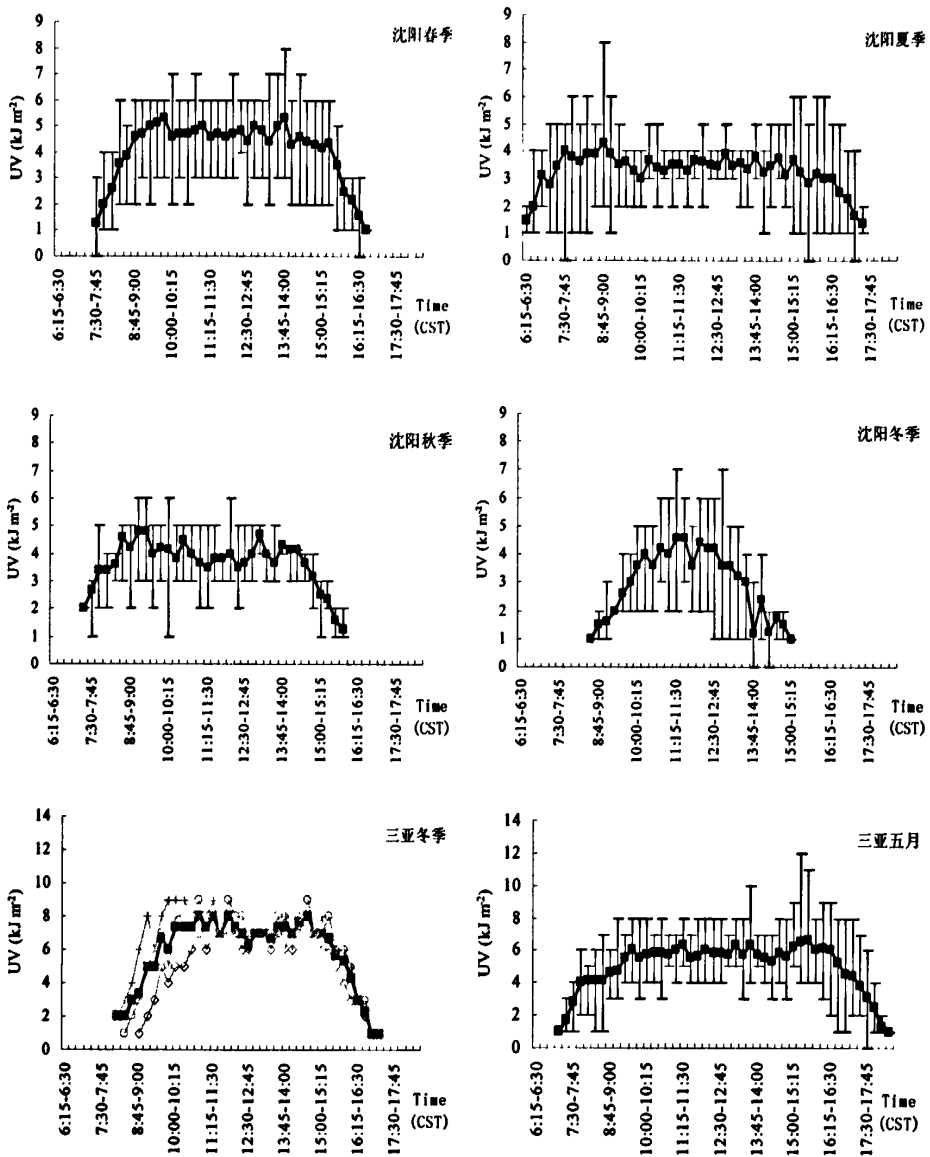
1、环境紫外线日间监测结果



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 5，沈阳和三亚两地不同季节环境紫外线日间各时点监测结果的均值

2、垂直面紫外线暴露日间监测结果

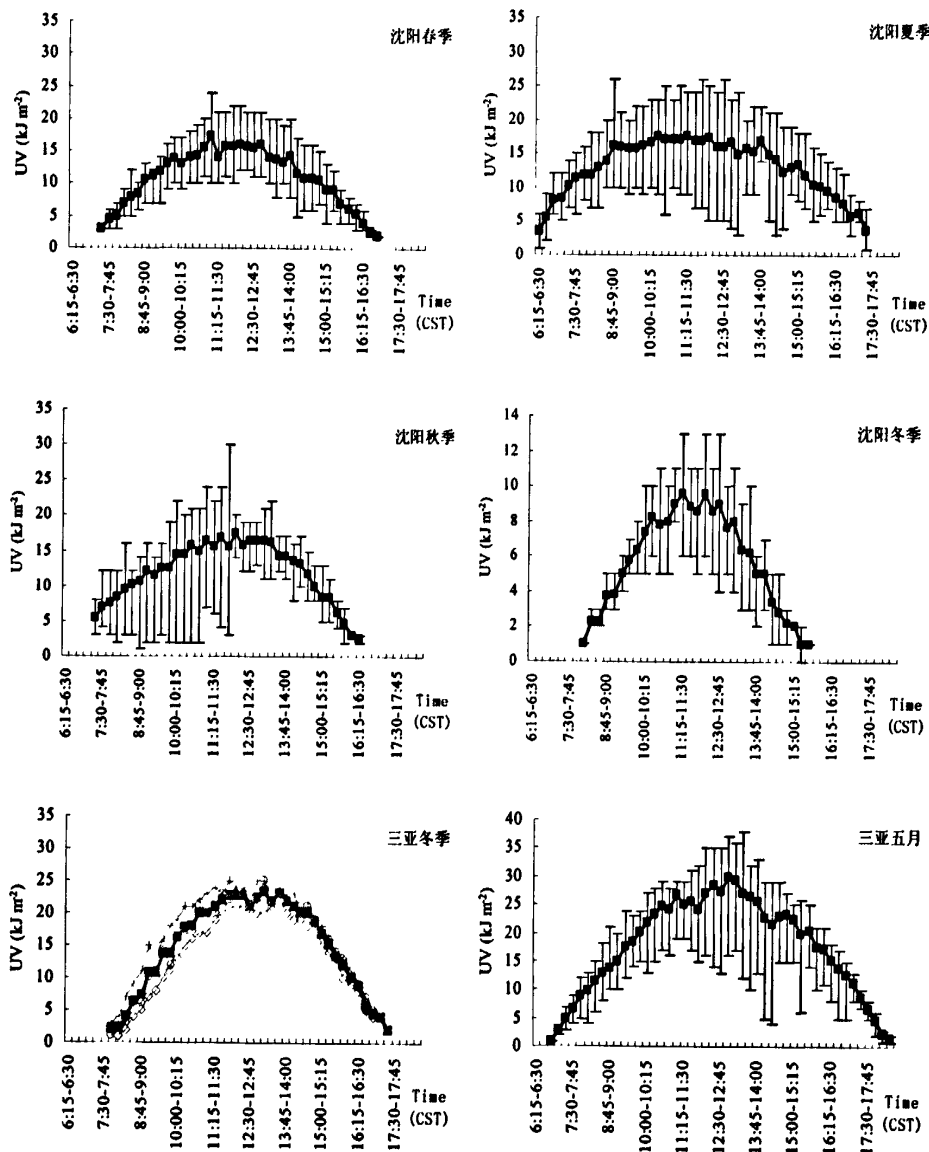


注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 6，沈阳和三亚两地不同季节垂直面紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

3、旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间监测结果

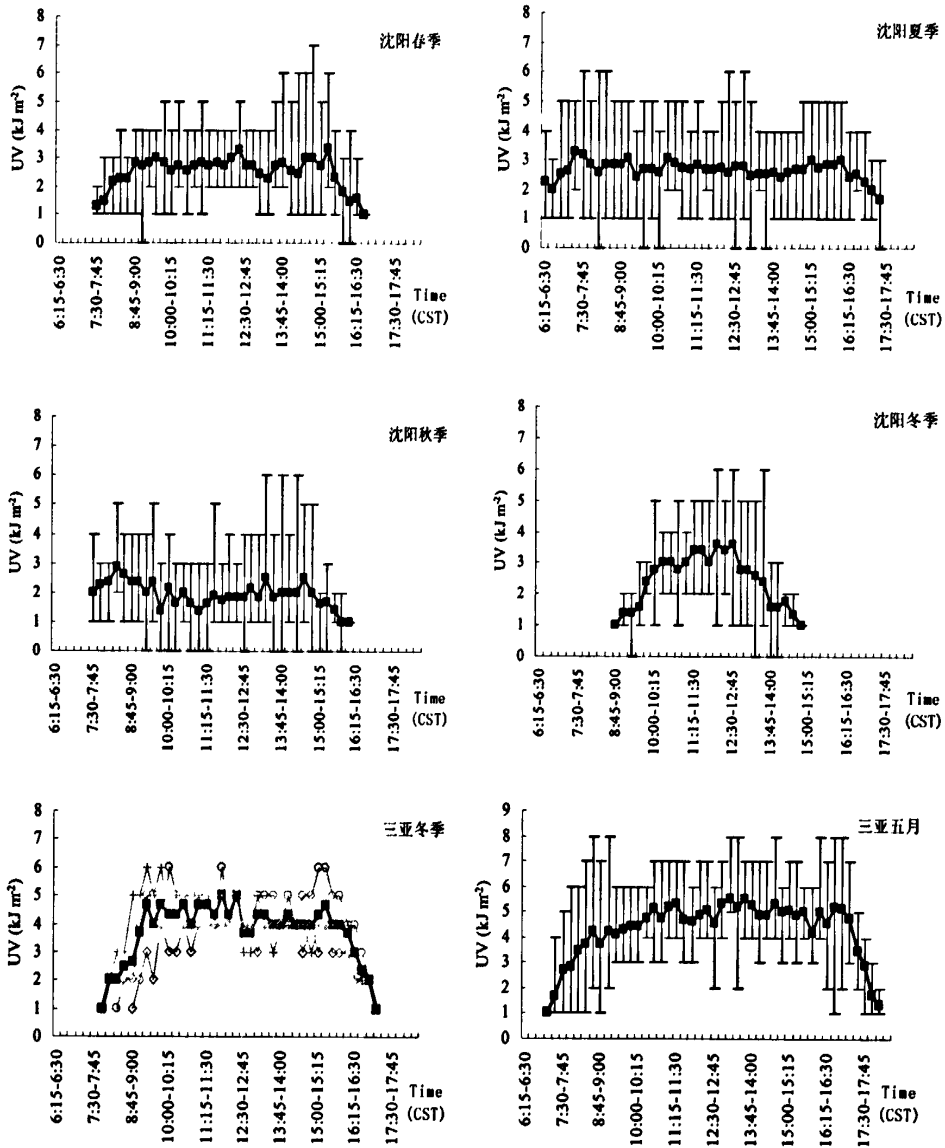
(1) 额部



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 7，沈阳和三亚两地不同季节旋转人体模型额部紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

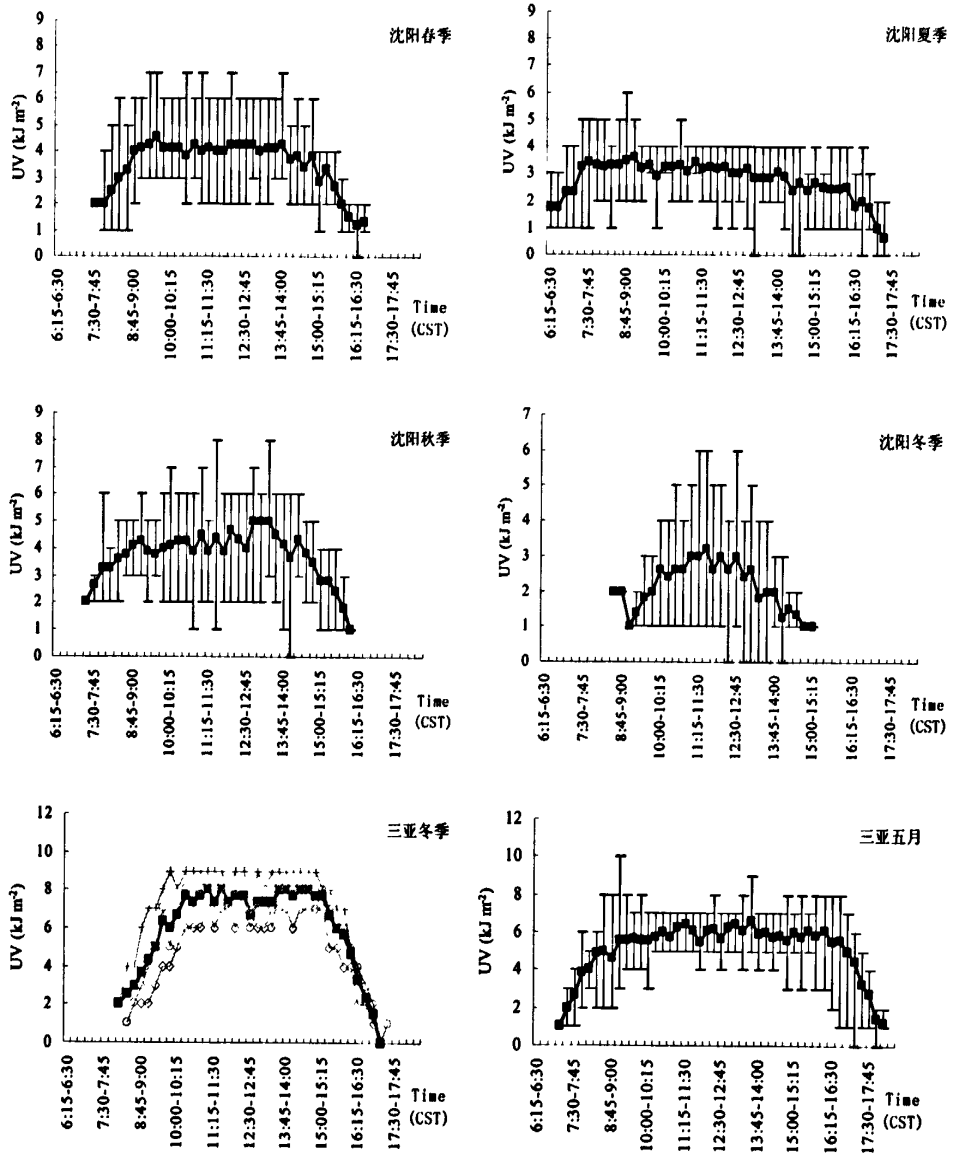
(2) 眼部



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 8，沈阳和三亚两地不同季节旋转人体模型眼部紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

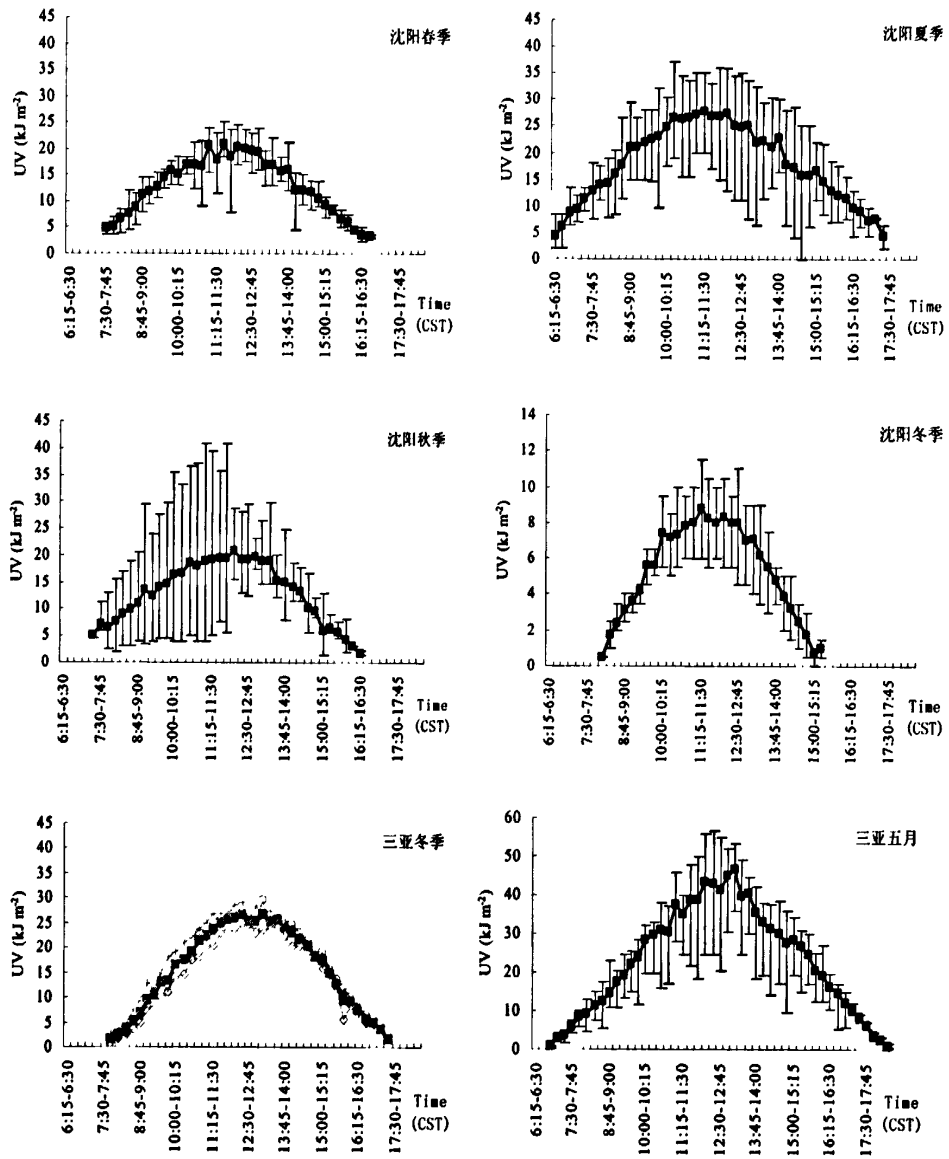
(3) 颊部



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 9，沈阳和三亚两地不同季节旋转人体模型颊部紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

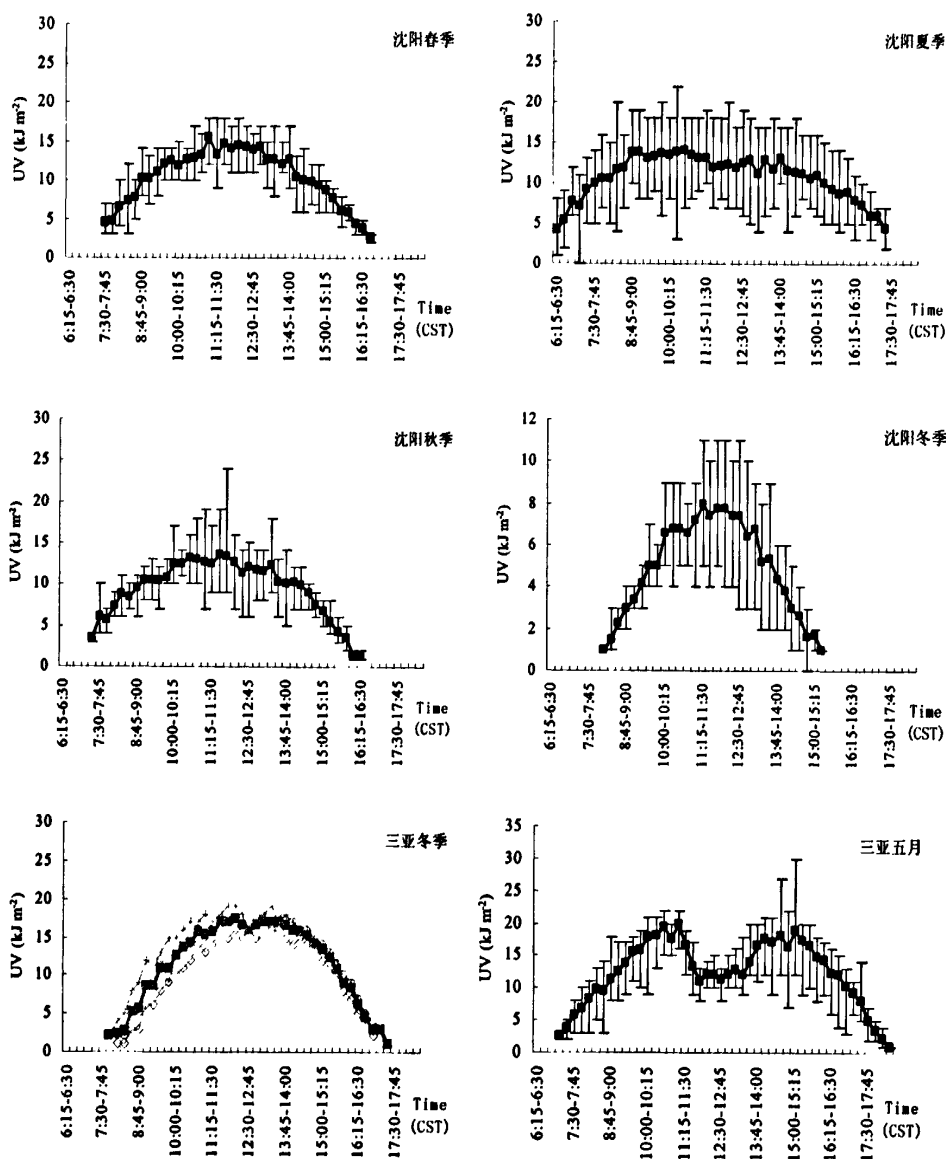
(4) 肩部



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 10, 沈阳和三亚两地不同季节旋转人体模型肩部紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

(5) 胸部



注：上误差限为各时间点上最大值与均值之差；下误差限为各时间点上均值与最小值之差。

图 11，沈阳和三亚两地不同季节旋转人体模型胸部紫外线暴露日间各时点监测结果的均值

图 7、图 10 中可以看出，额部、肩部在两地各季节的日间紫外线暴露分布均与图 5 中所示水平环境紫外线相似，为单峰钟型曲线，只是暴露值降低。图 11 中胸部的紫外线暴露在三亚的五月份出现显著的正午低值，日间分布为双峰曲线。图 8 和图 9 中眼部和颊部的紫外线暴露分布与图 6 中垂直面紫外线分布相似，除

沈阳地区冬季与水平环境日间规律相似，为单峰曲线外，其余各季趋向于正午平坦，不出现显著峰值。此外，从各季不同时间点的上下误差限可以看出，所有监测受天气变化的影响很显著。

二、沈阳和三亚两地不同季节代表日期紫外线日间分布

由上述结果一均值日间分布可知，不同解剖部位紫外线暴露日间分布与环境紫外线日间分布并不完全相同，特别是眼部和颊部，但由于天气变化的影响，均值的日间分布使得理想天气状况下不同解剖部位的暴露特征减弱，因此为了阐明晴好天气下人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间分布特征，本研究分别选择了各季天气变化最小、最为晴好、具有代表性的监测日的监测数据作为结果，沈阳地区为 2005 年 9 月 14 日（秋季），2006 年 12 月 14 日（冬季），2007 年 3 月 17 日（春季）和 2007 年 6 月 14 日（夏季），三亚地区为 2009 年 1 月 11 日（冬季）和 2009 年 5 月 17 日（夏季），这六天不同时点的太阳高度角变化见图 12，计算环境、垂直面和旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露半小时累积值，其日间分布如图 13-15 所示。

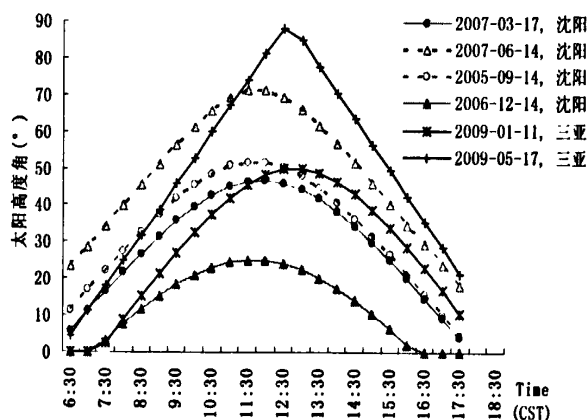


图 12，沈阳和三亚地区六个监测日不同时点太阳高度

1、沈阳和三亚地区不同季节代表日的环境紫外线日间分布

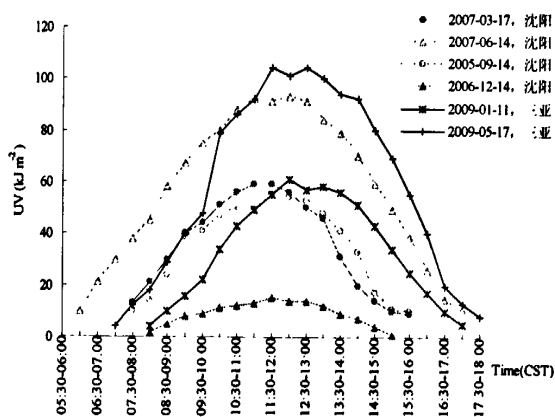


图 13, 沈阳和三亚地区不同季节代表日的环境紫外线日间分布

2、沈阳和三亚地区不同季节代表日的垂直面紫外线暴露日间分布

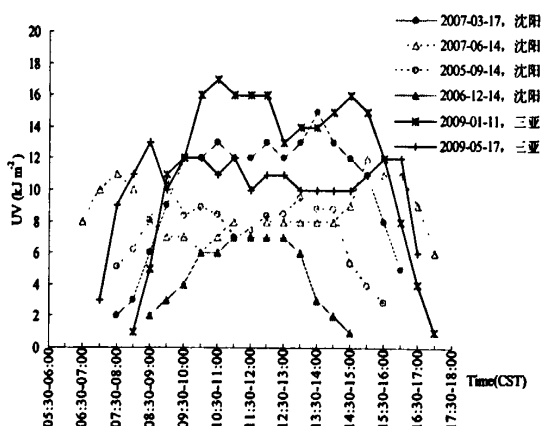


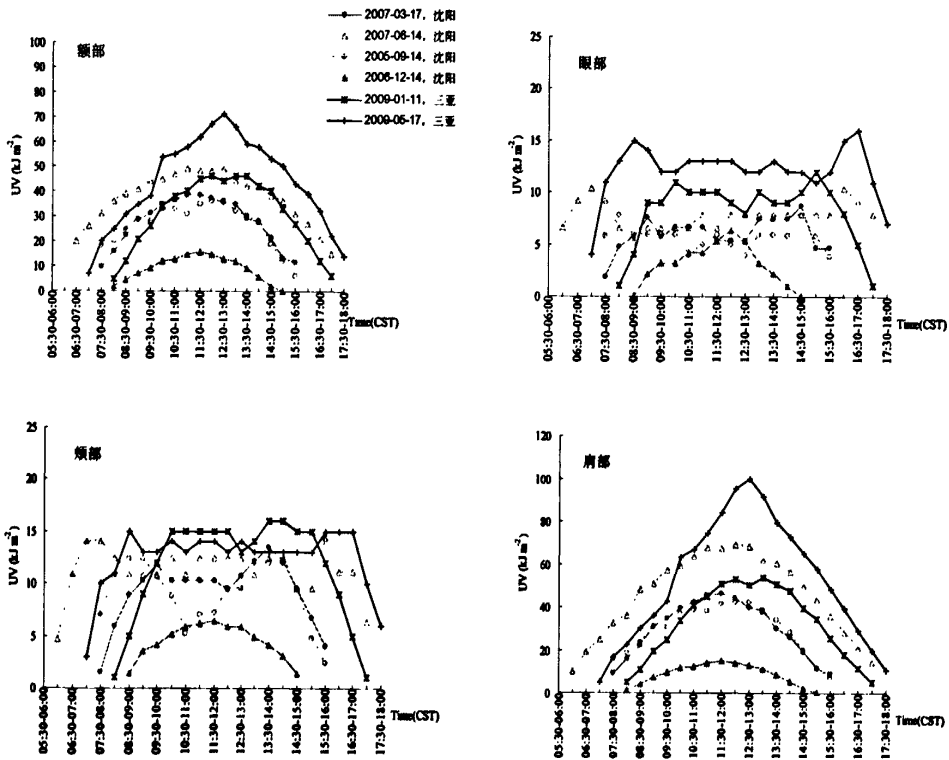
图 14, 沈阳和三亚地区不同季节代表日的垂直面紫外线暴露日间分布

如图 13 所示, 在沈阳和三亚地区环境紫外线辐射各季的日间变化均为单峰钟型曲线, 沈阳四季均在正午 11:30-12:00CST 紫外线半小时累积剂量达到最大值, 三亚两季在正午 12:30-13:00CST 紫外线半小时累积剂量达到最大值。如图 14 所示垂直面紫外线暴露的日间变化除沈阳冬季为单峰钟型曲线外, 其它各季节呈现早晚高暴露的双峰曲线或早晚时间达到高值后的平台样分布。

由图 12 可知, 沈阳和三亚两地六个监测日的日间太阳高度角最高值分别约为 47°、71°、46°、25°以及 50°和 90°, 在此高度角范围下, 图 13 中环境紫外线与太阳高度角日间变化趋势相同, 在沈阳地区环境紫外线四季四天的日间变化均为单峰钟型曲线, 均在正午 11:30-12:00CST 紫外线半小时累积剂量达到最大值; 而如

图 14 中所示，除冬季变化趋势与水平环境紫外线相似外，垂直面的紫外线暴露，正午前后不但暴露剂量减少，而且其与太阳高度角日间变化趋势不完全相同，紫外线暴露剂量在日间的分布发生改变。在冬季，沈阳地区太阳高度角最高值在 25° 时，垂直面紫外线暴露与太阳高度角日间变化趋势相同，呈现与环境紫外线日间规律相同的单峰钟型曲线，而在沈阳春、秋季和三亚 12 月，高度角达到 46°、47°，和近 50°，虽然正午前后环境紫外线达到峰值，但垂直面紫外线暴露并未继续升高，而是在 10:00 及 14:00 和 11:00 及 14:30 前后，高度角约 40° 左右时达到较高值后保持平缓，甚至略下降，呈现近似梯形曲线的平台样日间变化，在沈阳夏季和三亚 5 月，太阳高度角达到 71° 和近 90°，垂直面正午紫外线暴露的下降趋势变得明显，分别在 8:00 及 15:30 或 9:00 及 16:00 前后出现较高值，呈现双峰曲线规律，与环境紫外线日间变化规律完全不同。

3、沈阳和三亚地区不同季节代表日旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间分布



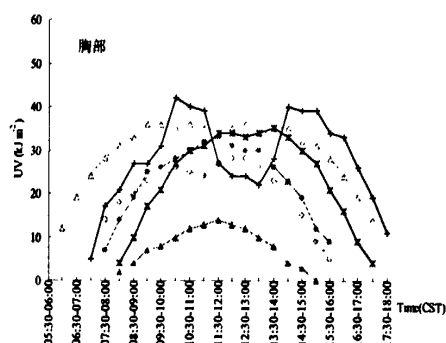


图 15, 沈阳和三亚地区不同季节代表日旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间分布

与常识相近, 人体模型近似水平面组成的肩部, 与环境紫外线日间分布最为接近, 而从略微倾斜面组成的额部和胸部, 直到基本由垂直甚至倾斜向下的倾斜面组成的眼部和颊部逐渐接近于垂直面紫外线暴露的日间分布。如图 15 所示, 沈阳和三亚两地六个监测时期, 旋转人体模型的额部、肩部和胸部(除三亚 5 月)的紫外线暴露, 与水平环境紫外线的日间变化相似, 其正午出现紫外线最大剂量, 呈单峰钟型曲线分布。但是, 眼部与颊部的紫外线暴露与环境紫外线相比, 不但剂量减少, 而且紫外线暴露在日间的分布也发生改变。沈阳地区四季眼部和颊部紫外线暴露剂量日间变化曲线为: 春、夏、秋三季三天分别在上午和下午出现峰值, 但冬季仍为正午出现单峰峰值。春季一天眼部和颊部紫外线半小时暴露上下午最高值出现时间分别为 9:00-9:30CST 和 14:30-15:00CST 以及 9:30-10:00CST 和 13:30-14:00CST; 夏季一天眼部和颊部紫外线半小时暴露上下午最高值出现时间分别为 7:00-7:30CST 和 16:00-16:30CST 以及 7:30-8:00CST 和 15:30-16:00CST; 秋季一天眼部和颊部紫外线半小时暴露上下午最高值出现时间分别为 8:00-8:30CST 和 14:30-15:00CST 以及 9:00-9:30CST 和 14:00-14:30CST。三亚地区一月与沈阳地区的春、秋季相似, 五月与沈阳地区的夏季相似, 但出现较高暴露的时间段相应的延后。眼部和颊部的紫外线暴露与环境紫外线及其他解剖位置紫外线暴露相比, 暴露水平较低, 并且日间极值变化范围较小。在海南省三亚市的五月, 太阳高度角最高约为 90° , 太阳接近垂直直射在直立人体头部正上方, 头部对胸部产生显著的遮挡作用, 因而, 此时虽然环境紫外线达到最高值, 但胸部紫外线暴露反而降

低，呈现显著的双峰曲线，紫外线暴露最高值出现在上下午的时间分别为 10:00-10:30CST 和 14:30-15:00CST。

三、不同季节代表日紫外线随太阳高度角变化分布

1、环境紫外线随太阳高度角变化分布

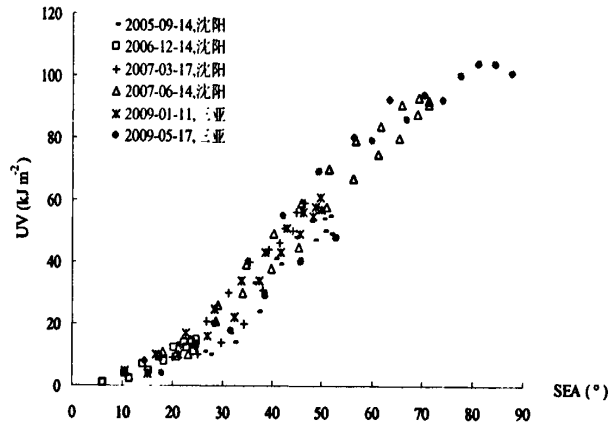


图 16，不同季节代表日环境紫外线随太阳高度角变化分布

2、垂直面紫外线暴露随太阳高度角变化分布

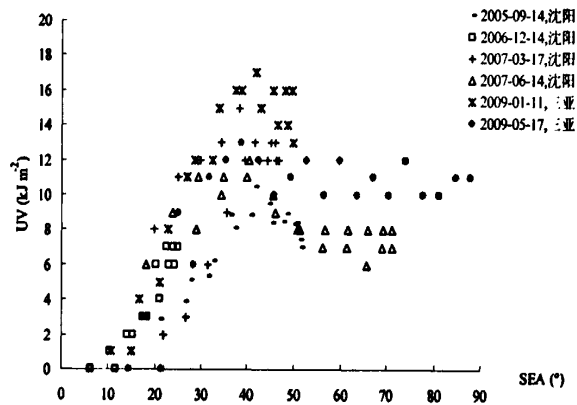


图 17，不同季节代表日垂直面紫外线暴露随太阳高度角变化分布

3、旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露随太阳高度角变化分布

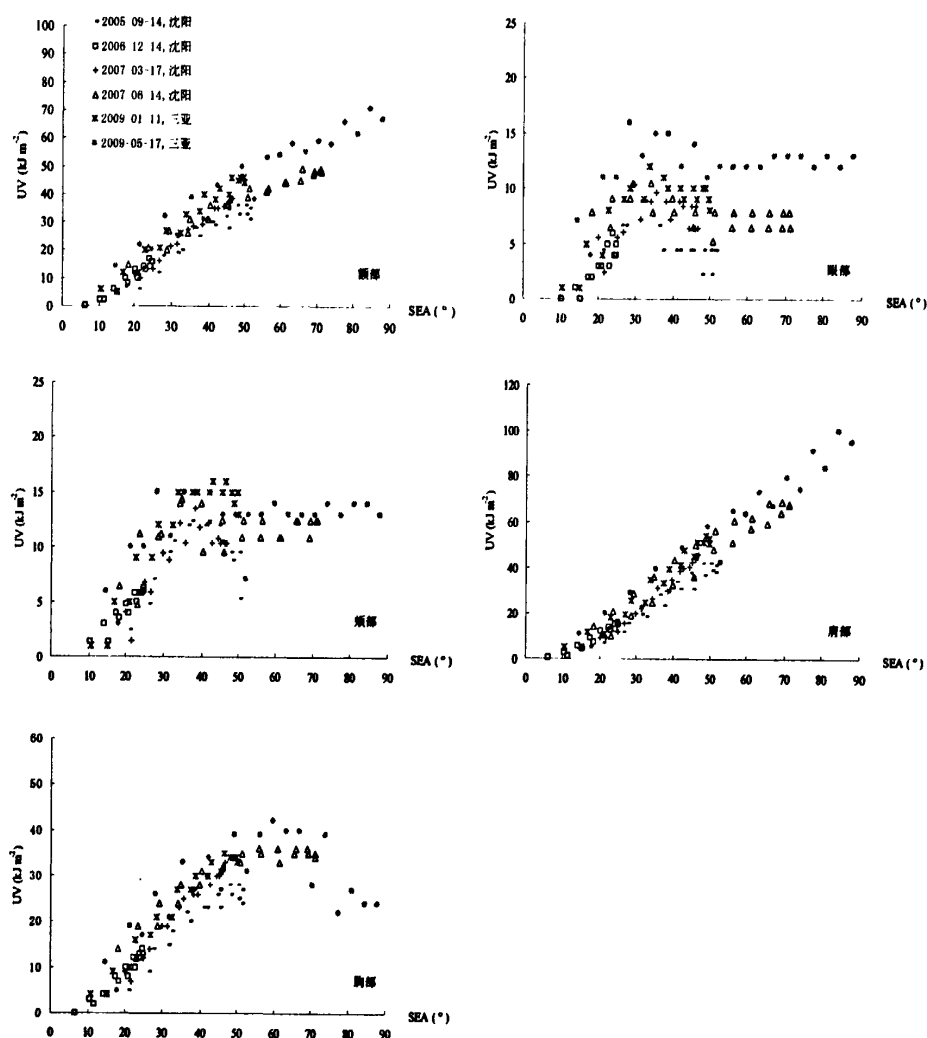


图 18, 不同季节代表日旋转人体模型各解剖部位紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 16-18 中, 纵坐标所显示的是每半小时的紫外线累积暴露量, 横坐标所显示的是每半小时紫外线暴露累积结束时刻的太阳高度角度数, 各半小时内的高度角变化范围见图 12, 每半小时内不同解剖部位累积的紫外线暴露是该半小时内高度角变化作用的累积。

图 16 环境紫外线和图 18 中额部、肩部和胸部紫外线暴露随太阳高度角变化图中显示, 在沈阳和三亚地区各个季节(胸部除三亚 5 月), 水平、额部、肩部和胸部的紫外线暴露半小时累积剂量均随高度角增加而升高, 而如图 17 垂直面和图 18 颊部紫外线暴露随太阳高度角变化图中所示, 垂直面和颊部紫外线半小时累积

剂量峰值出现在太阳高度角 40°左右。图 18 中眼部紫外线暴露随太阳高度角变化所示，眼部紫外线暴露半小时累积剂量峰值出现在太阳高度角 30°左右。此外，在本次两地监测的最低太阳高度角时段，即沈阳冬季，太阳高度角正午最高也仅为 25°左右，因此垂直面和眼部及颊部两个部位半小时累积剂量的日间变化仍随太阳高度角增加而升高。在本次两地监测的最高太阳高度角时段，即三亚五月，太阳高度角正午最高达近 90°，与胸部紫外线暴露日间分布中其最高暴露时间并非正午的原因相同，由于其受到头部显著的遮挡作用，因而紫外线暴露半小时累积剂量峰值出现在太阳高度角 60°左右。

四、沈阳和三亚两地不同季节代表日紫外线日间累积暴露比较

在以上对旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间分布的描述中，初步看出旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露的变化除了与环境紫外线有一定关联，还与解剖部位的不同（紫外线接收面几何角度），地理位置的不同（太阳高度角）以及解剖部位之间的相互作用有关。颊部和眼部的紫外线暴露日间分布较为特殊，更接近于垂直面紫外线暴露，额部、肩部则与环境紫外线日间变化相似，而胸部紫外线暴露在最高太阳高度角时间段会受到头部显著的遮挡作用。图 19 中进一步比较了地区 and 不同解剖部位之间紫外线暴露的差异。

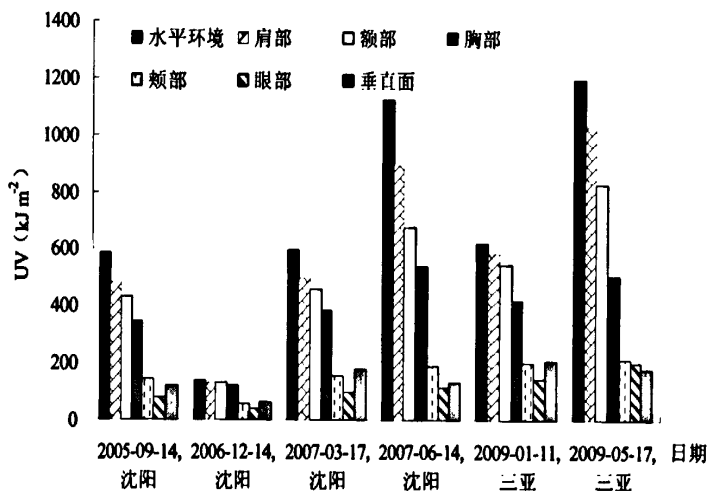


图 19，沈阳和三亚地区不同季节代表日 8:00-16:00CST 累积紫外线暴露

如图 19 和图 5 所示，在相对较为晴朗的天气下，三亚地区夏季（五月）环境

紫外线 8 小时累积量高于沈阳夏季，而三亚地区冬季（一月）则与沈阳地区春、秋季节相近，因而三亚地区全年紫外线均较强烈。沈阳地区则四季分明，夏季显著高于冬季。最高环境紫外线水平的三亚地区夏季为最低环境紫外线水平的沈阳冬季的近 9 倍。而同样的垂直面紫外线暴露三亚夏季仅为沈阳冬季的约 3 倍。

额部、肩部 8 小时(8:00-16:00CST) 日累积紫外线暴露水平与环境相似，在三亚地区夏季高于沈阳地区夏季，冬季则与沈阳春、秋季节相近，全年暴露均较高。在沈阳地区，这两个解剖部位四季紫外线暴露从大到小均依次为：夏季>春季>秋季>冬季。

而胸部 8 小时日累积紫外线暴露水平，三亚地区夏季与沈阳地区夏季相近，主要是由于正午时段的暴露值降低引起的，冬季也与沈阳地区春、秋季节相近。沈阳地区胸部紫外线暴露四季变化与肩部和额部相同，从大到小依次为：夏季>春季>秋季>冬季。

眼部和颊部 8 小时日累积紫外线暴露水平，除沈阳地区冬季显著较低，两地区之间，各个季节之间变化均较小。

总体上，不同解剖部位紫外线暴露累积剂量大小为：肩部>额部>胸部>颊部>眼部，但沈阳地区冬季额部日累积紫外线暴露略大于肩部。此外，沈阳地区冬季额部紫外线暴露也略高于环境紫外线，这也提示我们，在太阳高度角较小时(冬季或一天中的早晚时间段)，以环境紫外线进行个体紫外线暴露评估可能低估了额部等某些解剖部位的紫外线暴露。

五、不同时间段紫外线暴露日间百分比

将一天内相邻半小时时间段的紫外线暴露剂量进行累积相加，并与每日(8:00-16:00CST) 日累积紫外线暴露总量比较，得出每小时时间段的紫外线暴露累积剂量占日间全天暴露的比例，即日间百分比，见表 2-7。

表 2, 沈阳地区秋季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间段 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	额部	眼部	颊部	肩部	胸部
08:00-09:00	6.48	11.80	10.39	15.16	15.70	8.69	11.11
09:00-10:00	13.65	15.55	13.16	13.12	15.70	12.73	13.45
10:00-11:00	16.55	14.32	15.24	10.93	9.66	15.76	14.91
11:00-12:00	17.75	11.93	15.24	12.03	9.75	16.57	14.91
12:00-13:00	18.26	13.94	16.63	9.84	13.11	17.58	16.37
13:00-14:00	15.19	15.16	14.32	13.12	16.39	14.95	14.33
14:00-15:00	8.53	11.71	10.85	15.05	14.75	9.90	10.82
15:00-16:00	3.58	5.59	4.16	10.75	4.92	3.84	4.09
总计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10:00-14:00	67.75	55.35	61.43	45.93	48.92	64.85	60.53

表 3, 沈阳地区冬季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	额部	眼部	颊部	肩部	胸部
08:00-09:00	5.15	3.28	4.79	0.00	2.36	4.33	5.00
09:00-10:00	12.50	11.48	12.33	13.16	13.29	12.64	12.50
10:00-11:00	16.91	19.67	18.49	18.42	19.05	18.41	18.33
11:00-12:00	20.59	22.95	22.6	23.68	21.71	22.38	22.50
12:00-13:00	20.59	22.95	20.55	28.95	20.38	20.94	20.83
13:00-14:00	15.44	14.75	15.75	13.16	15.51	15.16	15.00
14:00-15:00	8.09	4.92	5.48	2.63	7.68	5.78	5.83
15:00-16:00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00
总计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10:00-14:00	73.53	80.33	77.4	84.21	76.66	76.9	76.67

表 4, 沈阳地区春季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	颈部	眼部	颊部	肩部	胸部
08:00-09:00	8.56	5.11	8.38	10.46	9.43	7.55	8.53
09:00-10:00	14.09	11.93	13.06	13.32	14.15	13.27	13.18
10:00-11:00	17.95	14.20	15.59	13.32	13.21	16.50	14.99
11:00-12:00	19.80	13.64	16.76	12.01	13.21	18.45	16.80
12:00-13:00	17.79	14.20	15.98	10.71	12.93	16.94	15.76
13:00-14:00	12.92	15.91	14.04	14.73	16.38	13.81	14.47
14:00-15:00	5.70	14.20	10.72	16.07	13.79	9.28	10.85
15:00-16:00	3.19	10.80	5.46	9.37	6.90	4.21	5.43
总计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10:00-14:00	68.46	57.95	62.38	50.78	55.73	65.70	62.02

表 5, 沈阳地区夏季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	颈部	眼部	颊部	肩部	胸部
07:00-08:00	5.86	15.91	8.39	17.05	14.93	6.35	9.61
08:00-09:00	8.88	13.64	11.05	10.23	12.44	9.36	11.83
09:00-10:00	12.24	10.61	12.52	11.36	11.61	12.04	13.31
10:00-11:00	14.48	9.85	13.55	11.36	12.44	13.77	13.12
11:00-12:00	15.78	11.36	14.29	12.50	13.27	15.11	12.75
12:00-13:00	15.86	12.12	14.29	13.64	13.27	15.33	13.12
13:00-14:00	14.05	12.12	12.67	13.64	12.44	13.66	12.57
14:00-15:00	11.12	12.88	11.78	13.64	11.75	11.87	12.38
15:00-16:00	7.59	17.42	9.87	13.64	12.77	8.86	10.91
16:00-17:00	3.53	15.15	7.07	17.05	11.92	5.52	7.95
总计**	109.40**	131.06**	115.46**	134.09**	123.82**	111.87**	117.56**
10:00-14:00	60.17	45.45	54.79	51.14	51.43	57.86	51.57

注：“总计高于100%是因为计算的全天日累积紫外线暴露总量以8:00-16:00CST为准，其他延长监测时段的暴露也与8:00-16:00CST全天日累积紫外线暴露总量相除求得比率。

表 6, 三亚地区冬季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	额部	眼部	颊部	肩部	胸部
08:00-09:00	2.27	2.87	3.12	3.55	2.96	2.73	3.33
09:00-10:00	6.15	11.00	8.62	12.77	10.34	7.51	9.03
10:00-11:00	12.46	15.79	13.21	14.89	14.78	12.71	13.54
11:00-12:00	16.83	15.31	15.60	14.18	14.78	16.38	15.44
12:00-13:00	19.09	13.88	16.51	12.06	13.79	17.66	15.91
13:00-14:00	18.45	13.40	16.88	13.48	14.78	17.92	16.39
14:00-15:00	15.21	14.83	15.05	13.48	15.27	14.85	14.96
15:00-16:00	9.55	12.92	11.01	15.60	13.30	10.24	11.40
总计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10:00-14:00	66.83	58.37	62.20	54.61	58.13	64.68	61.28

表 7, 三亚地区夏季代表日不同时段紫外线暴露日间百分比

时间 (CST)	日间百分比 (%)						
	环境	垂直面	额部	眼部	颊部	肩部	胸部
07:00-08:00	1.34	6.82	3.27	7.43	6.07	2.09	4.37
08:00-09:00	3.95	13.64	6.79	13.86	12.15	5.09	9.52
09:00-10:00	7.39	12.50	8.85	12.87	12.15	7.61	11.51
10:00-11:00	13.85	13.07	13.21	12.38	12.62	12.66	16.27
11:00-12:00	16.46	12.50	14.55	12.87	13.08	15.37	13.10
12:00-13:00	17.21	12.50	16.73	12.38	12.62	18.96	9.52
13:00-14:00	16.29	11.36	15.15	12.38	12.15	16.59	9.92
14:00-15:00	14.44	11.36	13.45	11.88	12.15	13.39	15.67

15:00-16:00	10.41	13.07	11.27	11.39	13.08	10.33	14.48
16:00-17:00	5.04	10.23	8.61	15.35	14.02	6.64	11.71
总计**	106.38**	117.05**	111.88**	122.79**	120.09**	108.73**	116.07**
10:00-14:00	63.81	49.43	59.64	50.00	50.47	63.58	48.81

注：**总计高于 100%是因为计算的全天日累积紫外线暴露总量以 8:00-16:00CST 为准，其他延长监测时段的暴露也与 8:00-16:00CST 全天日累积紫外线暴露总量相除求得比率。

对于环境日光紫外线暴露最强烈的时间是正午前后的 4 个小时。环境日光紫外线在正午前后共 4 个小时 (10:00-14:00CST) 的累积暴露达到全天 8 个小时 (8:00-16:00 CST) 的 60.17%(夏季一天) 至 73.53%(冬季一天)。除了三亚夏季胸部正午前后 4 小时的累积暴露略低于 50% 以外 (这是由于正午时段胸部受到头部遮挡而暴露降低)，其他各季中额部、肩部和胸部都与水平相似，正午前后 4 小时的累积暴露达到全天 8 个小时的 50% 以上。

除了沈阳地区冬季，眼部与颊部在正午前后 4 小时的累积暴露为 84.21% 和 76.66% 外，沈阳和三亚两地区各个季节眼部与颊部在正午前后 4 小时的累积暴露均小于环境和其他三个解剖部位 (除了在三亚地区的夏季，其略高于胸部)，最高仅为三亚冬季颊部的 58.13%。眼部的紫外线暴露剂量各时段分布较为均匀，并不集中在正午前后 (沈阳地区冬季除外)，在沈阳地区春、夏、秋三季上午 9:00-10:00 CST 和下午 14:00-15:00 CST 这两个小时的累积紫外线暴露与正午两小时的暴露相近或略高。特别是在夏季，眼部 8:00-16:00 CST 之外的两个小时 (7:00-8:00CST 与 16:00-17:00CST) 的暴露 (34.09%) 甚至高于正午两小时 (11:00-13:00CST) 的暴露 (26.14%)。颊部与眼部相似，紫外线暴露各时段分布也较为均匀。三亚地区的各个解剖部位紫外线暴露日间百分比之间的相对大小关系与沈阳地区相近。

六、暴露比率

暴露比率为特定解剖部位紫外线暴露剂量与水平环境紫外线剂量的比值。为了便于与先前的研究进行比较，通过日累积紫外线暴露 (8:00-16:00CST) 计算得出

了日累积紫外线暴露比率，见表 8。不同解剖部位的暴露比率均为夏季最低，冬季最高。除了冬季代表日额部暴露比率略高于肩部以外，其余各季节的各解剖部位的暴露比率均为肩部最高，眼部最低，其次较低的为颊部，而额部和胸部居中。

表 8，不同解剖部位日累积暴露比率

日期	日累积暴露比率(%)					
	额部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
2005-09-14,沈阳	73.89	15.41	24.9	81.91	58.36	20.61
2006-12-14,沈阳	97.79	29.32	42.26	94.78	86.49	44.41
2007-03-17,沈阳	76.89	16.8	26.26	83.34	64.93	29.53
2007-06-14,沈阳	58.53	9.90	16.17	77.33	46.64	11.38
2009-01-11,三亚	88.19	22.82	32.85	94.82	68.12	33.82
2009-05-17,三亚	69.27	16.96	17.97	86.57	42.32	14.78

如表 8 所示，不同地区和季节暴露比率不同，各季节中，不同解剖部位的日累积紫外线暴露比率为沈阳和三亚地区的夏季日最低，冬季日最高，春、秋季居中，即暴露比率随太阳高度角升高而降低。

紫外辐射随季节变化，这种季节性变化随着地区纬度的升高（沈阳高于三亚）变得更为明显。沈阳地区地处中高纬度，四季分明，适宜采用分季节的暴露比率进行个体紫外线暴露的评估，而不能用单个季节或年暴露比率来代表，这可以减少个体紫外线暴露评估中的误差。本研究结果中，相同季节不同解剖部位的紫外线暴露比率不一致，也反映了进行个体紫外线暴露定量的复杂性，用某一解剖部位的暴露比率来代表个体进行定量评估是否恰当也还需要进一步研究讨论。

除了日累积紫外线暴露比率，本研究还计算得出了不同解剖部位每半小时累积紫外线暴露剂量的暴露比率，见表 9-14。

表 9, 沈阳地区秋季代表日不同解剖部位不同时间段的暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	颈部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
07:30-08:00	180.00	58.22	70.49	155.15	140.00	50.78
08:00-08:30	142.86	55.45	75.53	131.60	128.57	44.10
08:30-09:00	104.17	24.68	51.40	96.97	83.33	33.66
09:00-09:30	74.36	15.19	31.63	78.32	58.97	26.73
09:30-10:00	68.29	14.45	25.79	74.50	56.10	20.40
10:00-10:30	70.21	12.60	18.75	78.40	55.32	18.93
10:30-11:00	66.00	7.90	10.57	77.58	50.00	16.81
11:00-11:30	63.27	10.07	14.39	78.17	48.98	14.25
11:30-12:00	63.64	10.77	13.05	74.93	49.09	13.50
12:00-12:30	66.67	9.14	17.72	78.12	51.85	15.47
12:30-13:00	67.92	7.45	18.05	79.59	52.83	16.00
13:00-13:30	66.67	12.34	24.91	78.79	54.17	19.81
13:30-14:00	73.17	14.45	29.17	82.78	56.10	21.47
14:00-14:30	84.85	17.64	36.24	85.22	66.67	26.76
14:30-15:00	111.76	45.66	56.28	114.08	88.24	31.25
15:00-15:30	109.09	52.93	43.49	105.79	81.82	35.28
15:30-16:00	60.00	38.81	23.92	67.88	50.00	28.74

表 10, 沈阳地区冬季代表日不同解剖部位不同时间段的暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	颈部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
08:00-08:30	91.09	0.00	0.00	69.80	98.02	0.00
08:30-09:00	91.09	0.00	27.17	83.76	78.42	39.60
09:00-09:30	91.09	26.24	44.57	87.25	85.77	37.13
09:30-10:00	101.21	34.98	45.28	103.41	87.13	44.00

10:00-10:30	107.65	28.62	46.31	105.76	89.11	54.01
10:30-11:00	106.27	34.98	48.82	100.83	98.02	49.50
11:00-11:30	112.11	32.29	47.02	107.39	98.02	53.31
11:30-12:00	103.23	34.98	42.45	99.27	91.49	46.20
12:00-12:30	104.10	44.98	41.84	99.72	91.02	49.50
12:30-13:00	91.09	37.48	41.84	93.07	84.02	49.50
13:00-13:30	98.68	26.24	40.33	93.07	81.68	49.50
13:30-14:00	101.21	23.32	45.28	93.07	87.13	33.00
14:00-14:30	78.08	14.99	43.66	73.13	56.01	28.29
14:30-15:00	45.54	0.00	33.96	58.17	73.51	24.75
15:00-15:30	0.00	0.00	0.00	46.53	0.00	0.00

表 11, 沈阳地区春季代表日不同解剖部位不同时间段的暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	颊部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
07:30-08:00	75.59	14.65	11.36	70.07	53.85	15.38
08:00-08:30	76.57	22.67	28.13	74.00	66.67	14.29
08:30-09:00	74.44	19.04	29.53	73.23	63.33	20.00
09:00-09:30	71.46	19.04	25.84	77.70	62.50	22.50
09:30-10:00	71.06	12.98	26.85	79.16	59.09	27.27
10:00-10:30	68.31	13.07	20.27	77.75	54.90	23.53
10:30-11:00	65.40	11.90	18.46	75.59	53.57	23.21
11:00-11:30	65.10	11.30	17.52	77.20	54.24	20.34
11:30-12:00	65.10	9.09	17.52	78.11	55.93	20.34
12:00-12:30	67.00	9.58	16.87	78.46	55.36	23.21
12:30-13:00	71.46	10.73	21.59	80.38	60.00	24.00
13:00-13:30	75.74	16.03	26.40	83.87	65.22	28.26
13:30-14:00	95.09	23.79	43.53	96.80	83.87	48.39

14:00-14:30	138.46	36.87	60.72	131.28	115.00	65.00
14:30-15:00	153.14	62.25	67.47	141.62	135.71	85.71
15:00-15:30	133.99	46.92	67.47	117.89	120.00	110.00
15:30-16:00	129.03	52.14	44.98	101.22	100.00	88.89

表 12, 沈阳地区夏季代表日不同解剖部位不同时段暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	额部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
06:30-07:00	95.24	43.50	51.85	90.48	90.48	38.10
07:00-07:30	86.67	34.80	46.67	81.67	80.00	33.33
07:30-08:00	81.58	24.04	36.84	85.53	73.68	28.95
08:00-08:30	80.00	14.50	27.65	80.00	68.89	22.22
08:30-09:00	67.24	9.00	18.77	82.76	56.90	13.79
09:00-09:30	61.19	9.74	16.25	76.12	53.73	10.45
09:30-10:00	58.67	8.70	14.52	76.00	48.00	9.33
10:00-10:30	56.25	8.16	15.56	74.38	43.75	7.50
10:30-11:00	53.41	7.41	12.37	72.73	40.91	7.95
11:00-11:30	53.26	8.51	13.53	73.91	38.04	8.70
11:30-12:00	52.75	7.17	13.67	74.18	37.36	7.69
12:00-12:30	51.61	8.42	13.38	74.19	37.63	8.60
12:30-13:00	53.85	8.60	13.67	75.27	39.56	8.79
13:00-13:30	52.38	9.32	12.96	73.81	39.29	9.52
13:30-14:00	53.16	9.91	15.75	76.58	44.30	10.13
14:00-14:30	60.00	11.19	17.78	80.71	50.00	11.43
14:30-15:00	64.41	13.27	16.24	84.75	54.24	15.25
15:00-15:30	73.47	15.98	19.56	88.78	63.27	24.49
15:30-16:00	79.49	20.08	36.86	92.31	71.79	28.21
16:00-16:30	103.85	40.15	43.00	109.62	92.31	42.31

16:30-17:00	140.00	60.90	74.53	140.00	126.67	60.00
17:00-17:30	136.36	71.18	58.08	131.82	127.27	54.55

表 13, 三亚地区冬季代表日不同解剖部位不同时间段的暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	额部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
08:00-08:30	125.00	25.00	25.00	125.00	100.00	25.00
08:30-09:00	120.00	40.00	50.00	110.00	100.00	50.00
09:00-09:30	131.25	56.25	56.25	121.88	106.25	68.75
09:30-10:00	118.18	40.91	54.55	111.36	95.45	54.55
10:00-10:30	100.00	32.35	44.12	98.53	79.41	47.06
10:30-11:00	88.37	23.26	34.88	95.35	69.77	39.53
11:00-11:30	81.63	20.41	30.61	91.84	63.27	32.65
11:30-12:00	81.82	18.18	27.27	92.73	61.82	29.09
12:00-12:30	75.41	14.75	24.59	86.89	55.74	26.23
12:30-13:00	77.19	14.04	22.81	88.60	57.89	22.81
13:00-13:30	79.31	17.24	24.14	93.10	58.62	24.14
13:30-14:00	82.14	16.07	28.57	91.07	62.50	25.00
14:00-14:30	82.35	17.65	31.37	93.14	64.71	29.41
14:30-15:00	93.02	23.26	34.88	91.86	69.77	37.21
15:00-15:30	97.06	35.29	44.12	101.47	79.41	44.12
15:30-16:00	108.00	40.00	48.00	102.00	84.00	48.00
16:00-16:30	117.65	47.06	52.94	105.88	94.12	47.06
16:30-17:00	120.00	50.00	50.00	115.00	90.00	40.00

表 14, 三亚地区夏季代表日不同解剖部位不同时段的暴露比率

时间 (CST)	暴露比率(%)					
	额部	眼部	颊部	肩部	胸部	垂直面
07:00-07:30	175.00	100.00	75.00	125.00	125.00	75.00
07:30-08:00	166.67	91.67	83.33	137.50	141.67	75.00
08:00-08:30	138.89	72.22	61.11	125.00	116.67	61.11
08:30-09:00	106.90	51.72	51.72	103.45	93.10	44.83
09:00-09:30	87.50	35.00	32.50	90.00	67.50	25.00
09:30-10:00	79.17	25.00	27.08	88.54	64.58	25.00
10:00-10:30	68.35	15.19	17.72	80.38	53.16	15.19
10:30-11:00	63.95	15.12	15.12	77.91	46.51	12.79
11:00-11:30	63.04	14.13	15.22	80.98	42.39	13.04
11:30-12:00	59.62	12.50	13.46	80.77	25.96	9.62
12:00-12:30	66.34	12.87	12.87	94.55	23.76	10.89
12:30-13:00	68.27	11.54	13.46	96.15	23.08	10.58
13:00-13:30	66.00	12.00	13.00	91.50	22.00	10.00
13:30-14:00	62.77	13.83	13.83	84.57	29.79	10.64
14:00-14:30	63.04	13.04	14.13	79.35	43.48	10.87
14:30-15:00	66.25	15.00	16.25	81.25	48.75	12.50
15:00-15:30	72.46	15.94	18.84	84.06	56.52	15.94
15:30-16:00	78.18	21.82	27.27	88.18	61.82	21.82
16:00-16:30	97.50	37.50	37.50	98.75	82.50	30.00
16:30-17:00	160.00	80.00	75.00	145.00	130.00	30.00
17:00-17:30	169.23	84.62	76.92	153.85	146.15	0.00
17:30-18:00	175.00	87.50	75.00	137.50	137.50	0.00

由表 9-14 可见, 各解剖部位的紫外线暴露除绝对暴露量随着日间时间而改变外, 暴露比率在一天之中也会发生变化, 其中暴露比率日间变化最小的为沈阳地

区夏季,垂直面在 10:00-14:00CST 时间段内的各半小时暴露比率较为稳定,半小时暴露比率差异(一段时间内,某特定解剖位置半小时累积紫外线暴露比率最大值与最小值之差)在 2.63%,而在 8:00-16:00CST 时间段内,暴露比率差异增加到 20.71%。不同解剖部位,在 10:00-14:00CST 时间段内的各半小时暴露比率也较为稳定,半小时暴露比率差异在 2.74%(眼部)~10.64%(胸部)之间,而在 8:00-16:00CST 时间段内,暴露比率差异增加到 16.87%(眼部)~36.32%(胸部)之间,在 7:00-17:30CST 时间段内,暴露比率差异则增加到 62.16%(肩部)~89.91%(胸部)之间。

讨 论

一、不同监测方式紫外线暴露规律比较

1、水平和垂直面紫外线暴露监测

目前,紫外线的监测和评估主要是在环境日光UV辐射水平监测的基础上进行的,全球紫外线监测网络逐步完善,环境UV辐射的理论计算模型已经建立^[36],为全球环境紫外线气候长期演变趋势研究及其与臭氧层减少相关关系研究,UV辐射对生物有害效应研究等提供了基础数据,目前,它也是人类日光UV暴露确定的重要依赖因素,为人类制定过度紫外线暴露的正确预防策略提供了可能和依据。国际上建立了国际标准化应用的“全球太阳紫外线指数”(Global solar UVR index, UVI)^[37],其标准计算方法的基本依据就是不同波长(至400纳米)的水平面环境日光UV辐射强度的简单测量。

众所周知,晴天环境紫外辐射强度在日间呈现出以正午 12 时(真太阳时)为中心的钟型曲线,本研究进行的水平紫外线监测也再次呈现了这一规律。但相对于水平紫外线,理论上,由于几何光学的差异,倾斜面 UV 辐射暴露与水平环境不同,因而其他倾斜位面的紫外线暴露定量也很重要,已经有学者进行水平面以外其它位面紫外线暴露的测量,但日间分布研究仍较少。

Blumthaler^[19]、Webb^[20]等进行了垂直面的 UV 光谱辐射的测量,A.V.Parisi 和 M.G.Kimlin^[18]对南半球亚热带地区(Toowoomba,南纬 27.5°)水平面和标准太

阳位面日光 UV 辐射进行了测量分析, A.Oppenrieder 等^[38]和 Schaubeger^[21,22]进行了多个不同太阳位面紫外线的系统测量, 这些位面日光 UV 辐射的监测与分析结果, 与理论推测相一致, 证实了水平面与倾斜面 UV 辐射暴露量和分布不同, 用环境日光 UV 辐射量评价由不同倾斜位面组成的个体的 UV 暴露是不恰当的。

本研究采用垂直吊挂方式在沈阳和三亚地区的晴好天气进行了近似垂直面接受紫外线的实地监测, 自由旋转的方式均衡了不同太阳朝向角度下紫外线暴露的不同, 模拟了近似垂直的各解剖部位在自然环境紫外线场的随机暴露状态, 获得其紫外线剂量及其在日间分布的变化, 垂直面紫外线暴露日间变化曲线为(见图 13b), 沈阳春、秋两季和三亚冬季, 中午期间似平台; 两地夏季中午期间甚至略向下凹陷, 高暴露时间段在上下午早晚时间, 其分布规律有别于经典环境紫外线辐射的钟型曲线, 有其独特的近似双峰的日间分布。相对应, 沈阳春、夏、秋三季垂直面紫外线暴露在正午前后 4 小时(10:00-14:00CST)的累积暴露占全天(8:00-16:00CST)8 小时累积暴露的日间百分比, 最高为春季达 57.95%, 夏季较低, 仅为 45.45%。本研究结果还显示, 沈阳和三亚地区各季节垂直面紫外线量均显著低于水平环境, 8:00-16:00CST 的日累积暴露比率最高为 44.41%, 而最低仅为 11.38%。环境紫外线量有明显的季节差异, 冬季较低, 夏季很高, 而垂直面季节变化相对较小, 且夏季可能小于春、秋季节。

这都表明, 人体近似垂直的解剖部位的紫外线暴露防护不仅仅集中于正午前后。了解垂直面紫外线暴露的日间分布规律将为有效避免过量的紫外线暴露, 采取相应的紫外线防护提供初步依据。

2、旋转人体模型紫外线暴露监测

紫外线对组织的损伤只有其到达该组织并被吸收才会产生。暴露于天然紫外辐射场的人类, 眼部、颊部、四肢、躯干等很多解剖部位与地面接近垂直(或略前倾或后倾), 随机暴露于不同的朝向, 这种人体解剖结构和行为特征将导致其紫外线暴露与水平环境紫外线之间的显著差异, 其更接近于垂直面接受的紫外线暴露。

进行垂直面紫外线暴露监测的监测仪, 其接收面基本处于垂直状态, 无遮挡, 而真实人体不同解剖部位 UV 暴露有其自身的特点, 如眼球在眶内, 受到眼睑、眉弓、鼻梁、颊部等的遮挡或反射^[25,26], 胸部受到头部遮挡等等, 这将改变最终

到达个体损伤靶部位的 UV 辐射量^[27]。因而，在定量实验研究中，研究者们正在努力提高人类日光 UV 暴露测量的精确度，其中很重要的一方面就是采用人体模型进行模拟监测。

采用人体模型研究个体 UVR 暴露状况已经有所报道。M G.Kimlin 等人^[28,31]发现亚热带纬度地区人脸部 UVR 暴露的分布随着一年中的时间和云层变化而改变，当绝对暴露降低时，鼻子却接收相对较高的暴露。Sakamoto Y^[32]等将人体头部模型固定面向南方监测了头部各个解剖部位的 UVR 暴露剂量，结果发现头顶，前额中部和上颊中部的 UV 辐射暴露较高，颞侧和颞侧眼裂稍低，上眼睑内侧暴露相对最低。

与之前的人体模型监测研究不同，本研究更关注了各个解剖部位紫外线暴露在日间的分布变化，旨在阐明紫外线暴露的高危时段，以及日间户外活动时间段对人体紫外线暴露剂量的影响，以有利于引导人们合理安排户外活动时间，或针对不同时段的高暴露部位采取相应的防护措施，更有效的避免紫外线损伤。

本研究表明，在不同地区、不同解剖部位和不同季节间紫外线暴露差异较大，各解剖部位(尤其是眼部和颊部)紫外线暴露日间分布与环境紫外线日间分布差异显著。在沈阳地区，四季接近正午时，太阳高度角达到最大，与水平环境紫外线相同，额部、肩部和胸部紫外线暴露均达到峰值，但是眼部和颊部则不同，它们紫外线暴露最大值分别出现在太阳高度角约 30°和 40°左右的时候(冬季除外)，呈现上下午两个峰值。而三亚地处亚热带低纬度地区，常年日光充足，冬季正午最高太阳高度角与沈阳地区的春、秋季节相近，而五月中下旬更能达到 90°的高度，因而除了眼部和颊部呈现日间双峰分布的暴露规律以外，在三亚夏季正午前后由于胸部受到头部的遮挡作用，其紫外线暴露低于上下午的暴露，呈现显著的双峰分布，紫外线暴露峰值出现在太阳高度角 60°左右。因此，本研究提出，眼部、颊部和胸部除了正午时段 UV 暴露危险较高以外，其早晚时间段的暴露危险可能和正午相当，甚至略高，此时间段的 UV 防护也不容忽视。

对于个体 UV 暴露的定量常采用日累积暴露比率进行评估。本研究得到的夏季一天的额部日累积暴露比率高于 Peter Gies^[39,40]，Holman CD^[41]，Cheeseman^[42]以及 Airey DK^[30]的研究结果，与 Diffey 等人^[43]的结果相近，但低于 Wong 等人^[44]

得到的暴露比值。本研究夏季颊部的日累积紫外线暴露比率与之前的 Peter Gies^[39] 研究结果相近,但低于 Holman CD^[41]、Diffey 和 Cheeseman^[42,43]、Airey DK^[30] 以及 Wong 等人^[44]的暴露比率。这些差异的产生主要可能是由于地理位置、太阳高度角、日间监测的时间段不一致和所监测的解剖部位并非完全吻合造成的。其余解剖部位的紫外线暴露由于监测条件的差异等原因未能进行比较。

本研究除了紫外线日累积暴露比率,还给出了每半小时暴露比率的日间分布,这是基于对眼部和颊部等解剖部位日间分布的认识,认为日累积暴露比率会低估了一天早晚等太阳高度角较低时刻的紫外线暴露。夏季正午前后一段时间的暴露比率比较稳定,但若包括早晚一段时间,暴露比率差异则很显著,在获得人们具体的户外活动时间的前提下,分时间段进行个体UV累积暴露的评估可能更有针对性,更为细致,特别是对于在上下午紫外线暴露较高的时段进行户外活动为特殊的暴露人群的UV累积暴露评估更为如此。

二、不同解剖部位紫外线暴露研究特别是眼部研究的重要意义

无论是实验性研究还是流行病学研究都已证明,过量的紫外线暴露能引起皮肤癌、白内障和免疫抑制等^[4-7]。WHO 报告指出,全球每年因过度紫外线暴露损失 150 万伤残调整寿命年(相当于全球疾病负担的 0.1%)^[6]。其中主要的两个公共健康问题是皮肤癌和白内障^[6]。在具有十三亿人口的中国,皮肤癌的发病率很低,紫外线对人体的主要损害是导致白内障等眼部损伤。

白内障是眼球中的晶体发生混浊,是引起视力障碍的一种具有代表性的眼科疾病,也是导致视力障碍的最常见眼病之一。中国在 50 年代控制了沙眼致盲的主要病因后,目前人群致盲的主要原因是白内障^[45,46]。1999 年资料表明,白内障在我国的患病率约为 0.46%,全国因白内障致盲率为 0.18%,即全国有白内障患者 500 余万,因白内障失明者近 200 万^[45]。WHO 根据印度南部地区有关白内障发病率的观察研究指出,在发展中国家,每 1000 人中每年有 1 例新生白内障,则按我国人口推算,每年还有新增白内障患者 120 万例^[45]。它作为我国视力残疾的首位致病原因,其致残率高,残疾人数多,给患者参与社会活动带来很大的障碍,给社会也带来巨大的经济负担。

大量流行病学证据支持了紫外辐射是白内障的重要危险因素。白内障在我国

的流行病学特征为南高北低，西藏地区尤为严重，且随寿命延长而增高^[47-49]，这与纬度、海拔、人的户外活动时间及其累积年限所导致的太阳紫外辐射差异密切相关。有研究表明双倍 UVB 暴露量的人发生白内障的危险性增加 60%，反之，暴露量减半的人其危险性可减少 40%^[50]。

UVR 对晶状体的损伤是长期的慢性蓄积作用的结果。因此，眼部的紫外线防护就显得尤为重要。眼部紫外线暴露在日间分布与环境紫外线分布不同，引起了我们的关注。其特殊日间分布特征提示我们应该改变传统的观念，在个体紫外线防护上不能仅注重中午时间段的防护，还要考虑到一些解剖部位暴露的特殊性。眼部日光紫外线不仅仅在正午危害较大，其它时段也不容忽视。这就提示我们，要注意其高暴露时间段的防护，这对个体户外活动(防止眼的紫外线过度暴露等)具有重要的指导意义。从户外行为上有效减少紫外线暴露对于中国乃至其他以眼部损伤为主的人群来说，都将是一种减少眼部紫外线损伤的最具成本效益的预防手段。

此外，许多健康科学家为阐明过度紫外线暴露的危险性与其所导致的损伤之间的剂量-效应关系做出了大量的努力。在这些研究中，对个体紫外线暴露量化尤为重要。人群紫外线生物效应的流行病学研究关键在于人群紫外线的暴露评价，正确测量到达晶状体的紫外辐射量是流行病学调查可靠性的关键。然而，无论从流行病学还是定量实验研究来说，对人体紫外线暴露水平的定量都并不简单。

早期的研究往往采用区域的环境紫外线剂量来评价，用当地环境紫外线剂量作为人群暴露的代表值存在很大误差。在近年的流行病学研究中，个体紫外线暴露通过测量一段时期特定解剖部位的紫外线剂量进行了评估，包括肩^[51-54]、胸^[52, 54-56]、背^[52, 57, 58]、臂^[58, 59]、腕^[60-63]、眼部(眼镜侧面)^[53, 64, 65]以及领口部位^[66-68]等。研究对象通常是特殊人群，如学生、建筑工人、运动员、室内工人等。但是，由于人体解剖结构的复杂性、个体活动的特殊性和进行暴露监测的短期性，要为日光紫外线与其所致疾病建立剂量-反应关系还需要做更多地研究。科学家一致认为仍有必要对到达人体不同解剖部位的紫外线进行精确定量。

因此，我们希望通过包括眼部在内的不同解剖部位紫外线暴露剂量的定量，对紫外线暴露剂量与相关疾病间剂量-反应关系的评价提供帮助。基于个体紫外线

暴露定量的迫切性和重要性，我们分析了人体各部位的解剖特征，考虑到人一生中面对各方位的概率基本均等，研制了旋转人体模型，利用旋转人体模型监测日间全程个体紫外线暴露状况，模拟人体各部位皮肤紫外线暴露的标准状态。这种监测模式从解剖结构上再现了个体的光暴露状态，旋转的方式恰好用群体面向各方位概率分布的均衡性替代了单一个体暴露朝向的随意性，以普遍人群的标准暴露状态评价个体皮肤的紫外线暴露剂量。这种监测方式代表的不是一个个体、一个年龄段或一种职业的暴露状态，而是整个人群的标准暴露状态。

三、本研究可能存在的问题与未来研究展望

从本研究结果一中可明显看出，旋转人体模型各解剖部位紫外线暴露的日间变化规律与环境紫外线日间变化规律具有共同之处，也存在一定的差异性。本研究中每半小时的紫外线累积剂量描述了一天中环境和旋转人体模型各解剖部位的紫外线变化情况，沈阳和三亚地区各季节环境紫外线均表现为 10:00~14:00CST 之间的剂量较高，这与传统认知“紫外辐射的最大值通常出现在上午 10 点到下午 2 点之间”且“夏天的剂量超过冬天 4 到 6 倍或更多”相对应，这种用累积剂量来表示规律的方式还能更直观地看出不同时间段的暴露情况。

有研究表明，手腕是个体紫外线定量法中最可靠的身体部位，其紫外线暴露量为头部的 50%^[24]。本次研究未能监测手腕部的紫外线暴露情况，而且目前，相关研究中可相互参比的解剖部位紫外线暴露也还较少，即使是有研究相同的解剖部位由于被监测的解剖部位具体位置不同，其可比性也较差，因而需要进一步探寻研究更多解剖部位紫外线暴露状况以相互参考和验证。

紫外线剂量无论是在同一季节中不同时间段上的变化还是不同季节中同时间段上的差异，都与太阳高度角的大小变化有关。在沈阳地区冬季的太阳高度角变化范围较小，最大值在 25°1'，到达皮肤各部位倾斜面上的剂量与水平面上的紫外线剂量相差较小；而沈阳地区夏季太阳高度角最大可达 71°28'，三亚地区五月太阳高度角更是可以达到近 90°，紫外辐射强度也较大，造成皮肤各部位的紫外线量与环境紫外线量之间的差距进一步拉大。而无论是哪个季节，一天中早晚时间段，各紫外线累积剂量之间的差异很小，甚至有些部位的数值还超出环境量，这可能是在太阳高度角较小的情况下，水平面上的紫外线剂量反而小于倾斜面上的剂量，

这与之前的研究结果相近，这也就解释了为什么肩部、额部在冬季接近正午及其他季节日间早晚时段太阳高度角较低时半小时累积紫外线暴露比率高于1(胸部有时也出现半小时暴露比率高于1)，这也提示我们要注意早晚时间段的紫外线防护。

分析环境紫外线与人体模型不同解剖部位紫外线暴露的变化规律，可以归纳出影响各解剖部位紫外线暴露的三个主要影响因素，即太阳高度角、解剖部位和旋转的监测方式。在晴朗天气下，在不考虑云层、大气透明度等环境因素的变化时，理论上认为太阳高度角决定了日光 UV 辐射达到地面的路径，进而直接影响着达到地面 UV 辐射的强度，而太阳高度角和解剖部位一起进一步决定了各个解剖部位上紫外线的入射方向，因此这两方面很大程度上影响着皮肤的紫外线暴露量。旋转监测方式本身均衡了不同朝向角度对个体紫外线暴露的影响，因此本研究所得半小时紫外线暴露日间分布为不同朝向角度综合作用的结果。

由于本研究所测量的为 UVA 和 UVB 总量，UVA 与 UVB 的日间比例是变化的。早晚时间段内，太阳在空中位置较低，入射到地面的 UV 需要穿过更长的路径，UVA 和 UVB 总量虽然较高，但其中的 UVB 比例较低，因此，还需要进一步研究确定入射 UV 在日间光谱分布的变化，以更明确各个时间段内 UV 暴露的危险。

我们所获得的监测数据是紫外线暴露半小时累积剂量，是半小时内太阳高度角持续变化的结果，它影响对到达紫外线峰值时的高度角的准确判断。因此，所谓眼部和颊部紫外线暴露峰值出现时的高度角为 30° 和 40° 是读取数据时点所对应的太阳高度角。而实际的峰值可能出现在读取数据前的半小时之中，即峰值所对应的太阳高度角可能小于 30° 和 40° 。

结 论

1、旋转人体模型的额部、肩部紫外线暴露四季日间变化特点与水平环境紫外辐射相近，为单峰钟型曲线；而眼部和颊部紫外线暴露与环境紫外辐射四季日间变化特点不同，其更接近于垂直面紫外辐射的日间变化，呈现日间双峰分布。

2、额部和肩部紫外线暴露随太阳高度角升高而增加，胸部紫外线暴露峰值出现在太阳高度角约为 60° 时，眼部和颊部紫外线暴露峰值分别出现在日间早晚时段太阳高度角约为 30° 和 40° 时。

3、不同解剖部位的紫外线暴露比率存在显著季节差异，冬季最大，夏季较低，个体紫外线暴露评估中应采用不同季节的暴露比率。

旋转人体模型不同解剖部位在相对太阳 不同朝向角度的紫外线暴露分布研究

前 言

臭氧层破坏这一重大环境问题提出后，紫外线气候变化引发的两个主要公共健康问题-皮肤癌和白内障备受国际社会关注^[11,69]。当今人类的紫外线终生暴露似乎要比以前多^[1]，而影响个体紫外线暴露增加的因素很多，主要是环境紫外水平的升高和个体行为导致暴露的增加两方面。

自上世纪80年代，大量化学物质破坏了大气臭氧层这道保护人类健康的天然屏障，引起地面环境紫外辐射水平增加。至上世纪末，北纬25°~60°区间臭氧层已经减少3~6%，地球表面紫外线平均增加了约4~7%^[70]。此外，在经历了数十年的消耗臭氧化学物质侵袭之后，尽管全球对于臭氧层采取了相应的保护措施，但臭氧层仍还需要50年甚至更长的时间才能恢复，这必然导致紫外线相关健康问题持续存在。

最近十多年，人们的行为习惯是影响个体紫外线暴露增加的另一主要因素，户外活动的普遍增加和日光浴行为常常导致过量的紫外线暴露。皮肤晒黑的时尚在浅肤色人群中流行，越来越多的人认为日光浴后的黝黑肤色是一种自然美，更有许多儿童和他们的家长认为晒黑是迷人和身体健康的象征。这样在较小年龄进行日光浴频率的增加会导致接下来的10~20年中黑色素瘤危险性的增加^[71]。这些个体行为方式的变化使人类更多的暴露于紫外线环境，再加之人类预期寿命的延长等等，将最终导致个体较高的紫外线终身暴露，引发一系列健康问题。因此，可以说环境紫外线是皮肤癌、白内障、翼状胬肉等紫外线相关疾病的危险因素，而个体生活方式的改变和寻求日光暴露的行为则对这些疾病的生长起了很大的作用。

目前世界范围内皮肤癌患者有不断增多趋势：全球每年平均有非黑色素瘤皮肤癌新发病例200~300万，黑色素瘤新发病例13万^[72]。在许多以白色人种为主的发达国家皮肤癌的发病率有了急剧升高^[73-75]。美国每年有超过130万例新诊断的皮肤癌，其中大约90%的新增病例归因于紫外线暴露^[76]。澳大利亚是世界上皮肤癌发病率最高的国家，在过去不到20年的时间内澳大利亚皮肤癌患者增加了一倍多，自1995年以来增加了三分之一^[77]，皮肤黑色素瘤已经成为第四大常见肿瘤^[78,79]。而对于有色人种而言，因肤色的遗传优势皮肤癌患病率很低，在我国仅为1~2/10万^[80,81]。但若因此认为只有浅肤色人群需要防止过量的太阳暴露并不恰当。虽然深色皮肤有更多的保护性黑色素，但皮肤还是对紫外辐射的损伤效应敏感。而且，在深色皮肤人群中皮肤癌的发病率虽然较低，但却还是发生了，并经常在更晚更危险的阶段被检查出来，因而病死率更高。所以不管是皮肤癌高发人群还是低发人群，对太阳紫外线的防护都很重要。

此外，对于有色人种，不能忽略的另外一个重要事实就是，白内障患病率高于白种人^[6,82-84]！国人是有色人种的重要组成部分，白内障作为我国视力残疾的首位致病原因，其致残率高，残疾人数多，给患者参与社会活动带来很大的障碍，给社会也带来巨大的经济负担。1999年资料表明，全国因白内障致盲率为0.18%，即因白内障失明者近200万^[45]。WHO根据印度南部地区有关白内障发病率的观察研究指出，在发展中国家，每1000人中每年有1例新生白内障，则按我国人口推算，每年还有新增白内障患者120万例^[45]，美国的一项研究显示，因臭氧层破坏导致紫外线增加，白内障手术造成的经济损失将增加数十亿美元^[85]。特别应该指出的是，在我国白内障的治疗工作仍存在许多困难和问题，我国患病人群的主体在农村，白内障手术覆盖率仅为4%左右，很难满足农村白内障患者的治疗需要，这导致一些严重患者最终失明，不但显著降低了他们的生命质量，而且造成了巨大的疾病负担、经济负担和社会负担^[86]。

大量流行病学证据支持了紫外辐射是白内障的重要危险因素。白内障在我国的流行病学特征为南高北低，西藏地区尤为严重，且随寿命延长而增高^[47-49]，这与纬度、海拔、人的户外活动时间及其累积年限所导致的太阳紫外辐射差异密切相关。有研究表明双倍UVB暴露量的人发生白内障的危险性增加60%，反之，

暴露量减半的人其危险性可减少 40%^[50]。因此，紫外线相关白内障是可以通过防止眼部紫外线的过度暴露而被预防或延迟发生的。这种病因预防，不仅能从根本上降低甚至消除视力受损乃至失明对患者身心健康及生活质量的影响，而且，它若能将白内障发病推迟 10 年，则经济负担即可减半^[87]，是最具有成本效益的防治手段。

因此，无论是基于皮肤癌的防护还是白内障的防治，全球范围的紫外线暴露防护策略研究都是必要的，卫生和气象部门乃至全社会都应积极采取应对措施，降低紫外线相关疾病的危险性！

紫外线照射人体表面取决于直射和散射的紫外线辐射分布以及人体表面的空间朝向（人体姿势、躲避直射阳光等），特别是对于紫外线直射，人体表面的朝向是非常重要的^[24]。在强烈的日光下，人们会本能的回避直射紫外线，这就是利用人体的朝向有效降低紫外线暴露的一种方式。此外，与人们的普遍认知相一致，户外个体在朝向阴影时，也会有效降低紫外线的暴露水平。因此具体阐明特定朝向作用对人体不同解剖部位接受太阳紫外辐射的影响，将对指导个体户外活动行为，提醒公众有意识地自觉回避紫外线提供科学依据。简单的改变个体直接暴露紫外线的行为方式，将提供一个告知公众预防紫外线过度暴露的简化方法。

我国南北纬度跨越近 50°，涵盖了太阳高度角全域的紫外线辐射特征。在本研究中，根据纬度选择沈阳（41°51'N，123°27'E）和三亚（18°19'N，109°42'E）两地，通过旋转人体模型，对（0°，360°]范围的不同朝向角度下的额部、眼部、颊部、肩部和胸部的日间紫外线暴露进行了实地监测，探讨不同个体行为特征（即不同朝向角度）下各解剖部位紫外线的暴露状况，研究不同朝向的防护效果。这将对提醒公众有的放矢地做好防护，开展“一级预防”，对人们进行行为干预提供有效信息！此外，我们希望通过对不同朝向角度的各解剖部位紫外线暴露的监测，对特定朝向角度进行工作的特殊暴露人群的个体紫外线暴露定量评价提供帮助。

材料和方法

一、旋转人体模型

旋转人体模型分为两部分，见论文一。本次研究中不启用电源，旋转人体模

型按固定角度人工手动旋转。

二、紫外线监测仪及其校正

同论文一。

三、监测地点、时间及气象条件

(一) 地点

本研究的监测地点为中国辽宁省沈阳市(北纬 $41^{\circ}51'$, 东经 $123^{\circ}27'$, 平均海拔 50 m), 其气候四季分明, 以及海南省三亚市(北纬 $18^{\circ}19'$, 东经 $109^{\circ}42'$, 平均海拔 3.55-4.5m), 全年温暖, 为热带海洋季风气候。

(二) 时间

沈阳地区四季变化分明, 本研究选择冬至和夏至前后进行日间连续监测, 两监测期间日间太阳高度角最高值分别达到约 25° (冬至) 和 70° (夏至) 左右。三亚地区位于北回归线以南, 全年日光充足, 在每年的 5 月中下旬, 太阳高度角在正午可达到最高值 90° , 而在冬至前后最低高度角也高达近 50° 。故本研究选择 5 月和 12 月太阳高度角最高日和最低日前后(太阳高度角最高值分别达到约 50° 和 90°), 进行三亚地区日间紫外线暴露监测。每天依据季节和日照情况确定日间的监测时间, 沈阳地区夏季为 6:30-17:30CST, 冬季为 8:00-16:00CST。三亚地区监测时间均为 7:00-18:00CST。

(三) 气象条件

所有监测均在晴朗少云天气下进行。根据天气预报为参考, 早晨天气晴朗则进行监测, 日间天气发生变化, 遇阴雨则停止监测。

四、监测方式

旋转人体模型水平放置, 每次监测前使旋转人体模型冠状面与日光在地面的投影垂直(即面部正对太阳, 记为 90°), 每间隔 30° 依次旋转模型 360° (模型冠状面背面与日光在地面的投影垂直, 即面部背对太阳时, 记为 270°), 即监测模型不同朝向的角度范围为 $(0^{\circ}, 360^{\circ}]$, 每次监测扫描 12 个朝向角度的紫外线暴露值, 如图 20 中所示。记录每个朝向角度下的瞬时值, 单位是 $W m^{-2}$, 填入监测表

格中。每次记录在 2 分钟内完成，此时太阳高度角和方位角变化微小。每 15min 按上述步骤重复实验读取一次数据。垂直面不同朝向角度下日光紫外线暴露监测方式同以上旋转人体模型的监测。

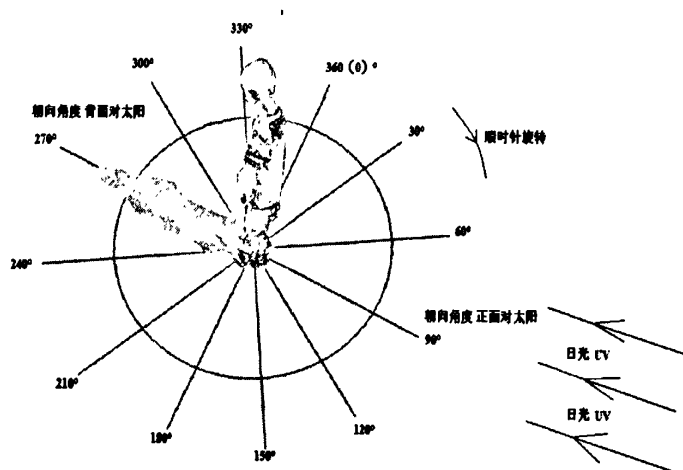


图 20，旋转人体模型不同朝向角度下紫外线暴露监测示意图

五、实地监测

辽宁省沈阳市监测在 2005 年 12 月和 2009 年 6 月进行。海南省三亚市监测在 2009 年 1 月和 2009 年 5 月进行。在上述时间地点和气象条件下，将旋转人体模型水平放置在空旷无遮挡的地面，保持眼眶内监测仪距地面为 1.55 米。此外，两个紫外线监测仪分别水平和垂直放置于旋转人体模型一侧的无遮挡处（全天监测期间太阳不被遮挡），以测量在相同时段的水平环境日光紫外线及垂直面日光紫外线暴露作为比较。考虑到反射对监测结果的影响，研究选择在粗糙的地面背景下监测，其反射能力较弱。监测时要注意检查各监测仪的工作状态，以确保监测工作的顺利进行。每次开始时将其调零，并切换到记录瞬时强度的状态，每间隔 15min 由监测负责人（均受过培训，熟练掌握仪器的操作方法）读取一次数据，单位为 $W m^{-2}$ 。

结 果

本次研究在辽宁省沈阳市和海南省三亚市的四个监测期间，代表了沈阳和三

亚地区最高和最低太阳高度角期间，正午太阳高度角在沈阳冬、夏至日分别约为 25°和 71°，在三亚冬至日约为 48°，五月中下旬约为 90°。日间不同时点的太阳高度角和方位角变化见论文一中表 1。本次研究实际共监测 12 天。

一、沈阳和三亚两地四个监测期间的全部监测结果

两地四个监测期间水平环境紫外线监测结果如图 21 所示，垂直面各个朝向角度（包括朝向角度为 90°和 270°，即正面对太阳和背对太阳）的紫外线暴露监测结果如图 22-33 所示，旋转人体模型不同解剖部位监测结果，如图 34-105 所示。

1、沈阳和三亚地区环境紫外线日间分布

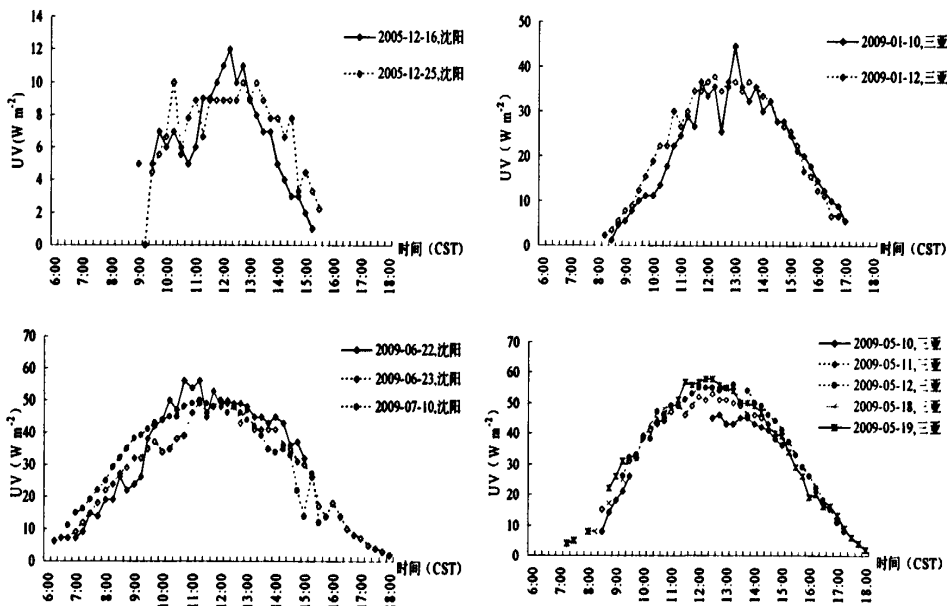


图 21，沈阳和三亚地区四个监测期间环境紫外线日间分布

如图 21 所示，环境 UVR 不受监测仪器相对太阳不同朝向角度的影响，日间分布同论文一中所述，呈现单峰钟型曲线。

2、沈阳和三亚地区垂直面不同朝向角度的紫外线暴露日间分布

(1) 90°

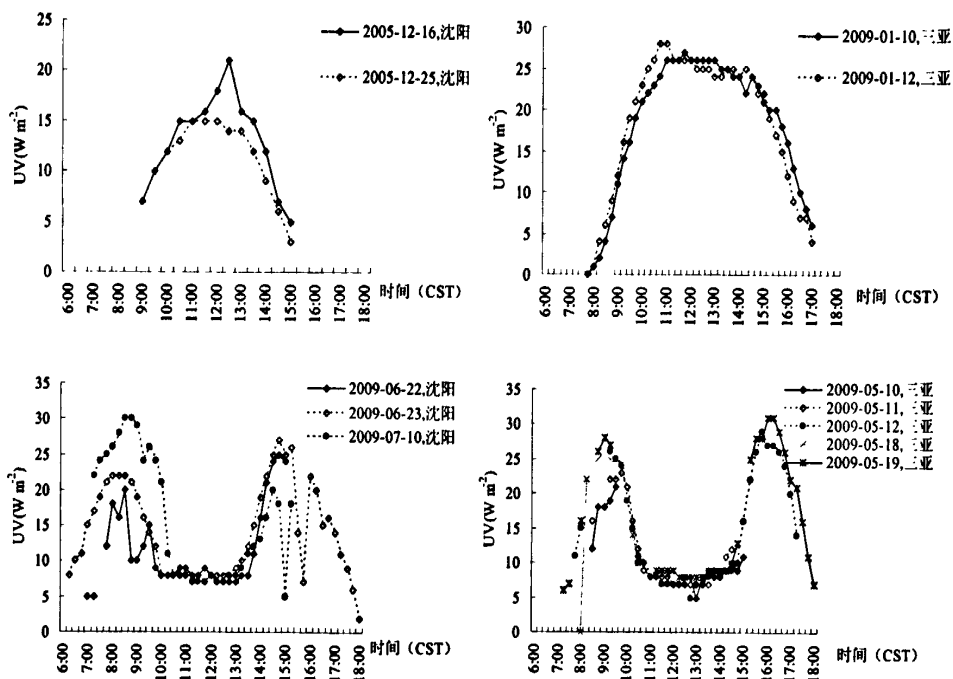


图 22, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 90°时的紫外线暴露日间分布

图 22 清晰表明, 垂直面朝向角度为 90°时 (正面对太阳) 的紫外线暴露在日间的分布各季节显著不同, 沈阳和三亚的冬季为单峰, 在正午前后暴露较高, 而在沈阳的夏季和三亚的五月, 为显著的双峰分布, 暴露最高强度在早晚时间段而非正午。如以下图 23-33 所示, 不同朝向角度下, 垂直面的紫外线暴露日间分布不同, 这在沈阳的夏季和三亚 5 月份的结果中更为显著。其中在图 23 和图 33 中所示, 120°和 60°朝向角度下, 垂直面紫外线暴露日间分布与 90°朝向角度 (正面对太阳) 相似, 呈现显著的双峰分布。随着偏离面对太阳, 即朝向角度变化, 垂直面的紫外线暴露强度降低, 日间分布也趋向于呈现单峰, 如图 24-32 所示。

(2) 120°

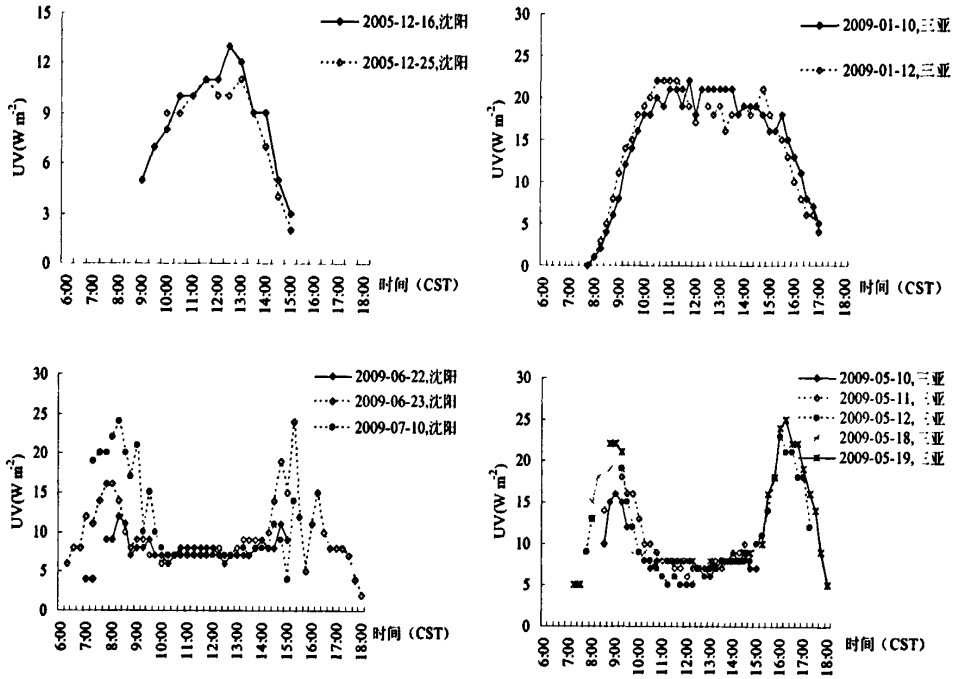


图 23, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 120°时的紫外线暴露日间分布

(3) 150°

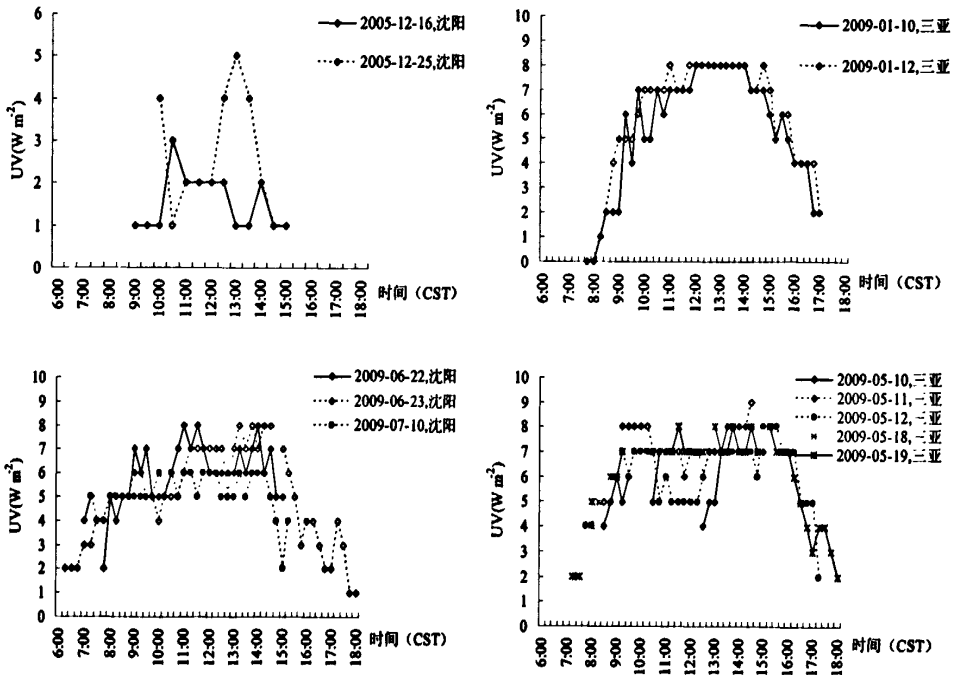


图 24, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 150°时的紫外线暴露日间分布

(4) 180°

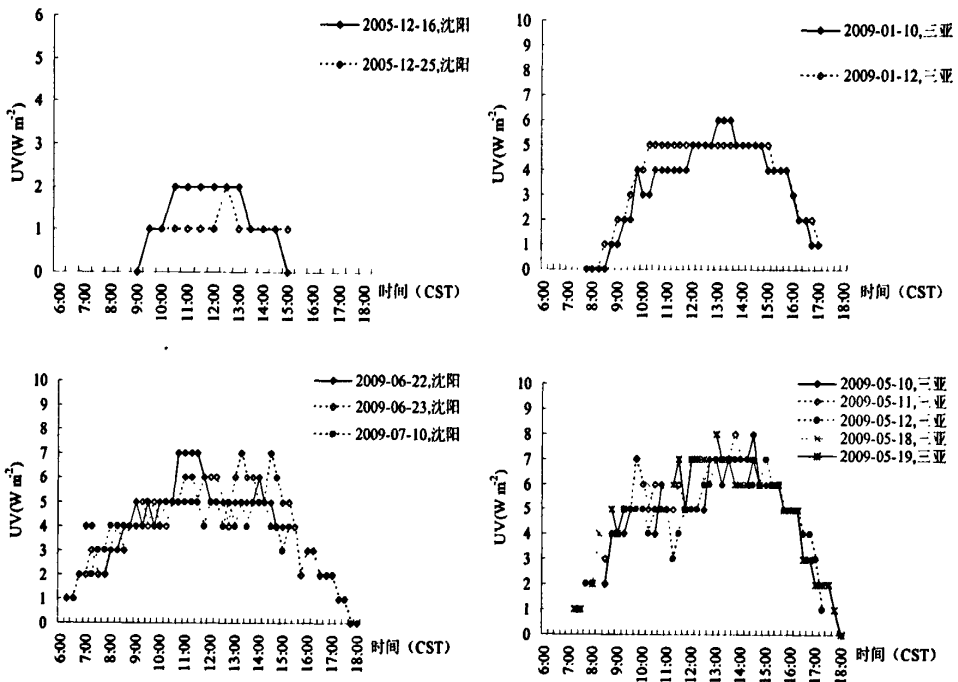


图 25, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 180°时的紫外线暴露日间分布

(5) 210°

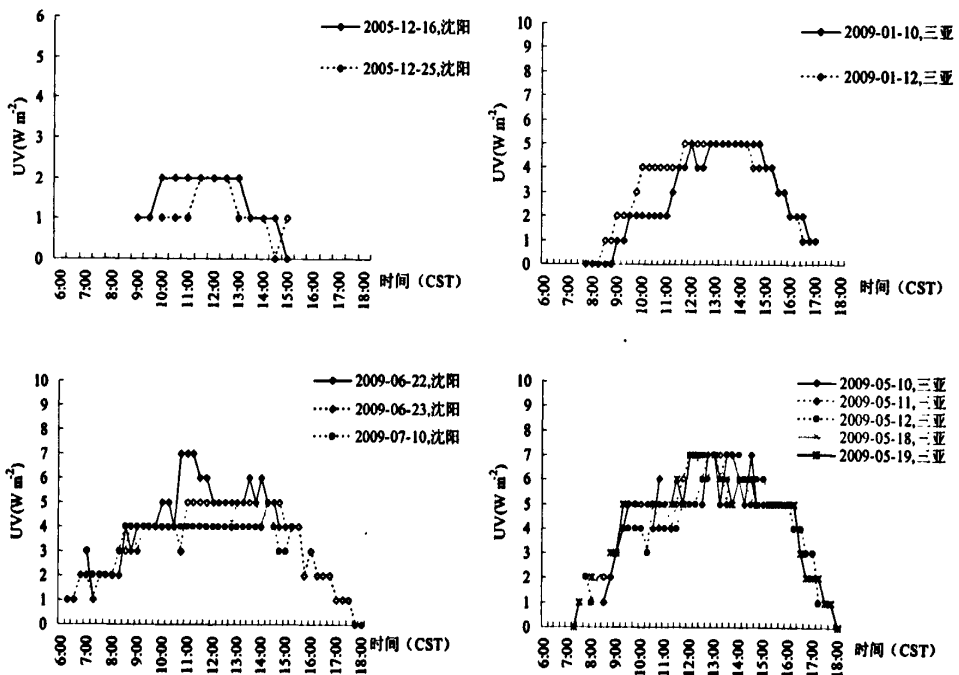


图 26, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 210°时的紫外线暴露日间分布

(6) 240°

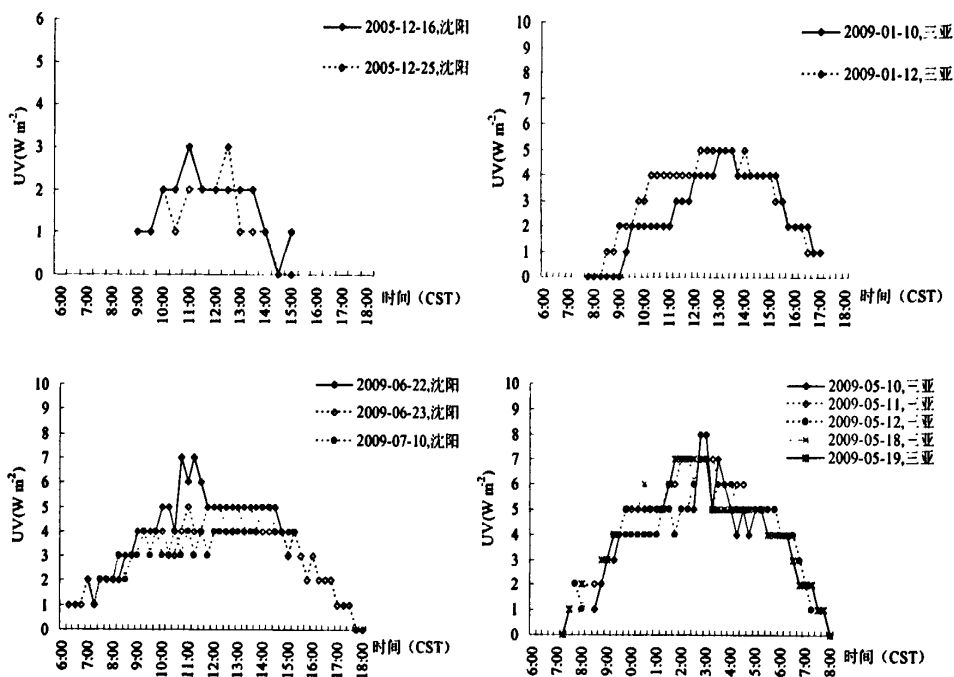


图 27, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 240°时的紫外线暴露日间分布

(7) 270°

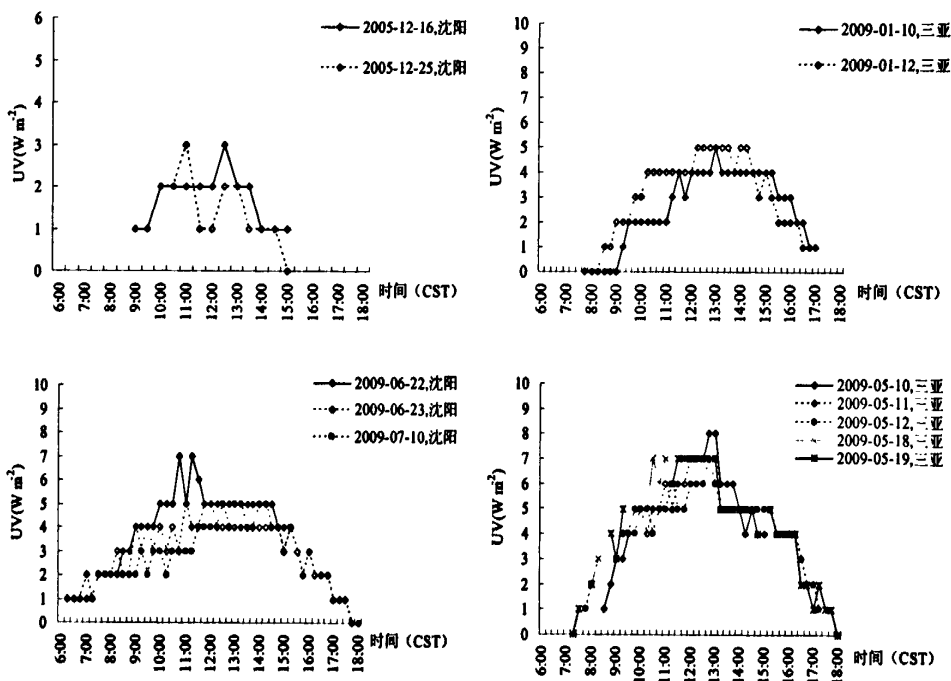


图 28, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 270°时的紫外线暴露日间分布

(8) 300°

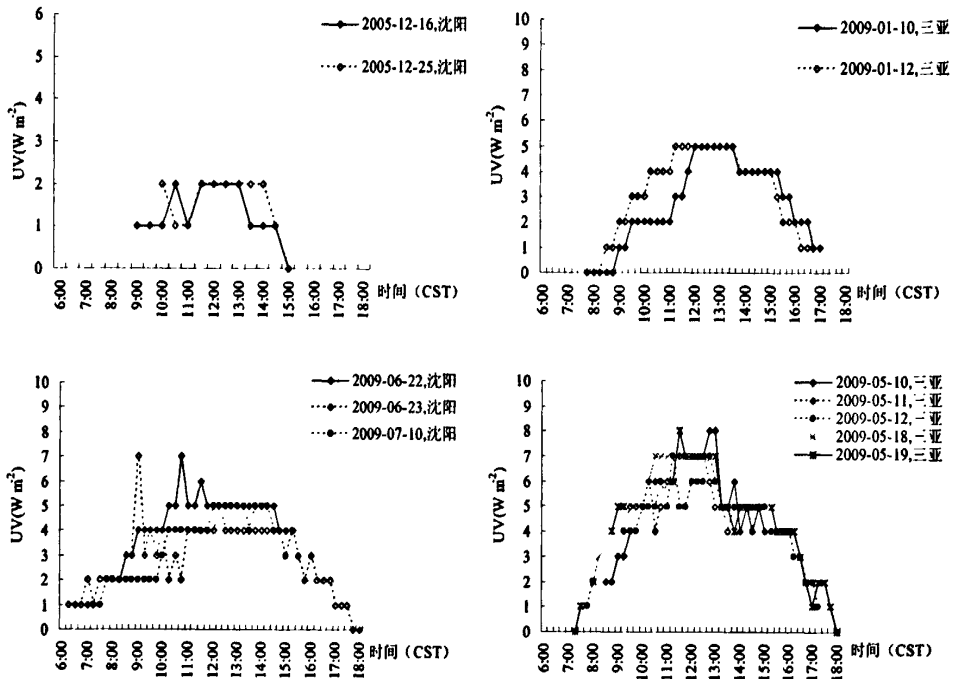


图 29, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 300°时的紫外线暴露日间分布

(9) 330°

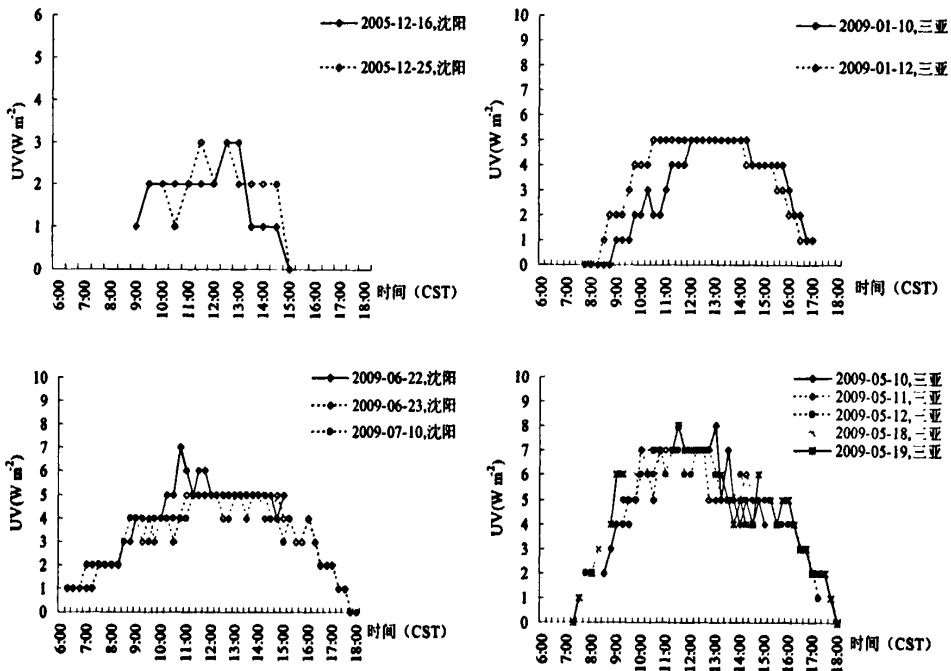


图 30, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 330°时的紫外线暴露日间分布

(10) 360(0)°

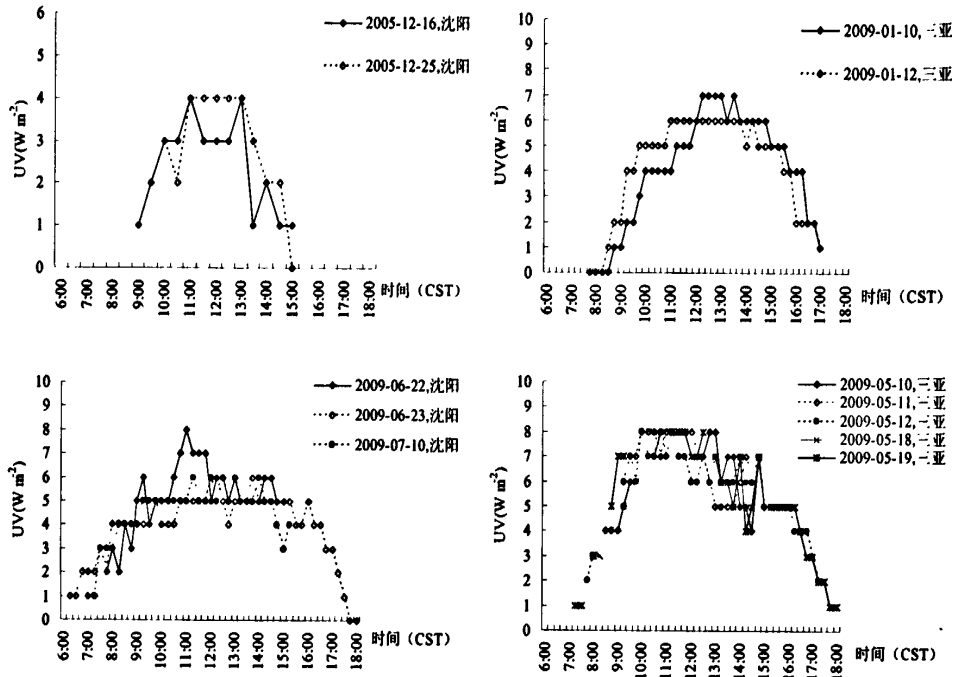


图 31, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 360(0)°时的紫外线暴露日间分布

(11) 30°

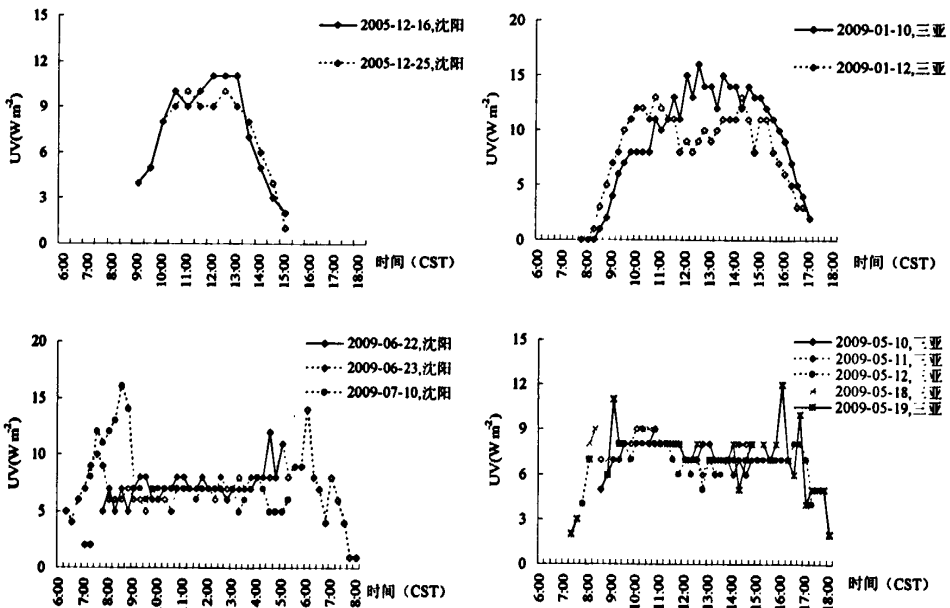


图 32, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 30°时的紫外线暴露日间分布

(12) 60°

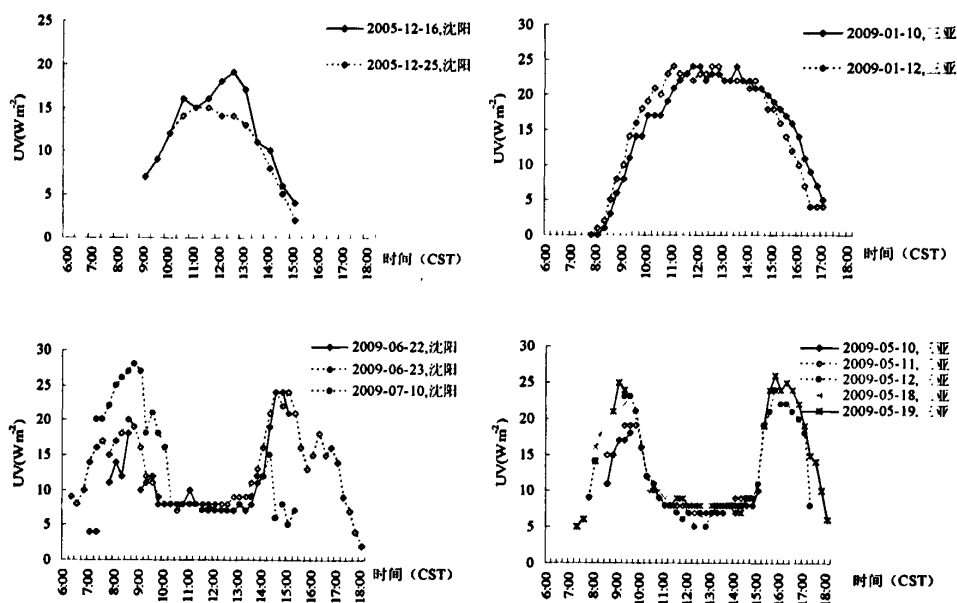


图 33, 沈阳和三亚地区垂直面朝向角度为 60°时的紫外线暴露日间分布

3、沈阳和三亚地区旋转人体模型不同解剖部位不同朝向角度的紫外线暴露日间分布

(1) 额部

(1.1) 90°

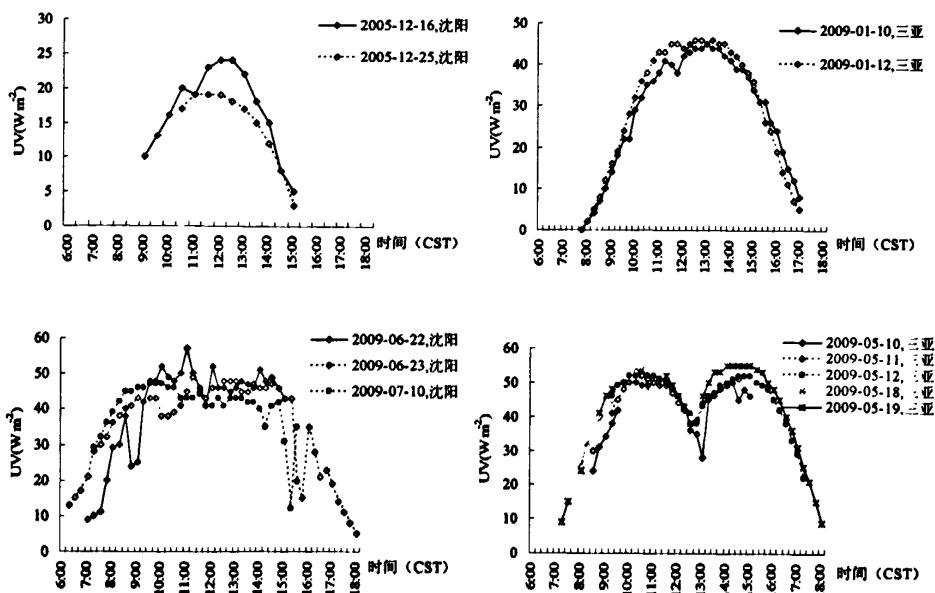


图 34, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90°时额部紫外线暴露日间

分布

(1.2) 120°

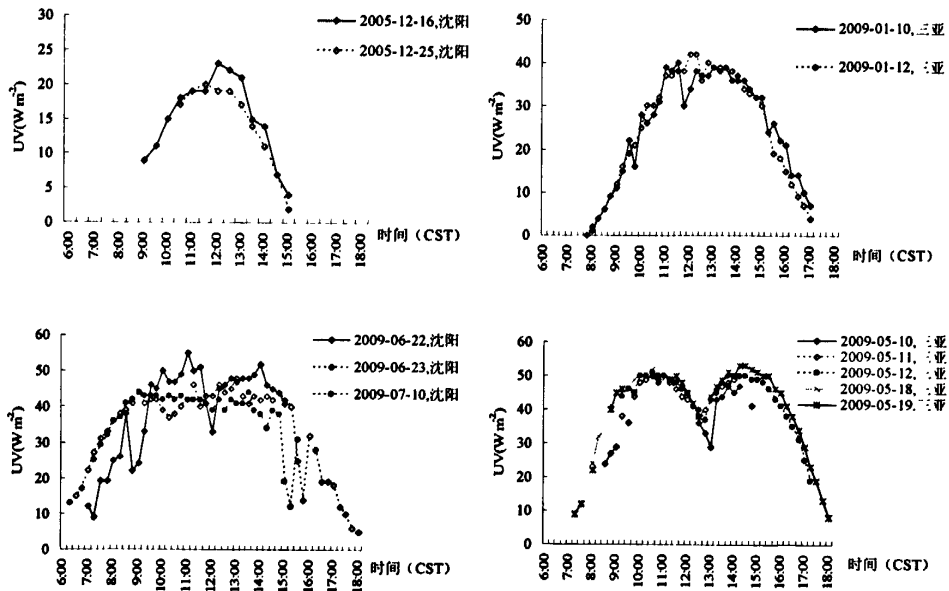


图 35, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120°时额部紫外线暴露日间分布

(1.3) 150°

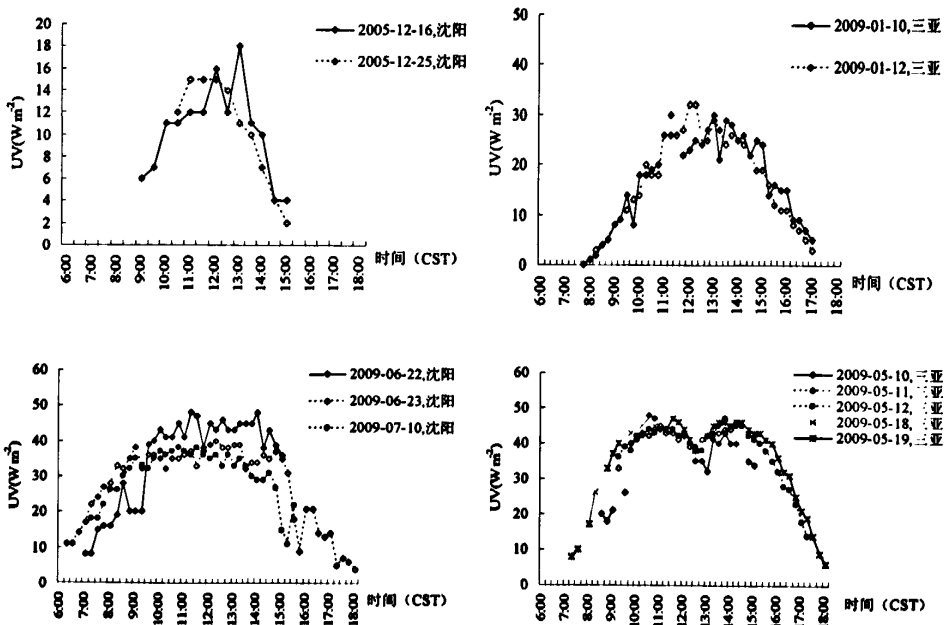


图 36, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150°时额部紫外线暴露日间分布

分布

(1.4) 180°

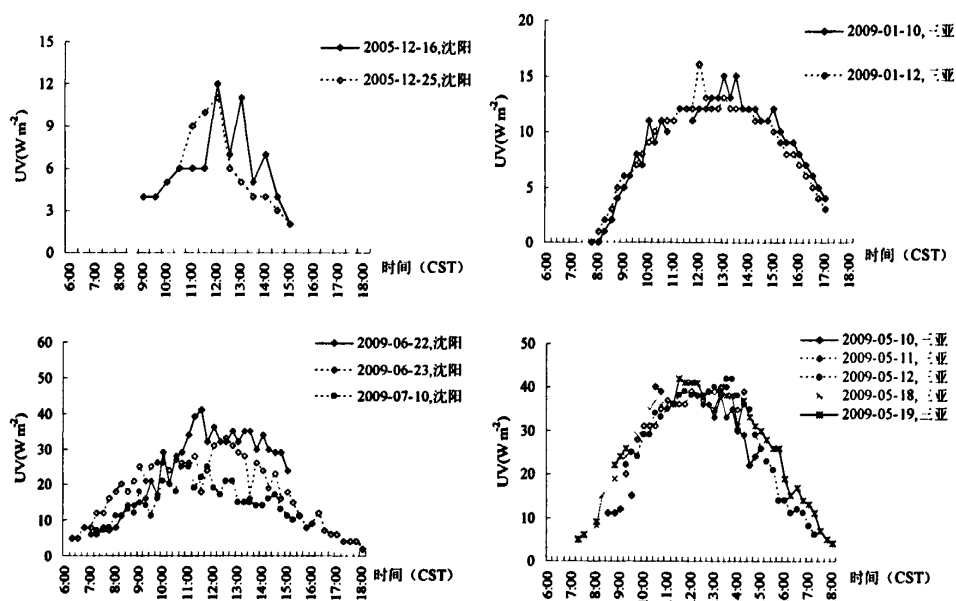


图 37, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180°时额部紫外线暴露日间分布

(1.5) 210°

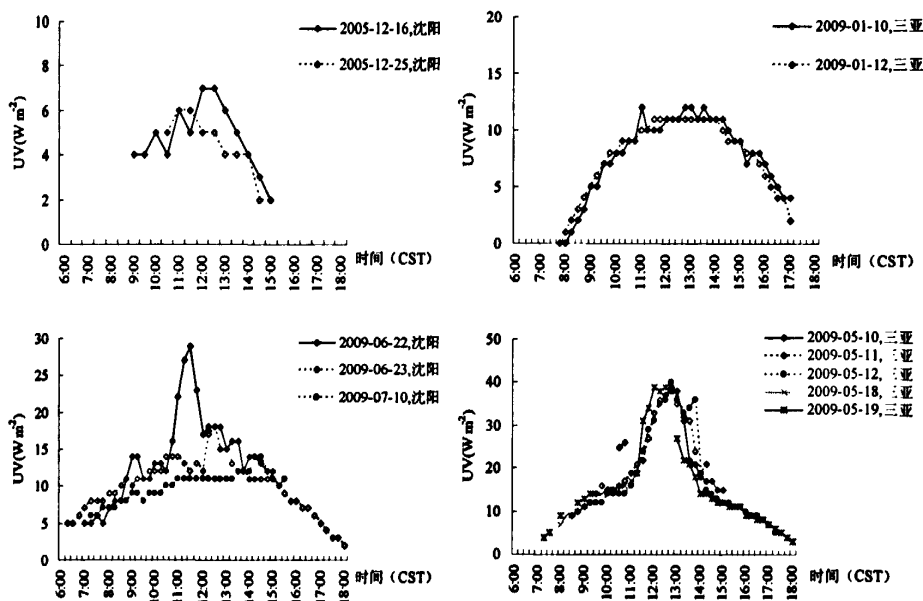


图 38, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210°时额部紫外线暴露日间分布

(1.6) 240°

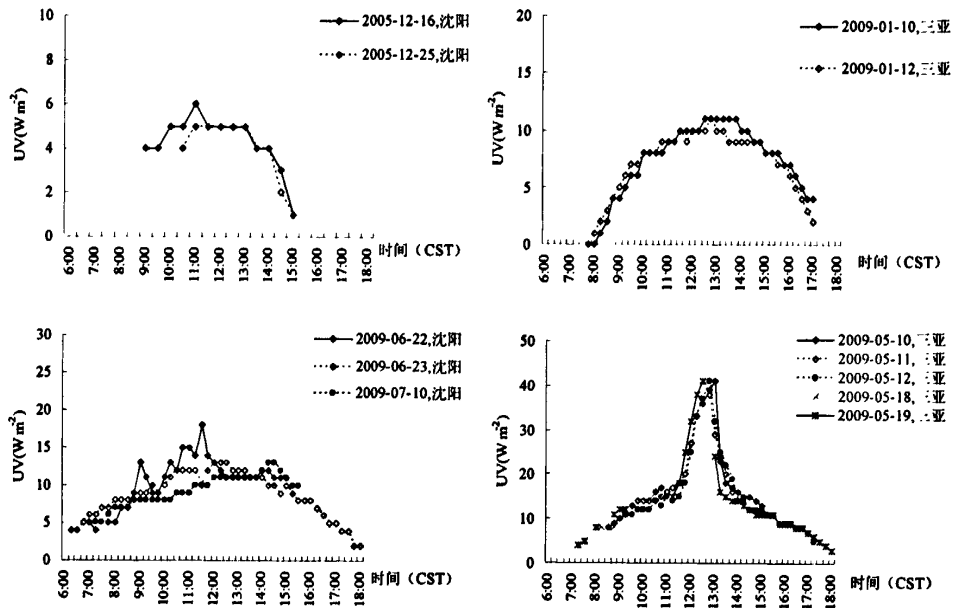


图 39, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240°时额部紫外线暴露日间分布

(1.7) 270°

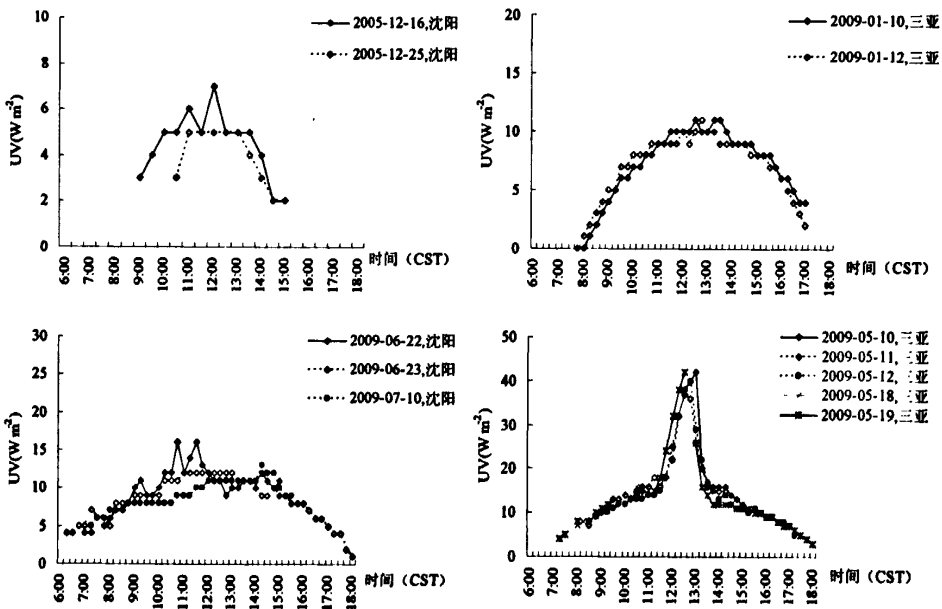


图 40, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270°时额部紫外线暴露日间分布

(1.8) 300°

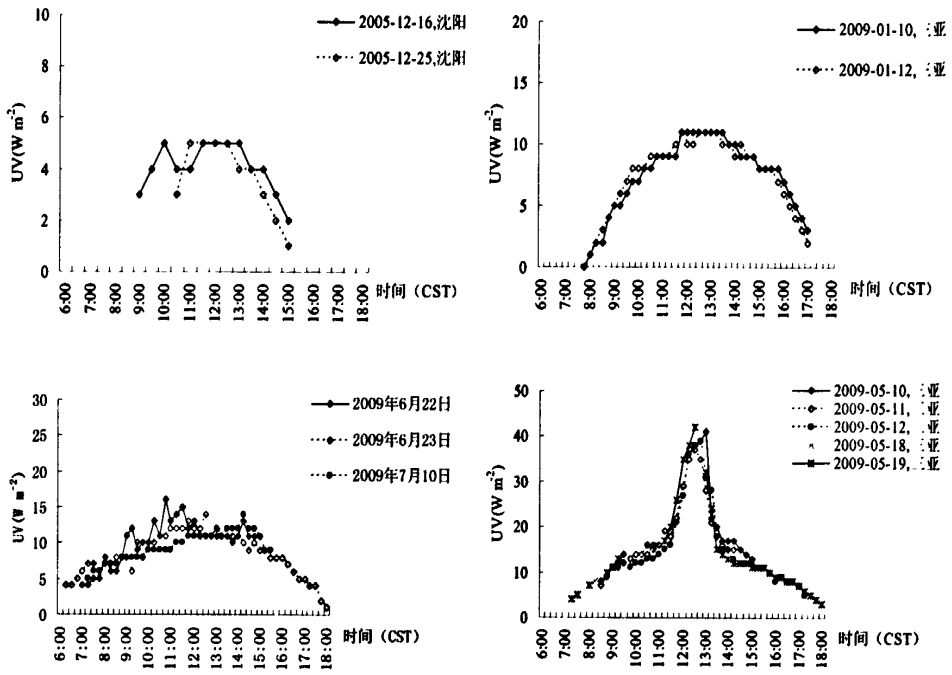


图 41, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300°时额部紫外线暴露日间分布

(1.9) 330°

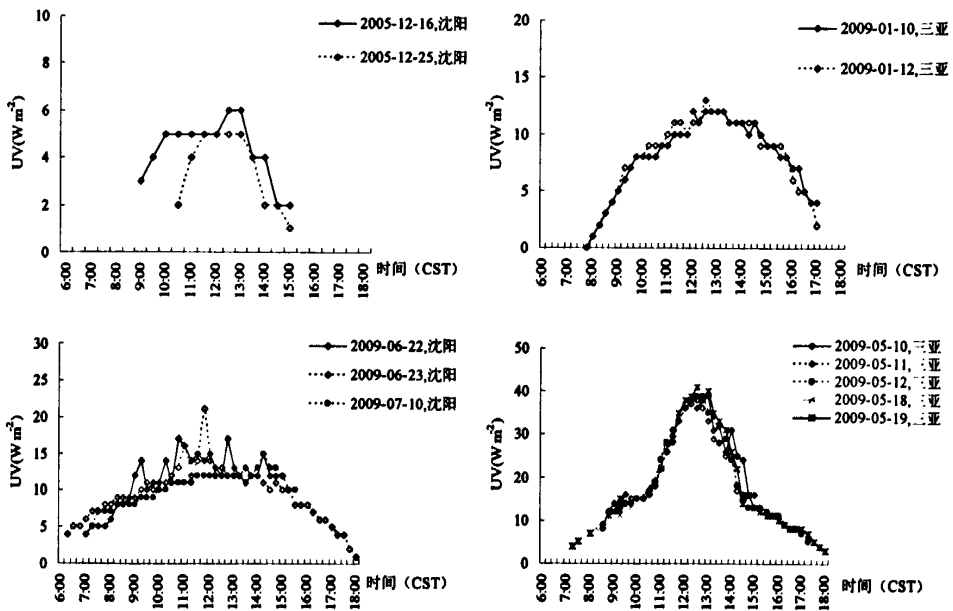


图 42, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330°时额部紫外线暴露日间分布

(1.10) 360(0)°

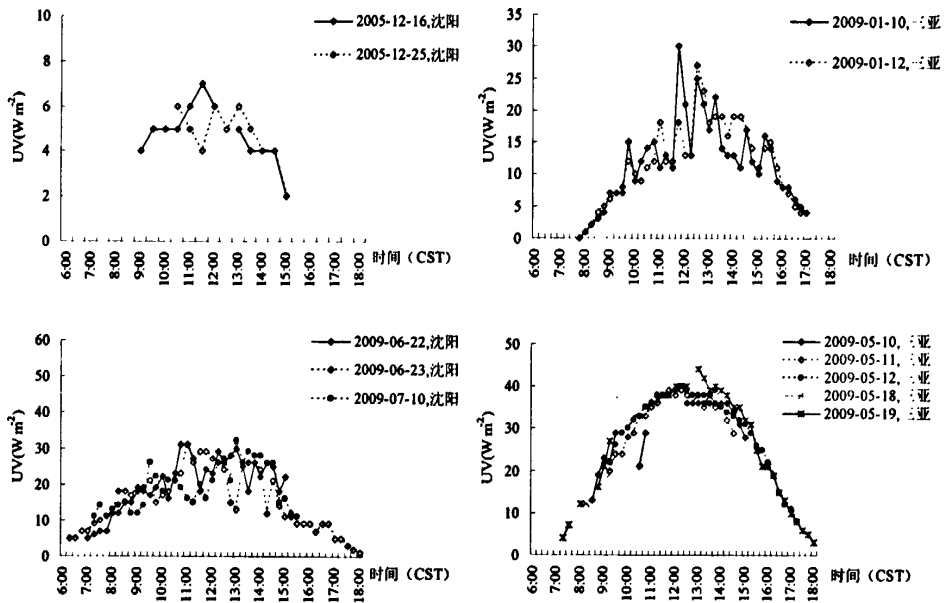


图 43, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 360(0)°时额部紫外线暴露日间分布

(1.11) 30°

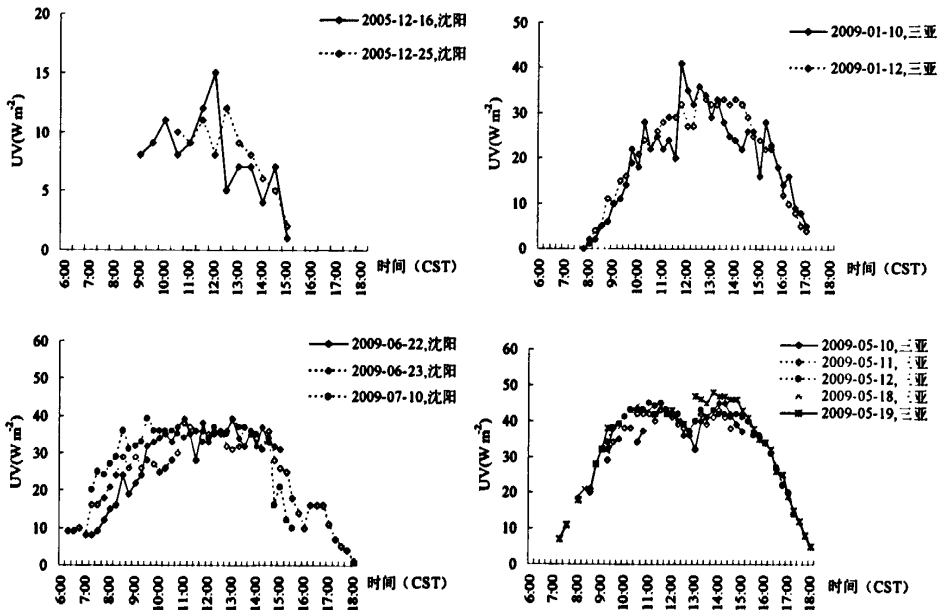


图 44, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30°时额部紫外线暴露日间分布

(1.12) 60°

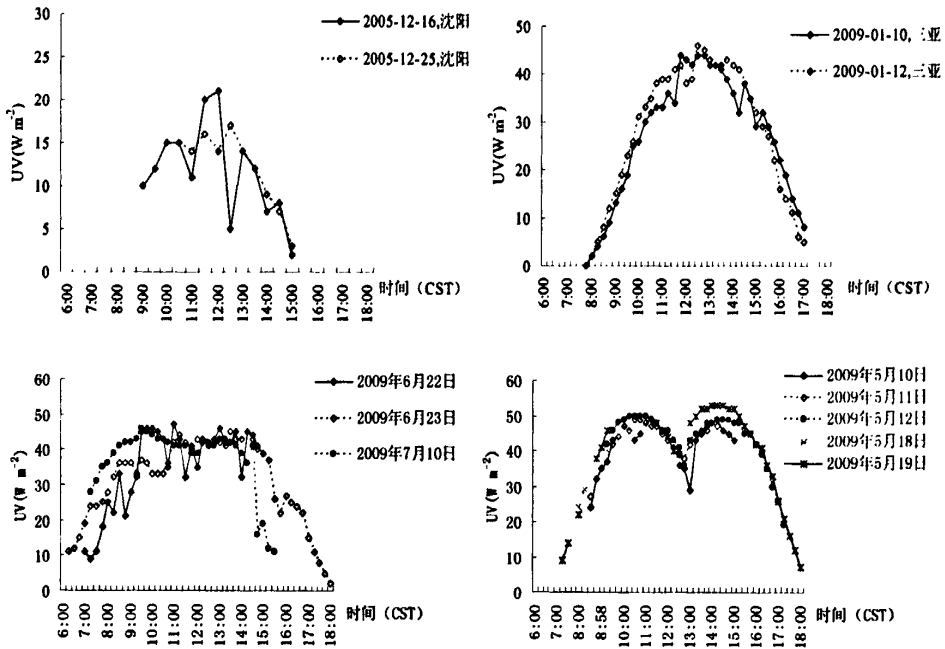


图 45, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60°时额部紫外线暴露日间分布

如图 34-36 和图 44、45 所示, 三亚五月份额部监测结果出现不同于其它季节的日间分布规律, 在正午前后紫外线暴露略下降, 这主要是由于本模型额部并非水平面, 监测仪接受面略微倾斜, 在三亚五月份正午太阳高度角近于达到 90°, 几乎垂直照射于水平面, 因而额部监测仪接受的直射紫外线减少, 紫外线暴露略微下降。如图 37-43 所示, 三亚五月份额部监测结果在偏离正面对太阳, 即在 180°~360°不同朝向角度时, 正午紫外线暴露显著高于其它时段, 这是由于在背对太阳的各朝向角度, 紫外线暴露也主要由直射、散射和反射三部分组成, 但直射紫外线相对占较高组成部分, 在三亚地区夏季随着接近正午, 环境直射紫外线显著升高, 因而显著增加额部的紫外线暴露, 此时偏离正对太阳对额部所起到防护作用相应降低。在沈阳的冬夏两季和三亚的冬季, 12 个朝向角度下的日间紫外线暴露分布均为单峰钟型曲线。

(2) 眼部

(2.1) 90°

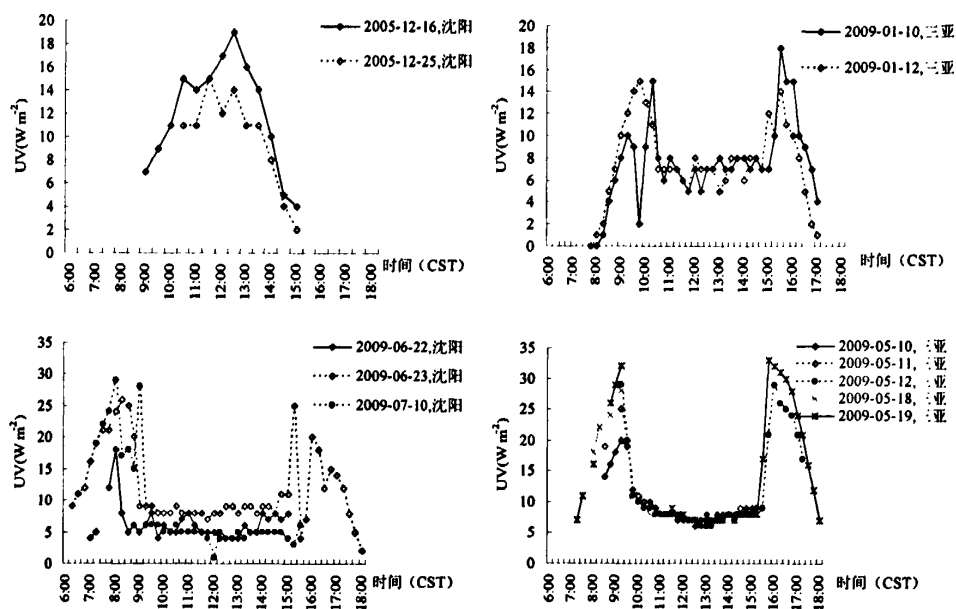


图 46, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90° 时眼部紫外线暴露日间分布

(2.2) 120°

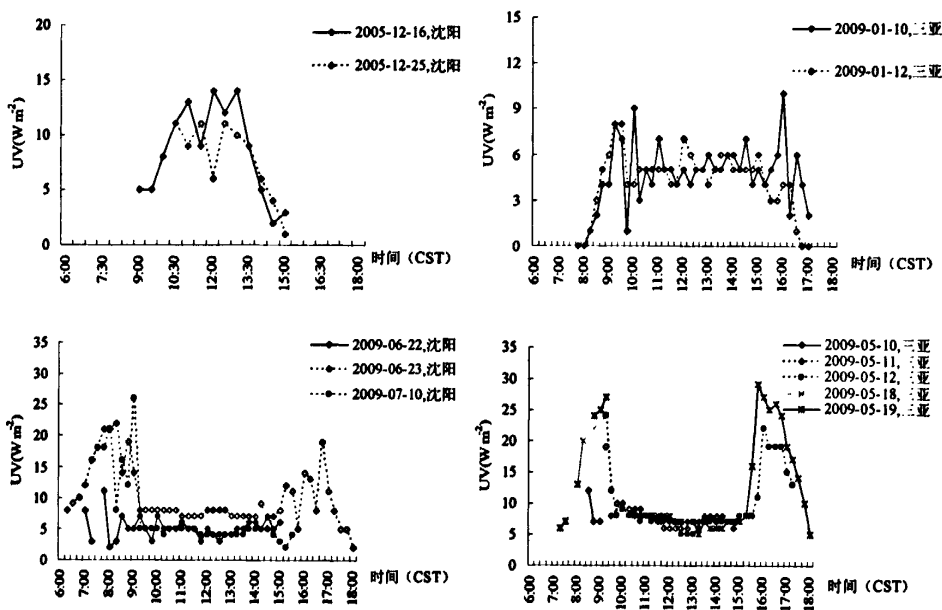


图 47, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120° 时眼部紫外线暴露日间分布

(2.3) 150°

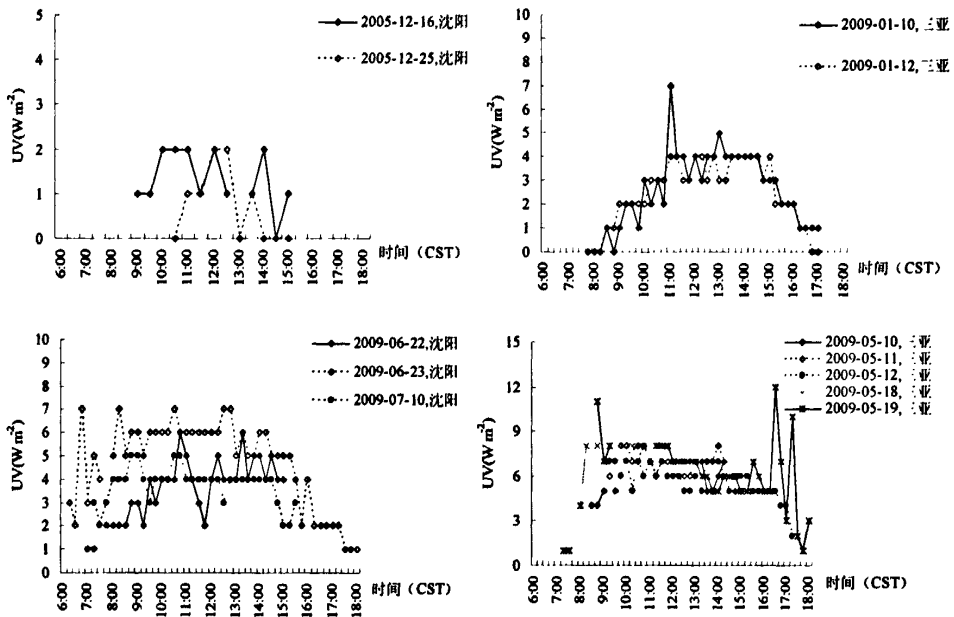


图 48, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150° 时眼部紫外线暴露日间分布

(2.4) 180°

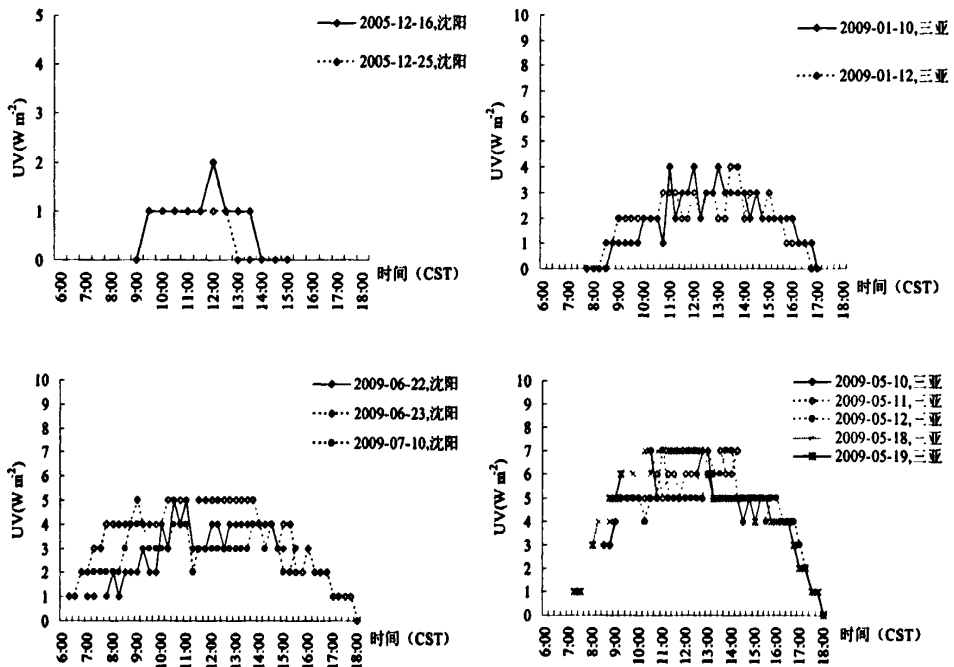


图 49, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180° 时眼部紫外线暴露日间分布

(2.5) 210°

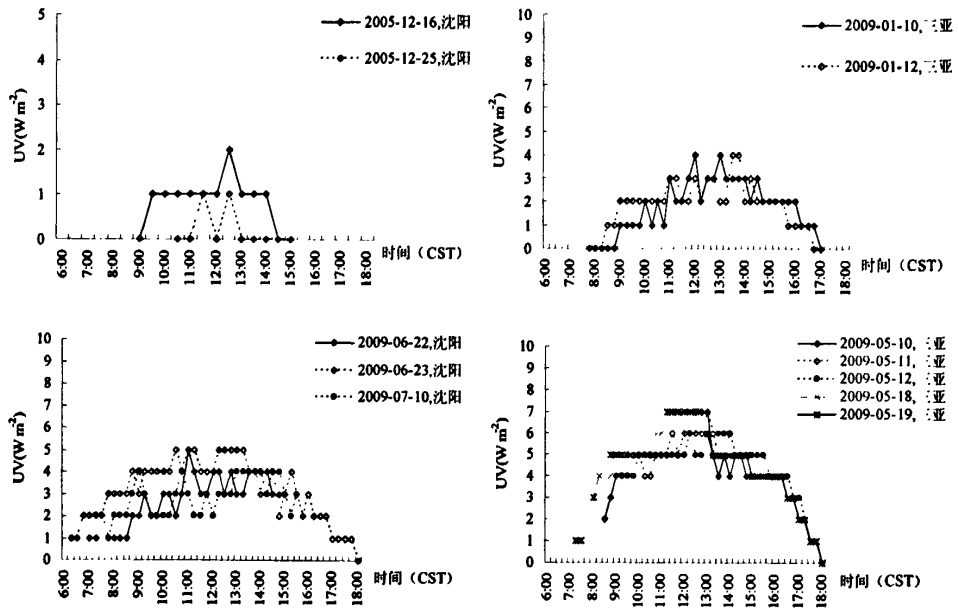


图 50, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.6) 240°

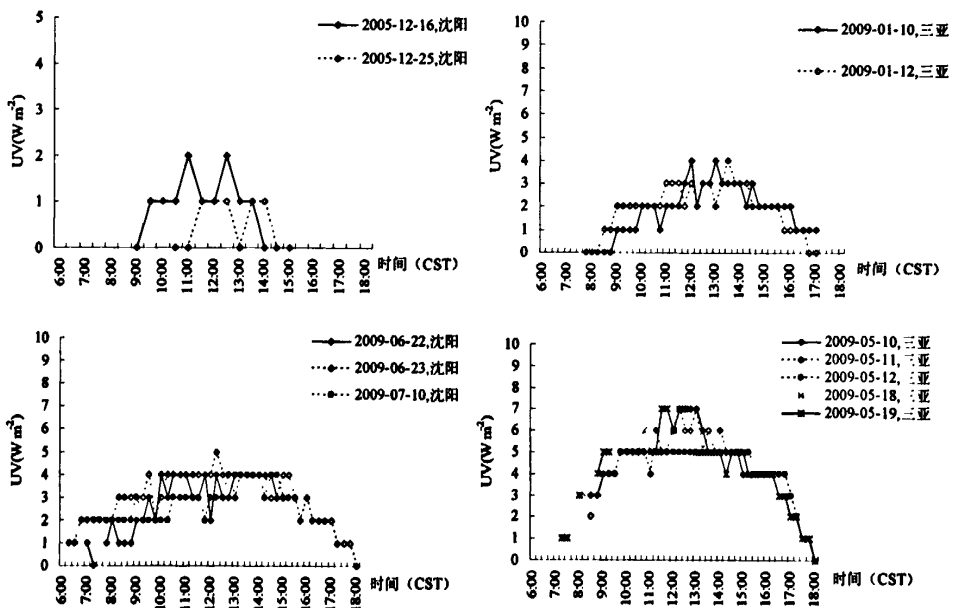


图 51, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.7) 270°

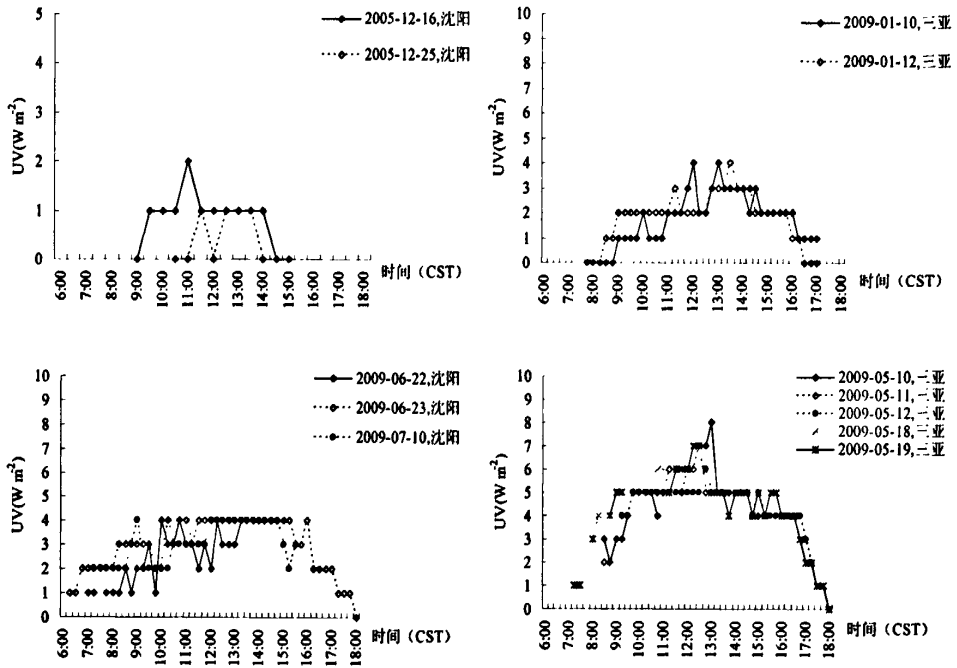


图 52, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.8) 300°

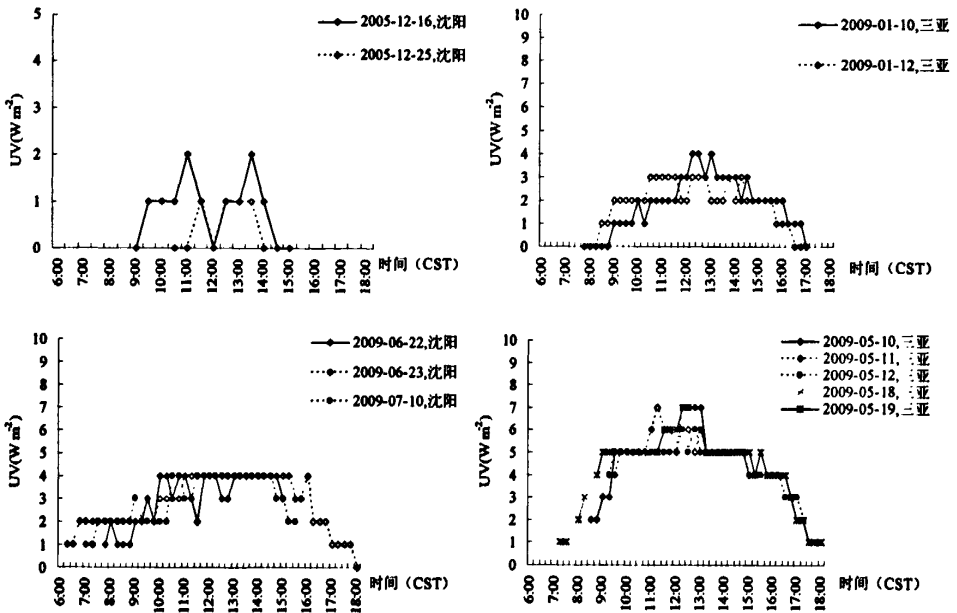


图 53, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.9) 330°

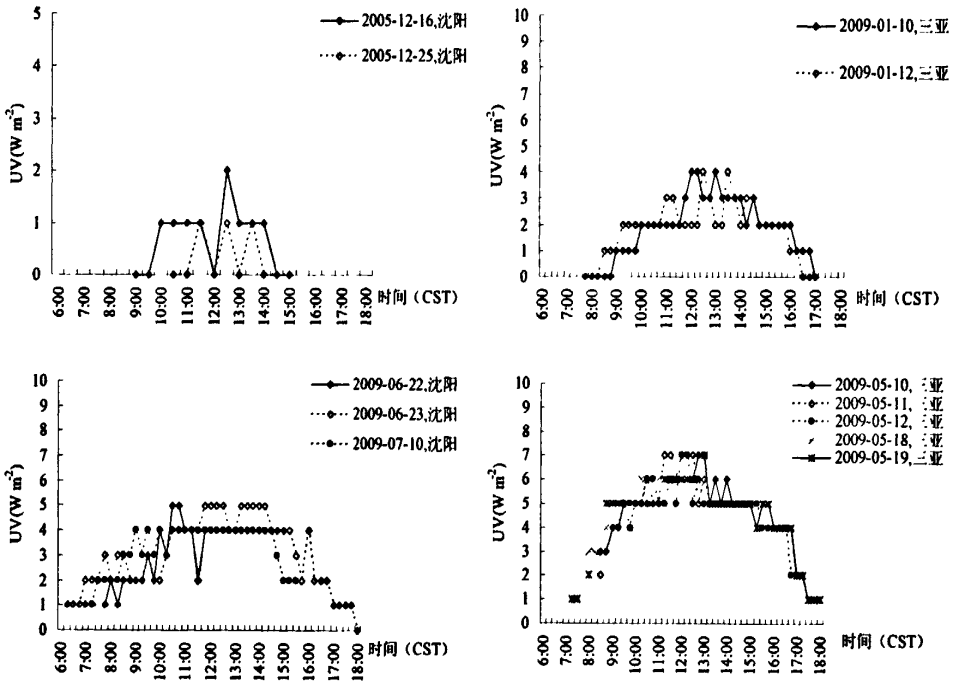


图 54, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.10) 360(0)°

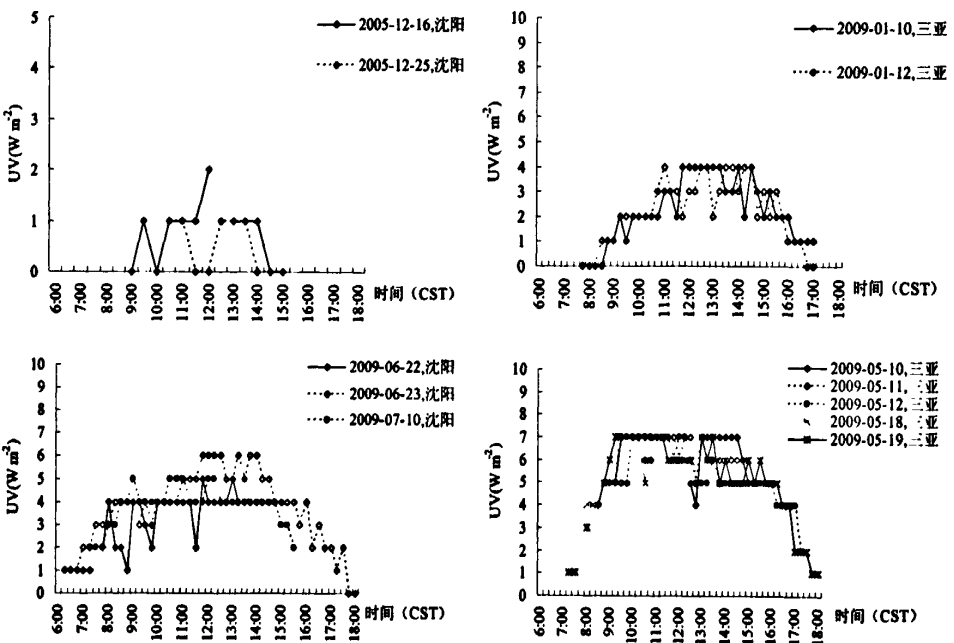


图 55, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 360(0)°时眼部紫外线暴露日

间分布

(2.11) 30°

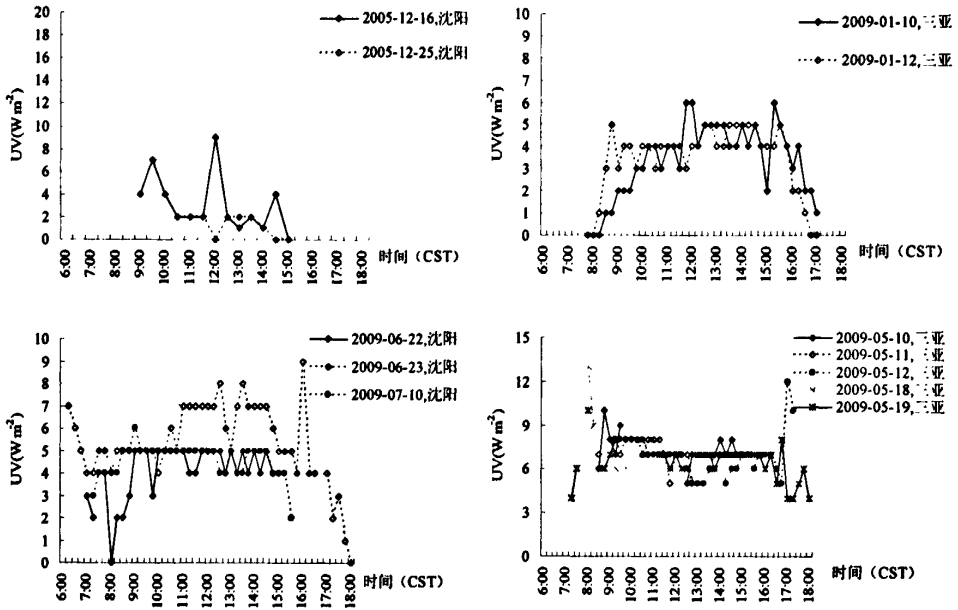


图 56, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30°时眼部紫外线暴露日间分布

(2.12) 60°

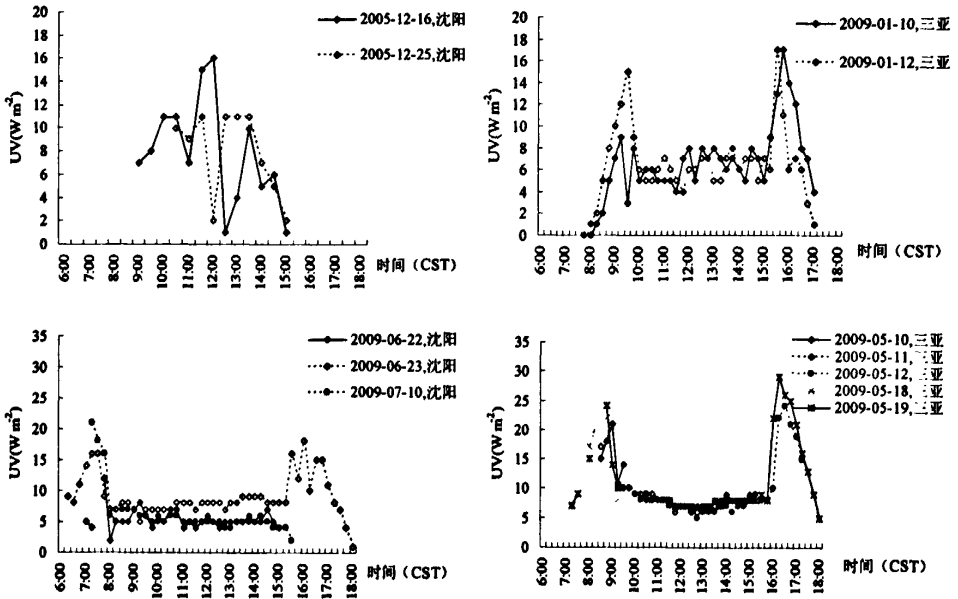


图 57, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60°时眼部紫外线暴露日间分布

图 46-57 表明旋转人体模型不同朝向角度时眼部紫外线日间暴露。在朝向角度为 90° 、 120° 和 60° 时 (图 46、47 和图 57), 除了沈阳地区的冬季, 眼部紫外线暴露在日间的分布呈现单峰钟型曲线外, 其余两地三个监测期间出现显著的双峰分布, 暴露最高强度在早晚时间段而非正午, 趋近于垂直面紫外线暴露的日间分布。在其他朝向角度下, 两地四个个监测期间都呈现出正午高暴露的单峰分布。

(3) 颊部

(3.1) 90°

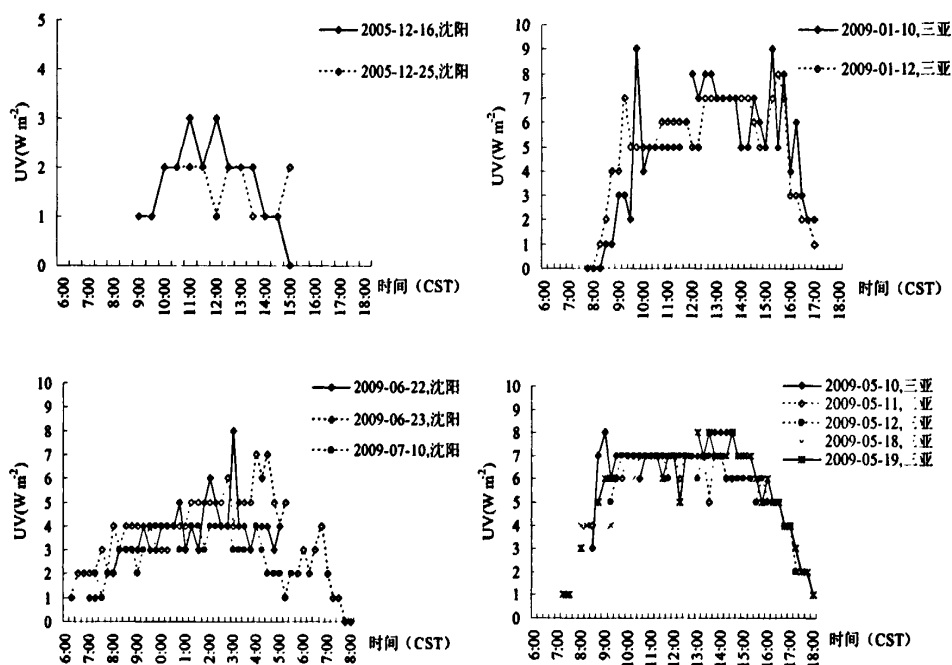
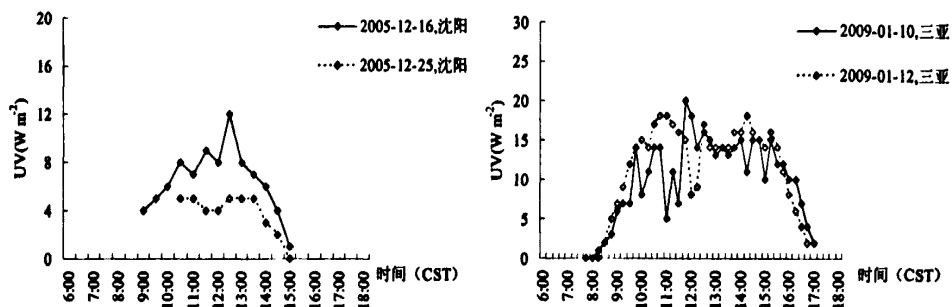


图 58, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.2) 120°



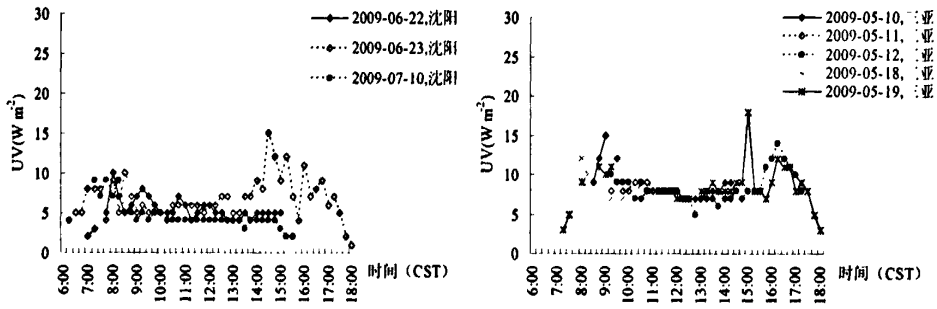


图 59, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.3) 150°

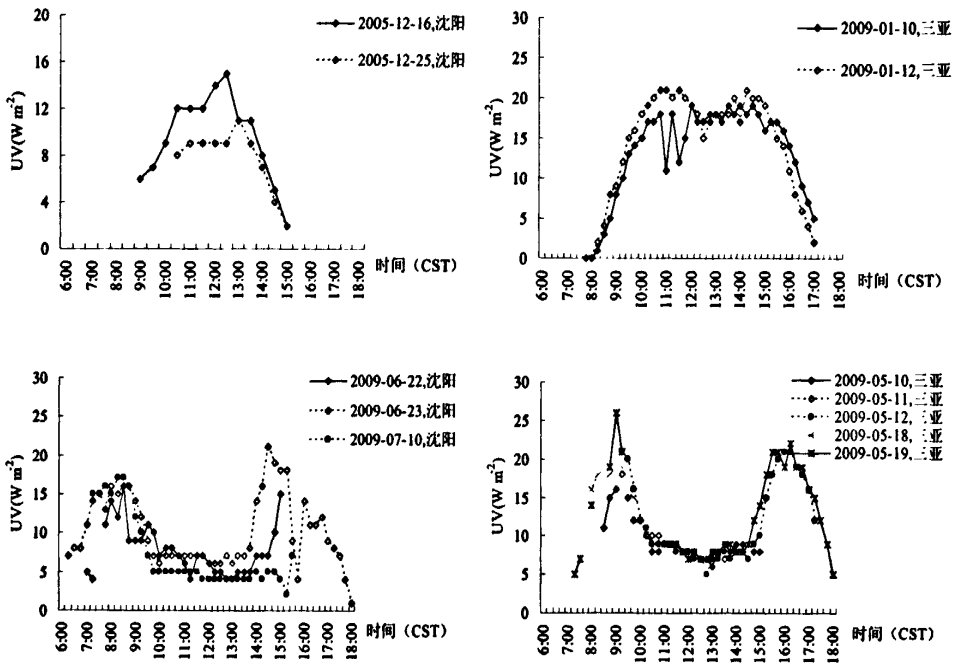


图 60, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.4) 180°

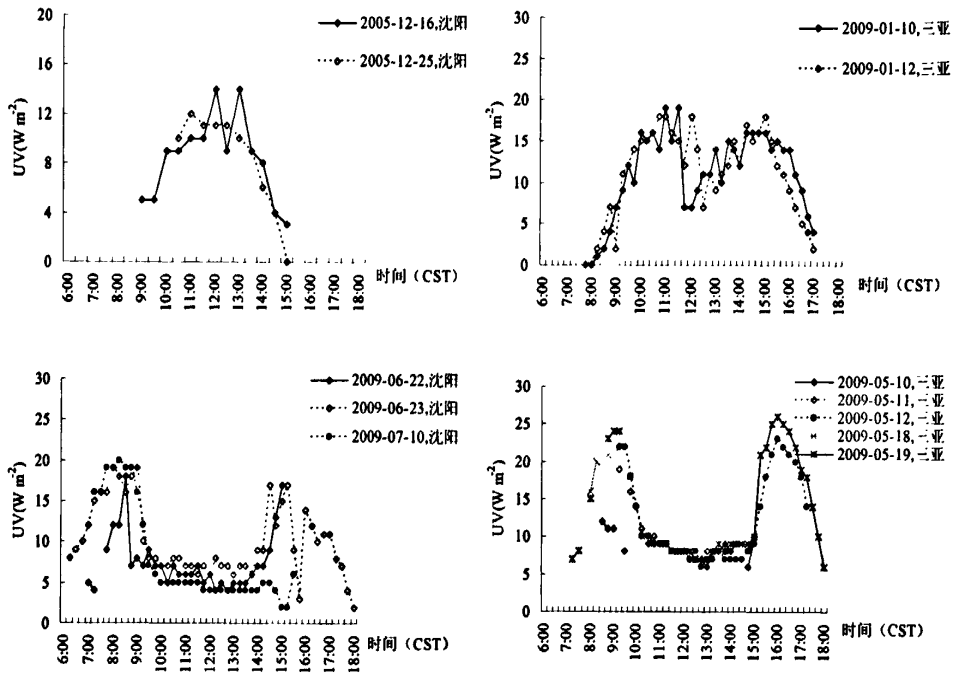


图 61, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.5) 210°

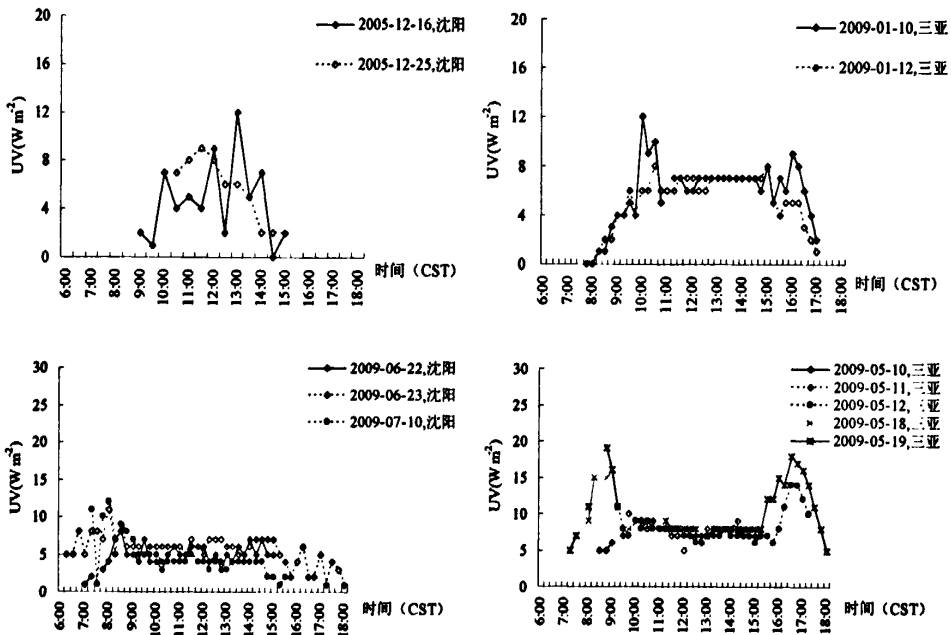


图 62, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.6) 240°

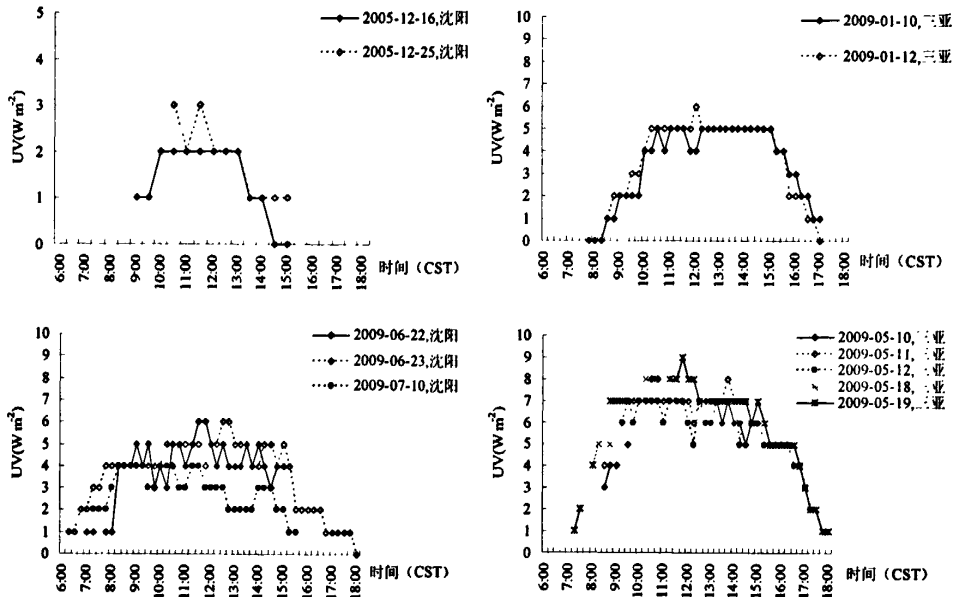


图 63, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240°时颊部紫外线暴露日间分布

(3.7) 270°

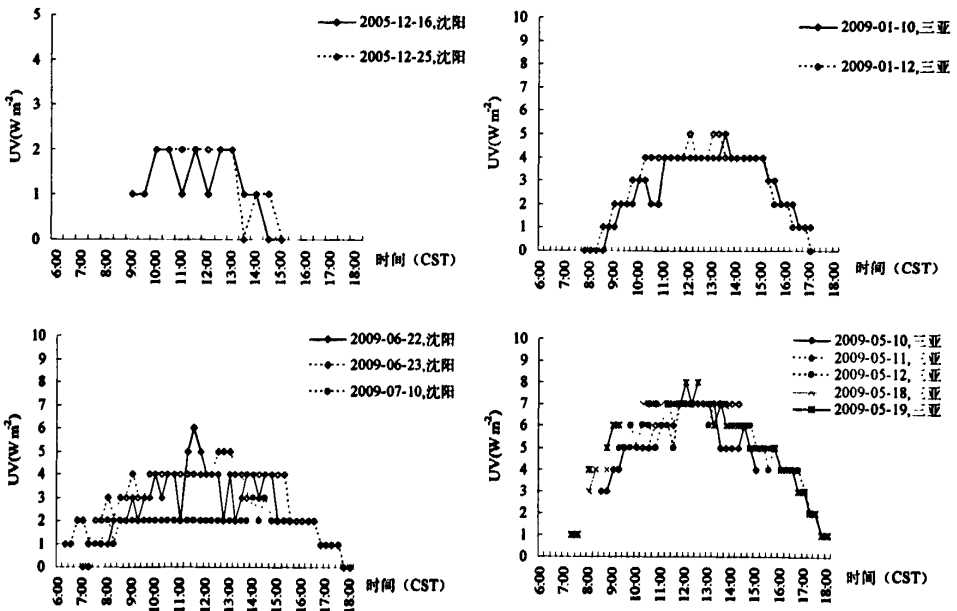


图 64, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270°时颊部紫外线暴露日间分布

(3.8) 300°

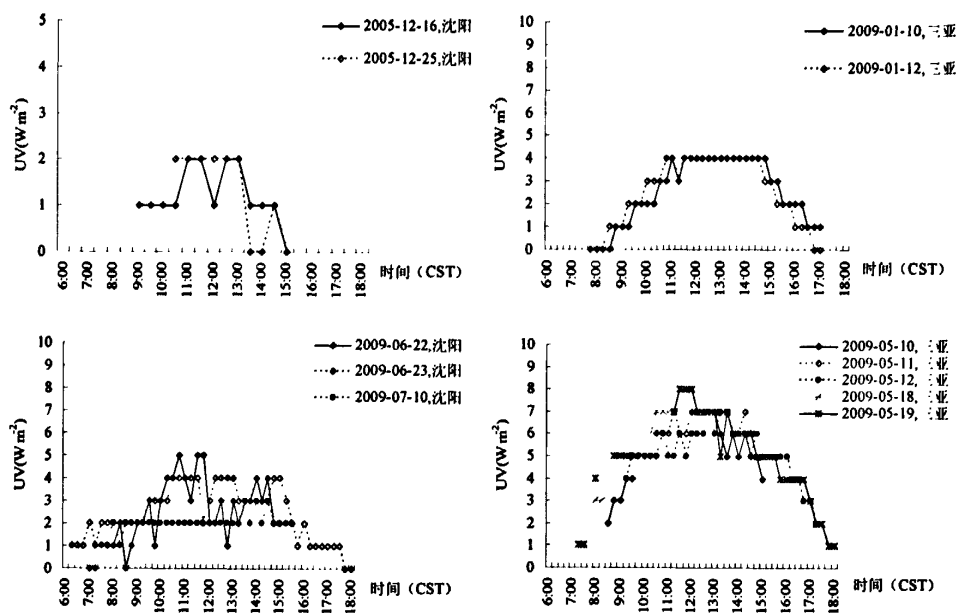


图 65, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.9) 330°

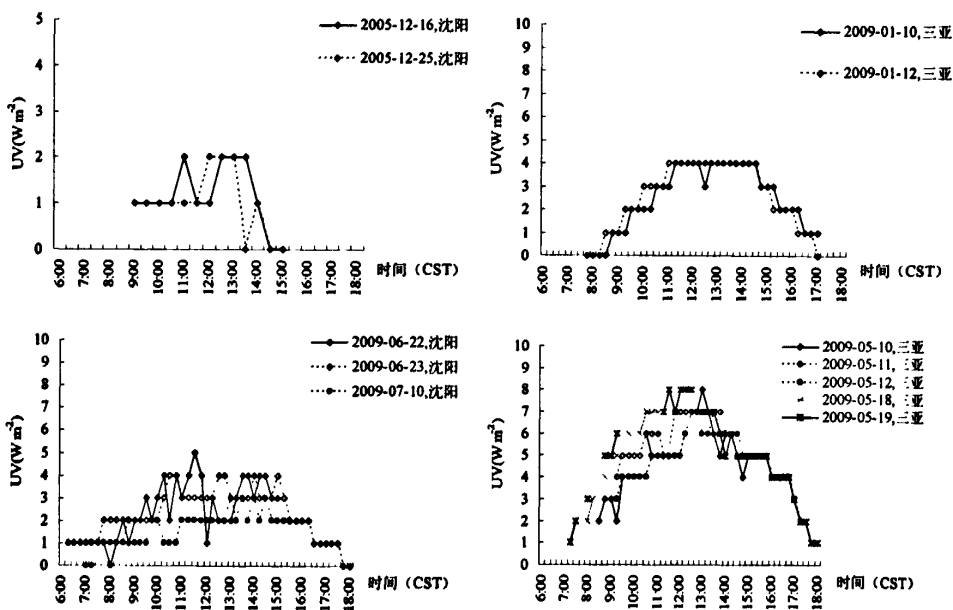


图 66, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.10) $360(0)^\circ$

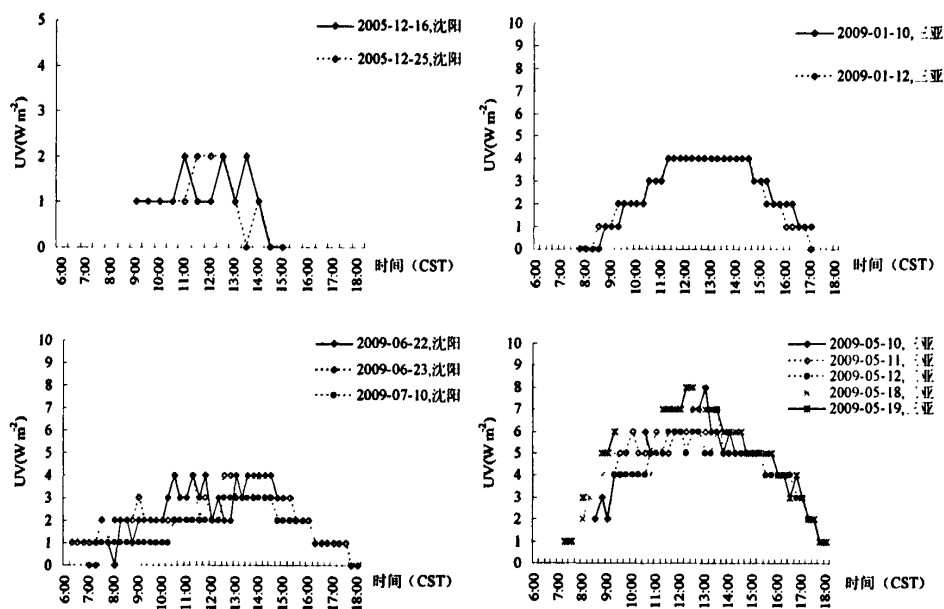


图 67, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 $360(0)^\circ$ 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.11) 30°

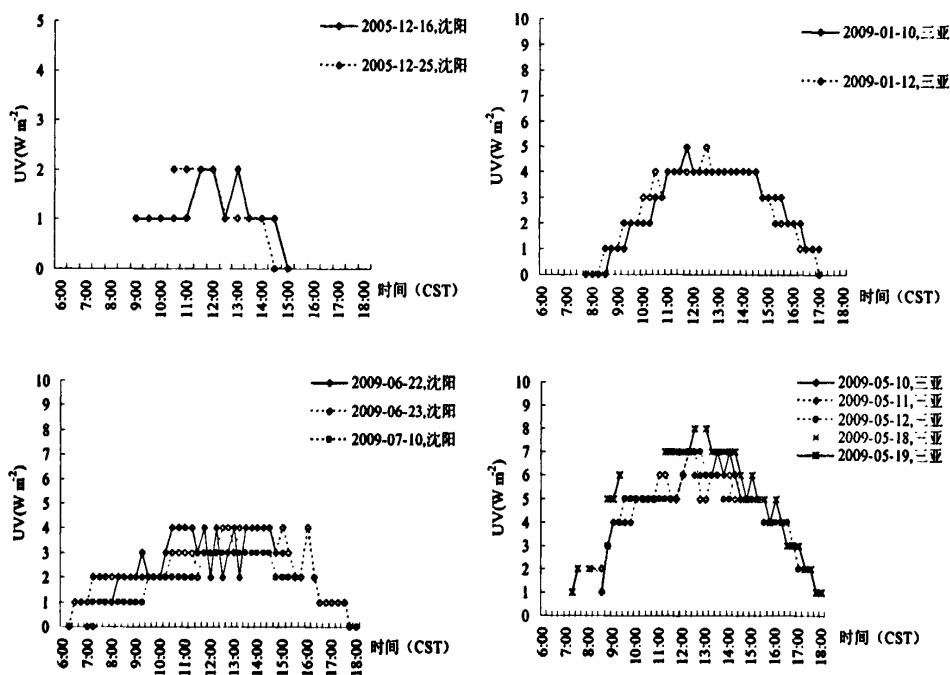


图 68, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30° 时颊部紫外线暴露日间分布

(3.12) 60°

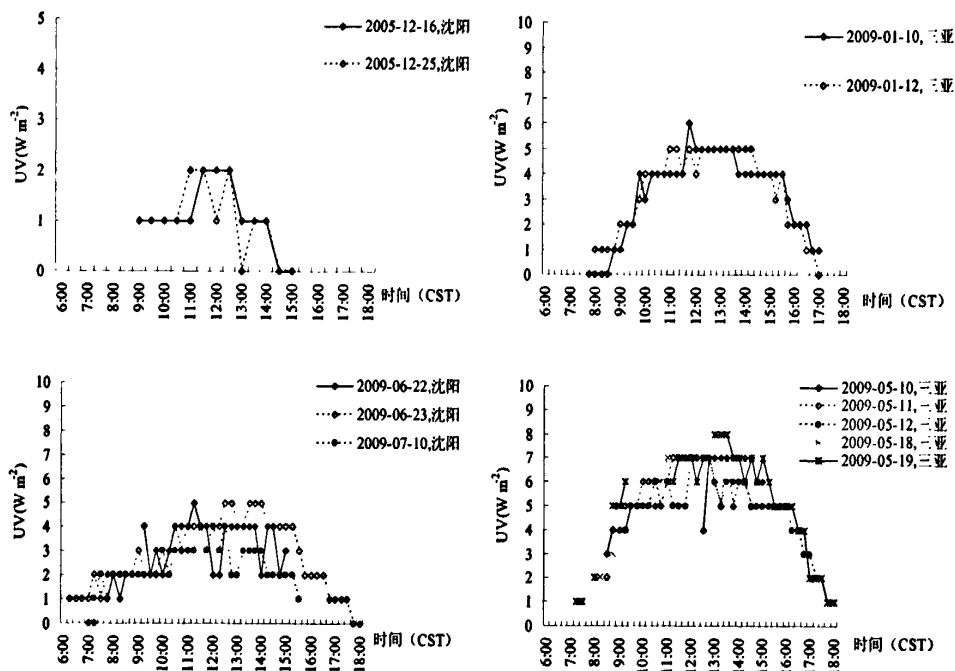


图 69, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60°时颊部紫外线暴露日间分布

图 58-69 表明旋转人体模型颊部在朝向角度为 150°和 180°时 (图 60、61) 的紫外线暴露在日间的分布出现显著季节的不同, 沈阳和三亚的冬季为单峰, 在正午前后暴露较高, 而在沈阳的夏季和三亚的五月, 为显著的双峰分布, 暴露最高强度在早晚时间段而非正午, 更趋近于垂直面紫外线暴露的日间分布, 只是出现的朝向角度不同, 这主要是由于颊部自身的解剖结构决定的, 本研究所监测的为左颊部, 每次正面对太阳, 即朝向角度为 90°时, 颊部却偏离正面对太阳约 30°~60°, 因此, 颊部双峰分布出现在 150°和 180°朝向角度时, 而不是与垂直面相同出现在朝向角度 90°。在两地四季其他不同朝向角度下, 颊部紫外线暴露日间也呈现单峰钟型曲线分布。

(4) 左肩部

(4.1) 90°

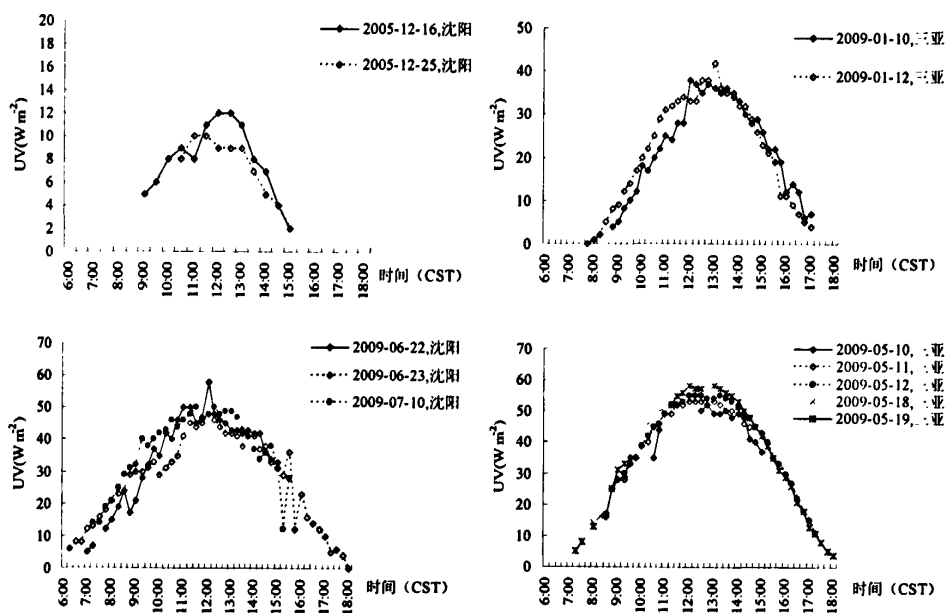


图 70, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90° 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.2) 120°

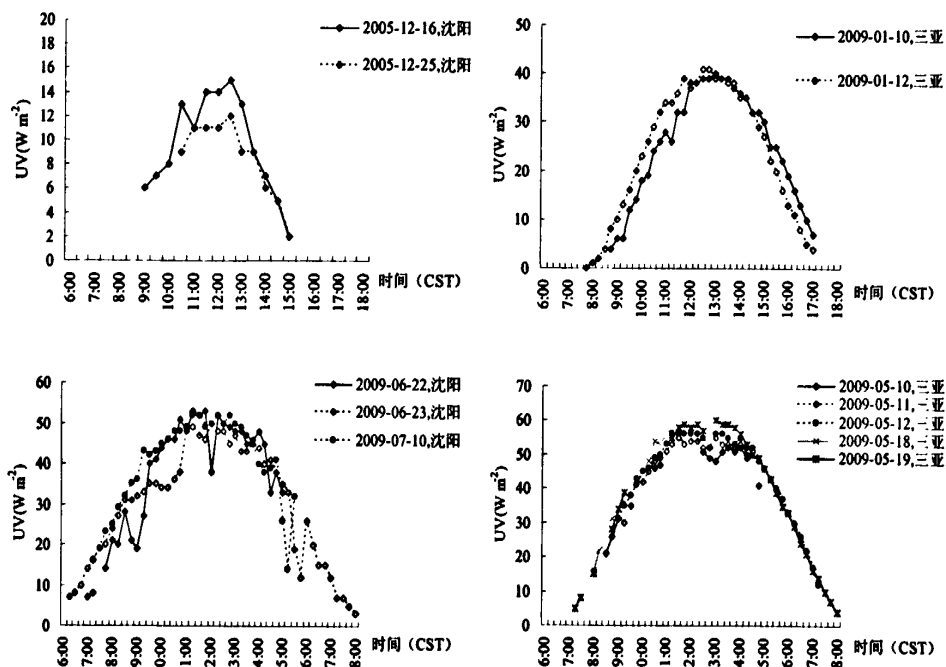


图 71, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120° 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.3) 150°

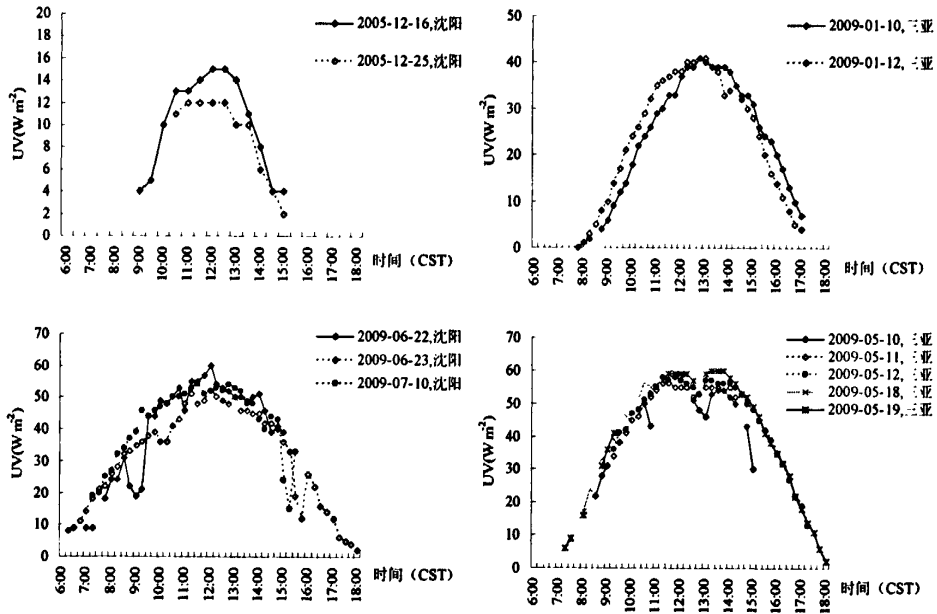


图 72, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150°时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.4) 180°

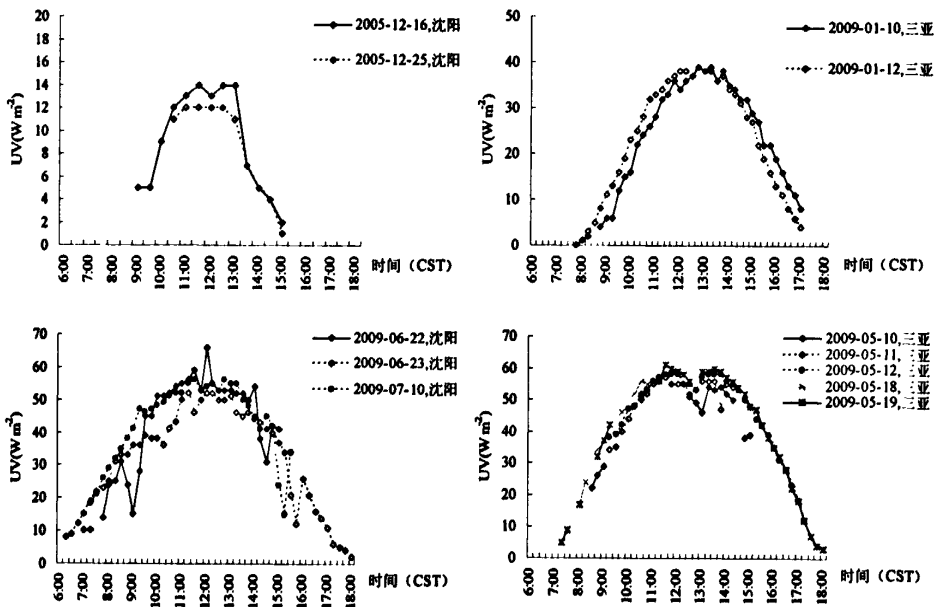


图 73, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180°时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.5) 210°

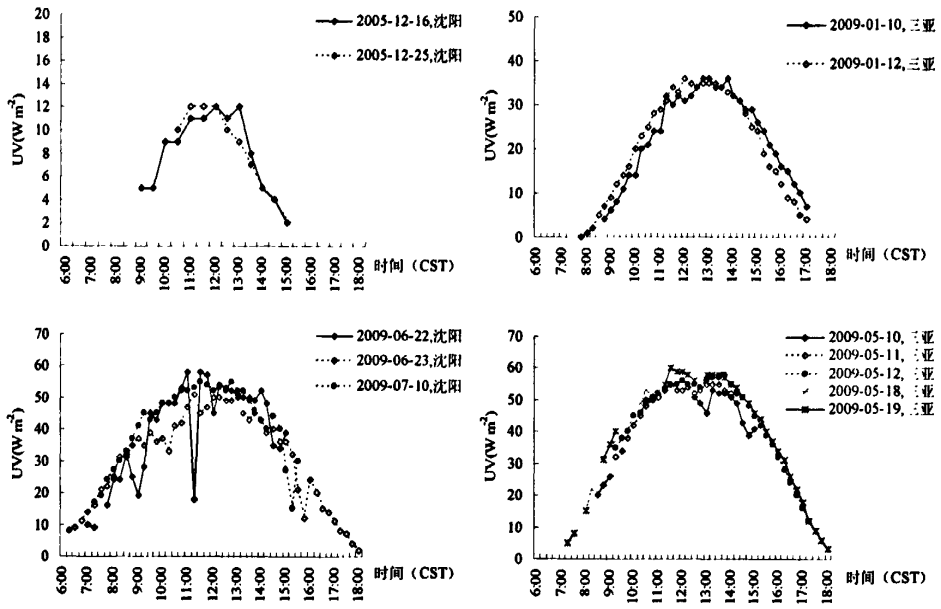


图 74, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210° 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.6) 240°

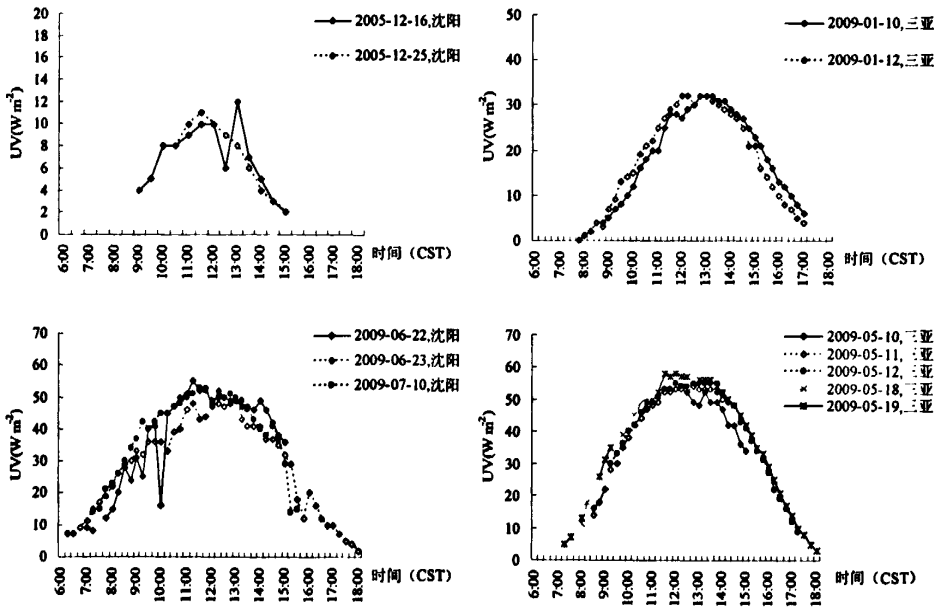


图 75, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240° 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.7) 270°

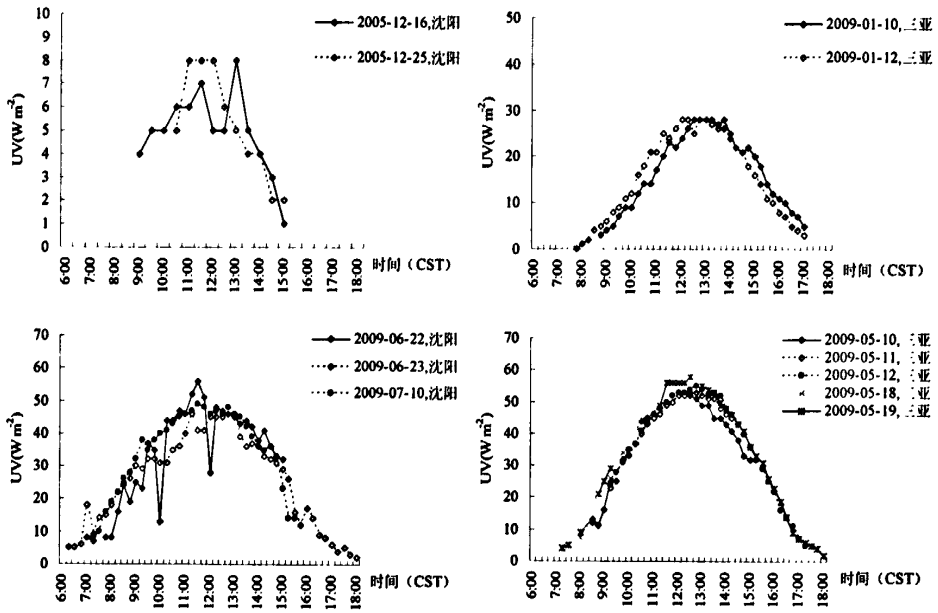


图 76, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270°时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.8) 300°

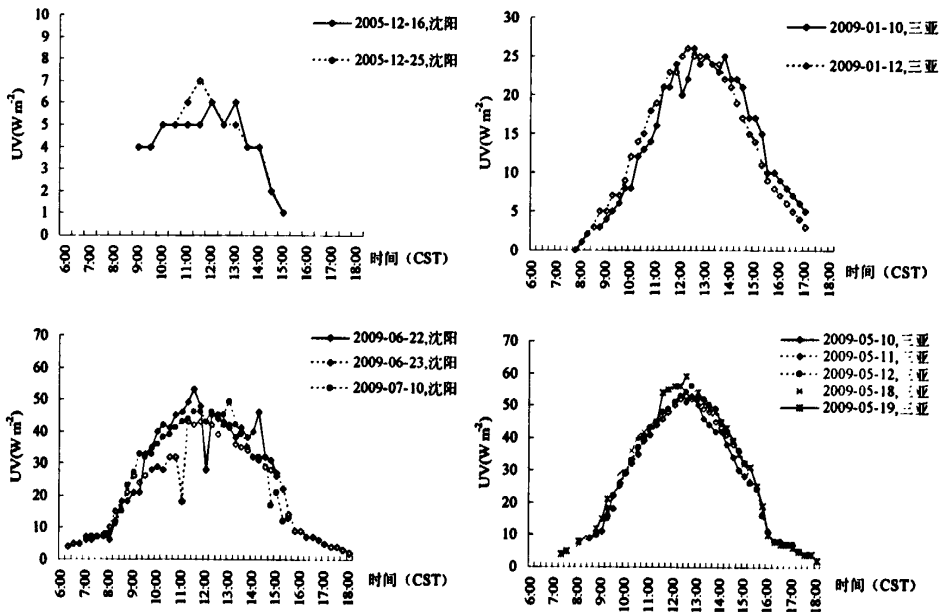


图 77, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300°时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.9) 330°

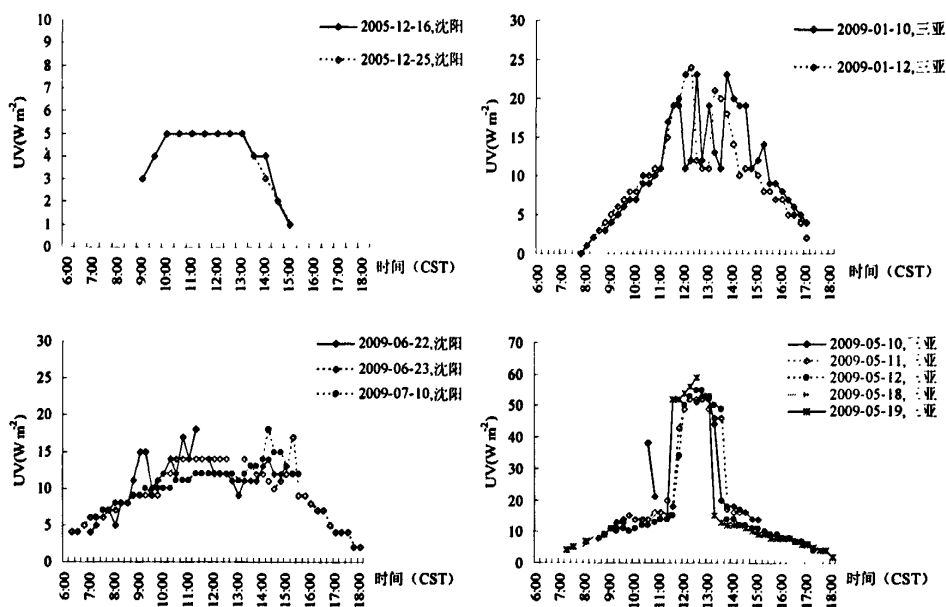


图 78, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330° 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.10) $360(0)^\circ$

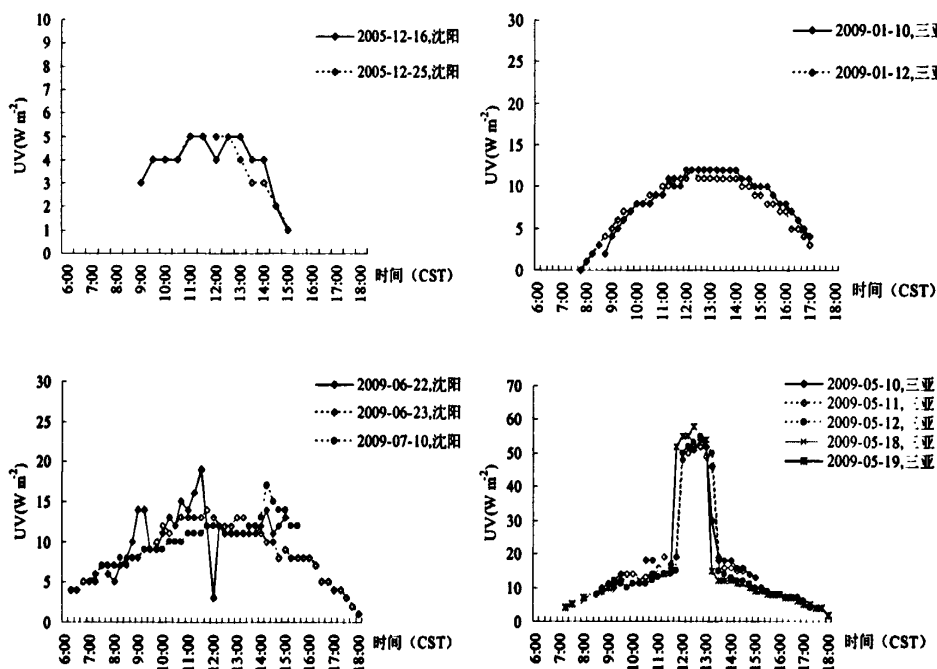


图 79, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 $360(0)^\circ$ 时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.11) 30°

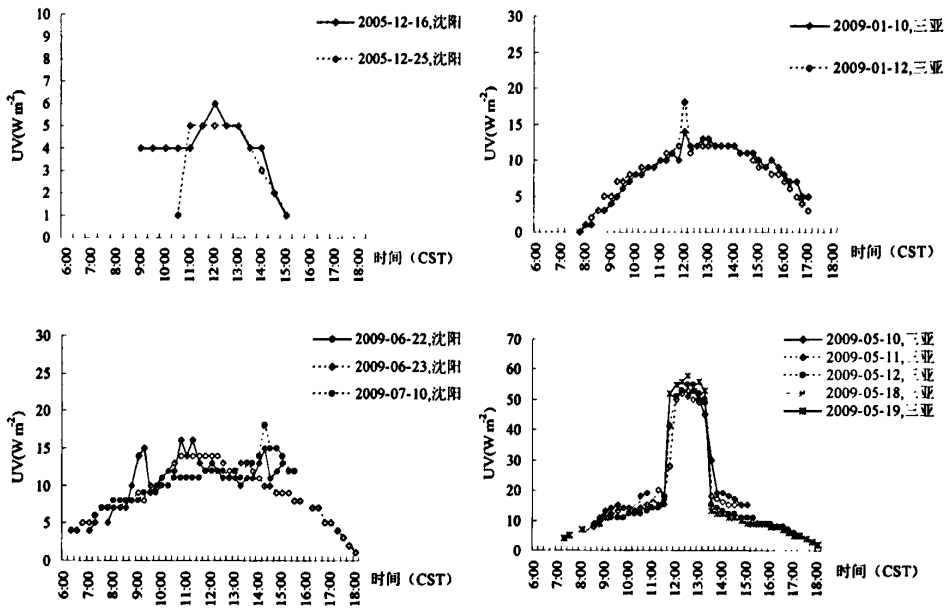


图 80, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30°时左肩部紫外线暴露日间分布

(4.12) 60°

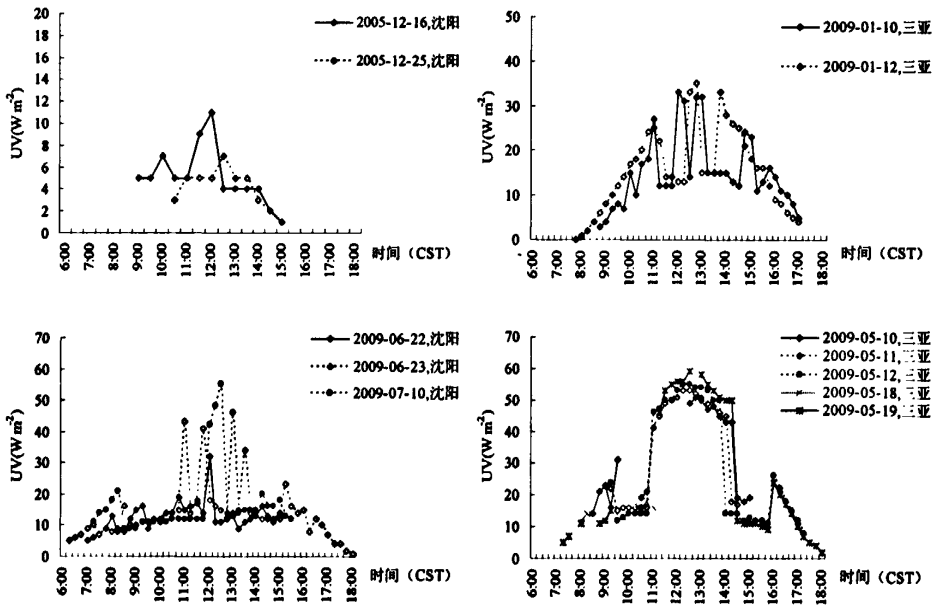


图 81, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60°时左肩部紫外线暴露日间分布

如图 70-77 所示, 由于左肩部解剖部位接近于水平, 其在 90°~300°朝向角度

下的紫外线暴露日间分布均为单峰钟型曲线，而如图 78-81 所示，在三亚夏季时，左肩部在 330°、360(0)°、30°和 60°朝向角度下，其紫外线暴露日间分布与典型的钟型曲线不完全相同，在上下午显著低于正午，这主要时由于本模型为顺时针间隔 30°旋转测量，在正面对太阳后顺时针旋转至 330°、360(0)°、30°和 60°四个朝向角度时，左肩部紫外线暴露在较低太阳高度角时受到头部显著的遮挡作用，而随着三亚 5 月份接近正午时分，太阳高度近似与水平地面垂直，此时头部遮挡作用减弱，而导致紫外线暴露强度急剧升高。

(5) 右肩部

(5.1) 90°

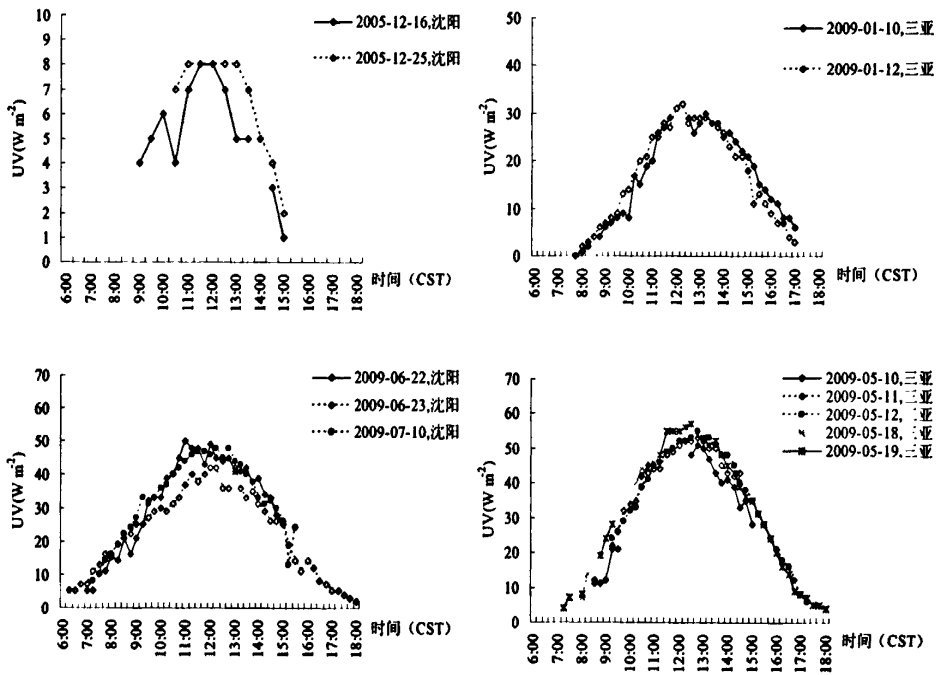


图 82, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90°时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.2) 120°

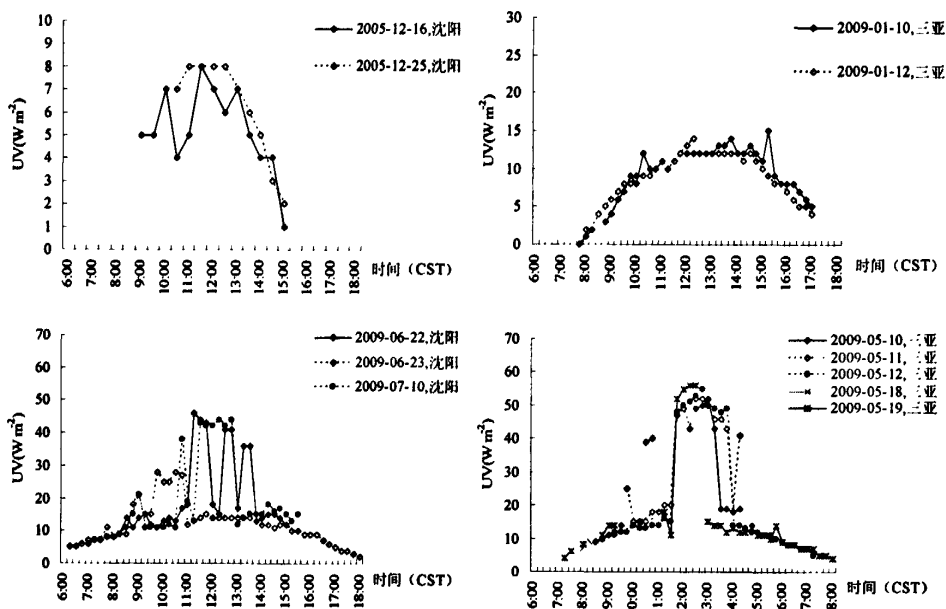


图 83, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.3) 150°

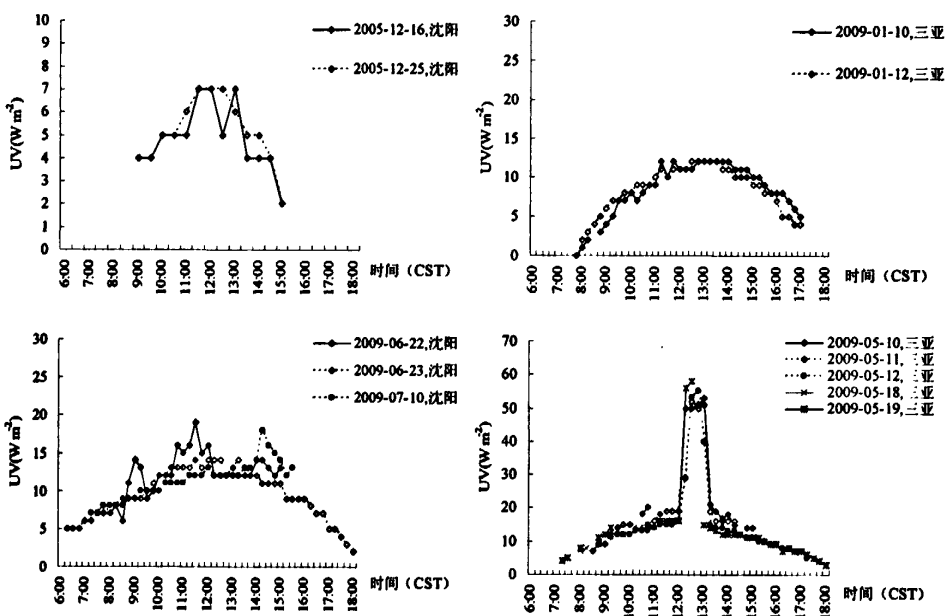


图 84, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.4) 180°

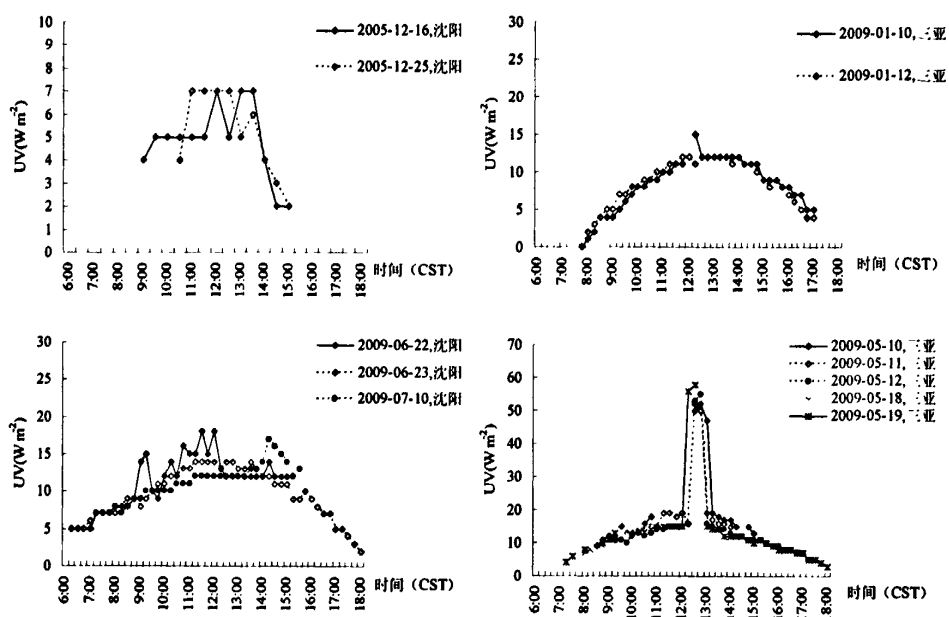


图 85, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.5) 210°

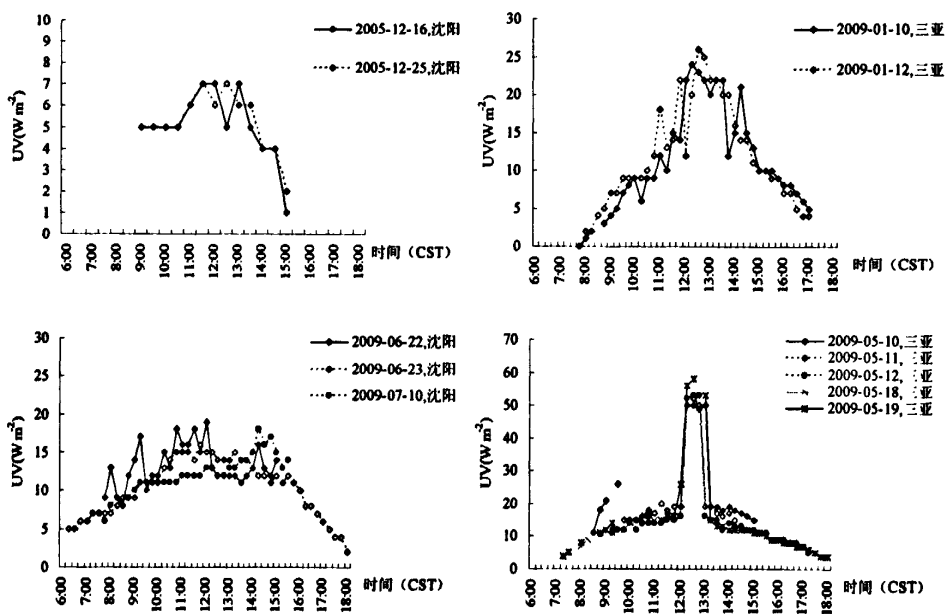


图 86, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.6) 240°

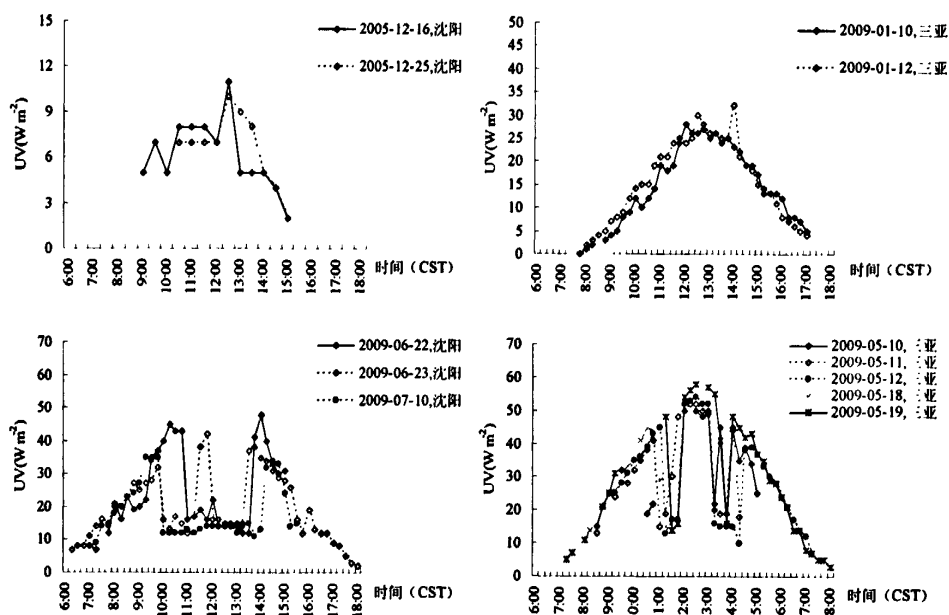


图 87, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.7) 270°

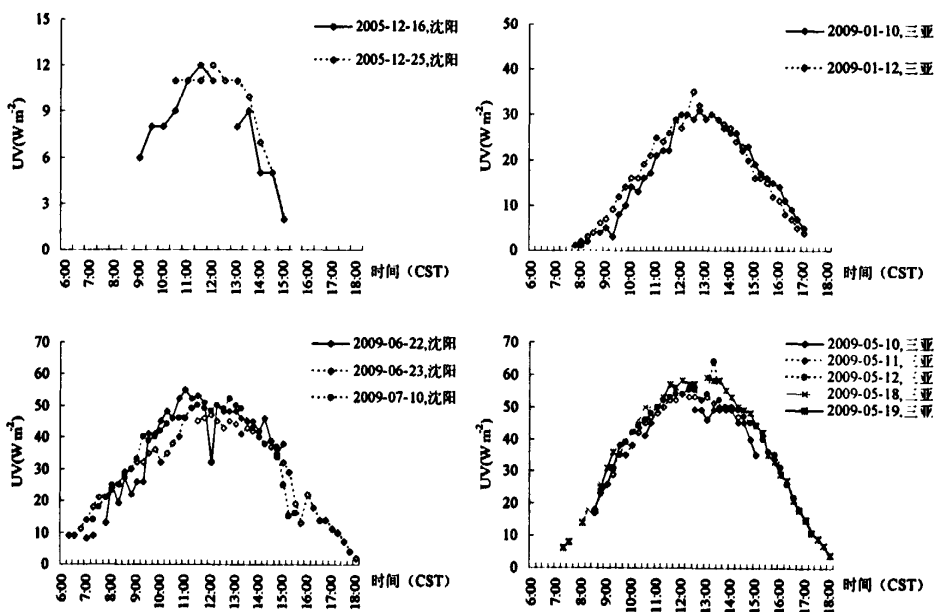


图 88, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.8) 300°

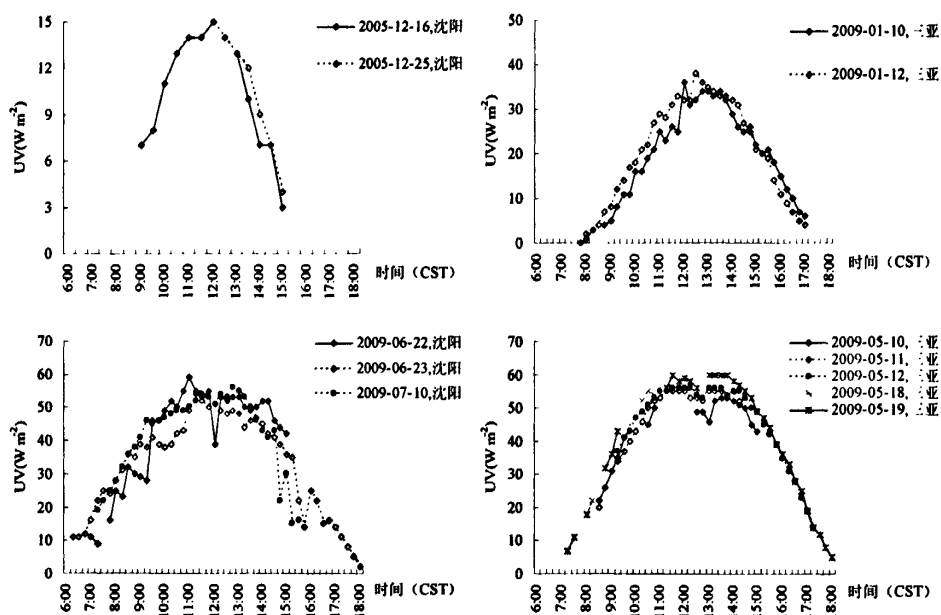


图 89, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.9) 330°

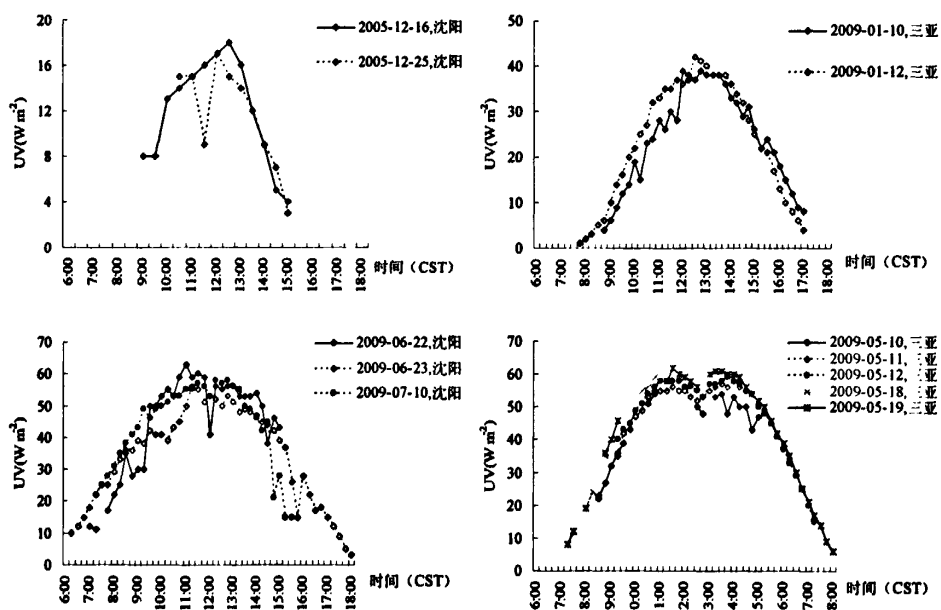


图 90, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330° 时右肩部紫外线暴露日间分布

(5.10) $360(0)^\circ$

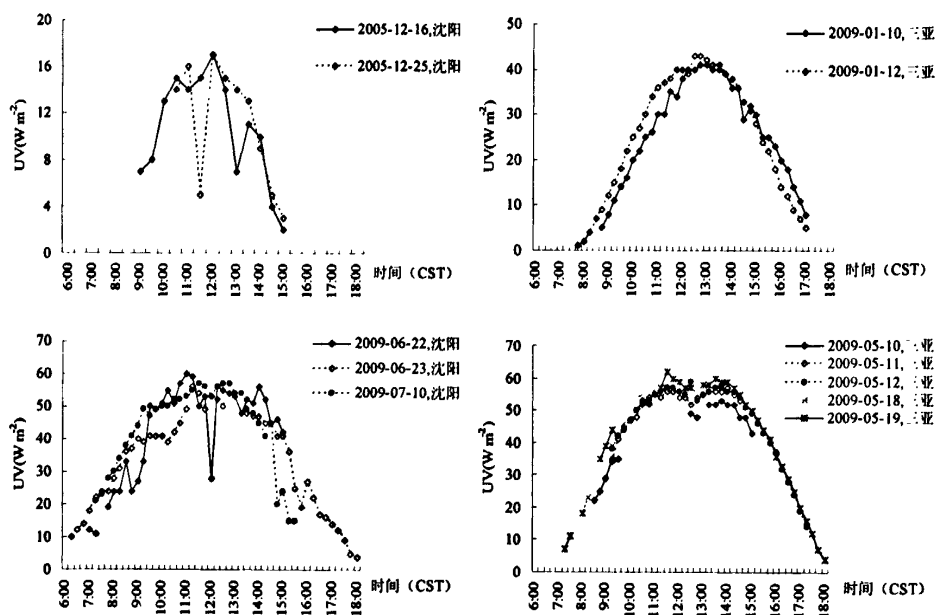


图 91, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 360(0)°时右肩部紫外线暴露
 日间分布

(5.11) 30°

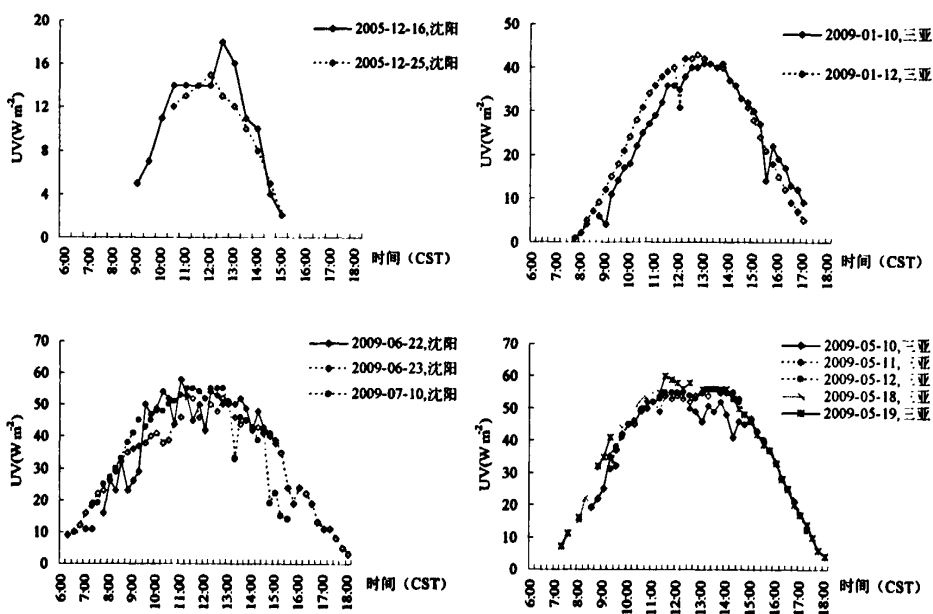


图 92, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30°时右肩部紫外线暴露日
 间分布

(5.12) 60°

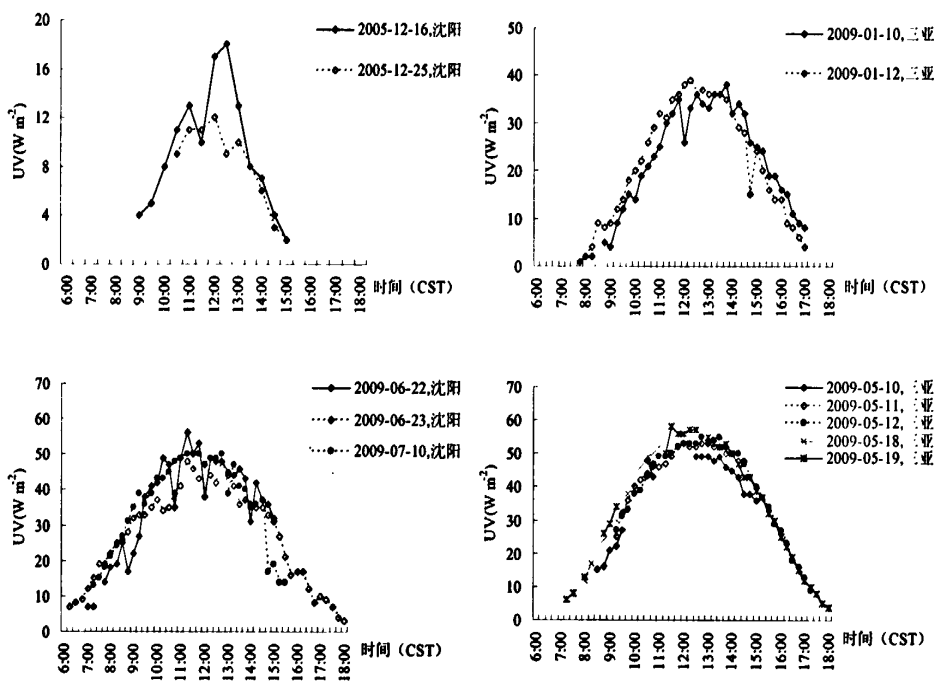
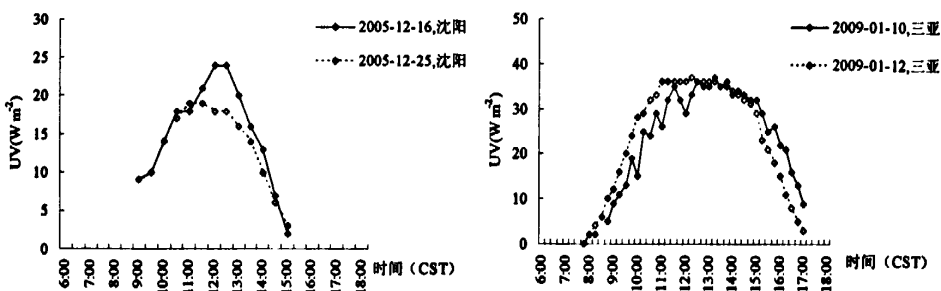


图 93, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60° 时右肩部紫外线暴露日间分布

如图 82、88-93 所示, 与左肩部紫外线暴露日间分布相似, 其在 90° , 270° , 300° , 330° , $360(0)^\circ$, 30° , 和 60° 朝向角度下的日间紫外线暴露分布均为单峰钟型曲线, 如图 83-87 所示, 在 $120^\circ \sim 240^\circ$ 朝向角度下, 三亚地区夏季右肩部紫外线暴露在上下午时间段显著低于正午, 虽然日间分布呈现单峰曲线, 但其并非为典型的钟型曲线, 而是在接近正午时分紫外线暴露强度急剧升高, 其原因与之前所示右肩部日间分布相同。

(6) 胸部

(6.1) 90°



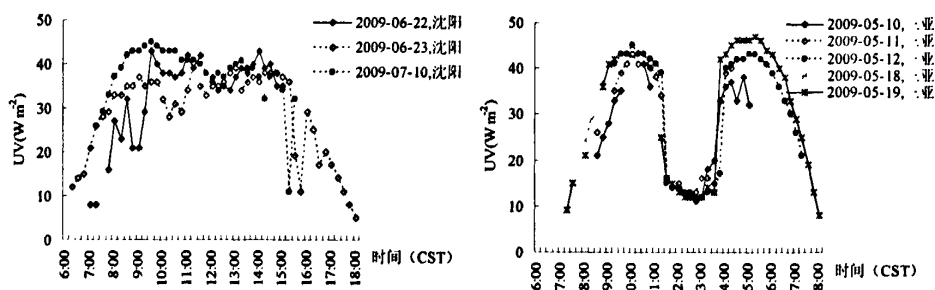


图 94, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 90° 时胸部紫外线暴露日间分布

图 94 清晰表明, 旋转人体模型胸部在朝向角度为 90° (正面对太阳) 时紫外线暴露的日间分布, 三亚夏季 (五月份) 与其他各监测期间显著不同, 沈阳的夏、冬季节和三亚的冬季为单峰, 在正午前后暴露较高, 而在三亚的夏季为显著的双峰分布, 暴露最高强度在上午 10:00CST 和下午 15:30CST 左右的时间段而非正午。这更近似于垂直面紫外线暴露日间分布, 只是双峰出现的时间段不同, 其在更高太阳高度角范围的三亚夏季出现, 除了由于胸部接受紫外线暴露为倾斜面的原因以外, 还主要是由于在太阳高度角较高时, 正午日光紫外线近似垂直照射水平地面, 此时头部对胸部出现显著的遮挡作用, 导致胸部紫外线暴露的显著降低。

(6.2) 120°

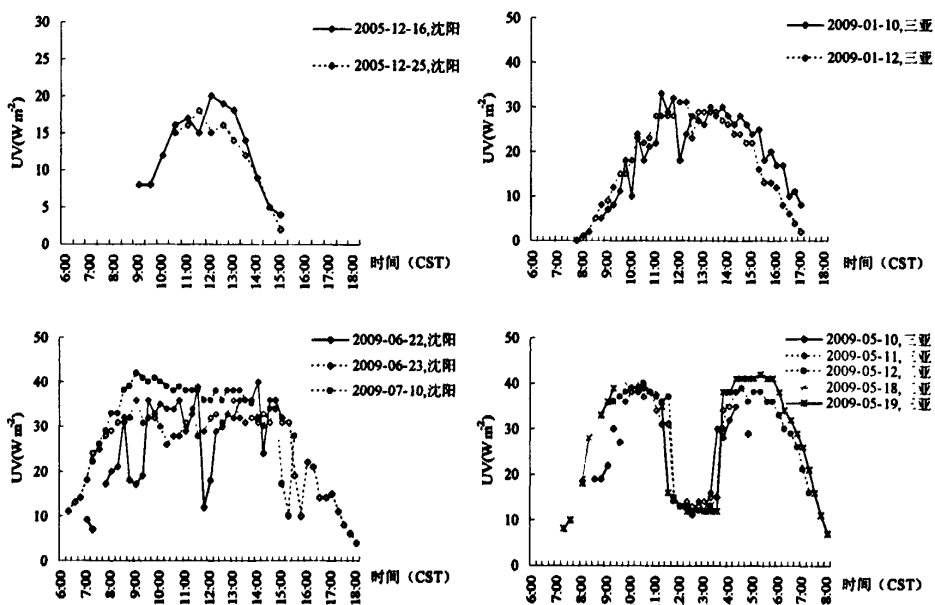


图 95, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 120° 时胸部紫外线暴露日间

分布

(6.3) 150°

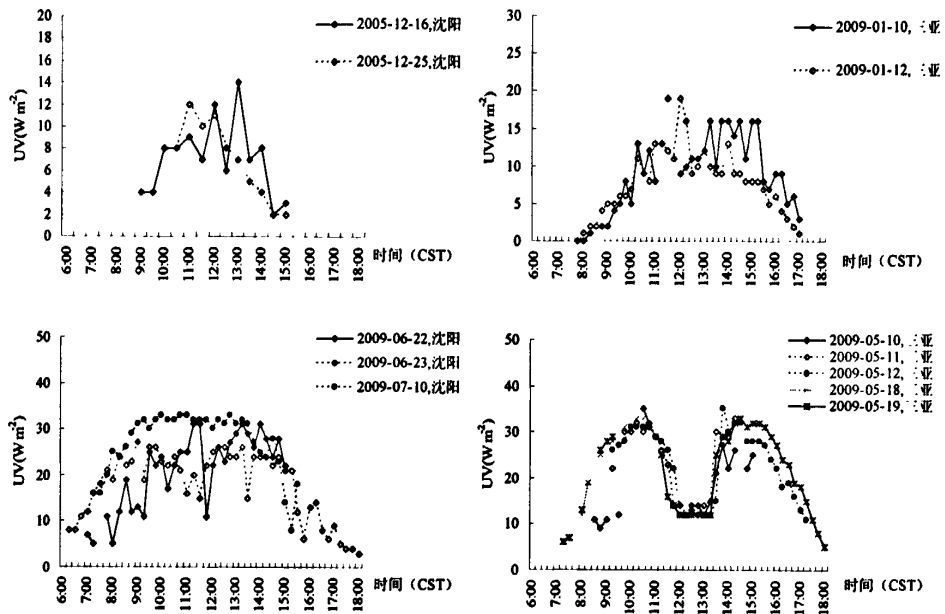


图 96, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 150°时胸部紫外线暴露日间分布

(6.4) 180°

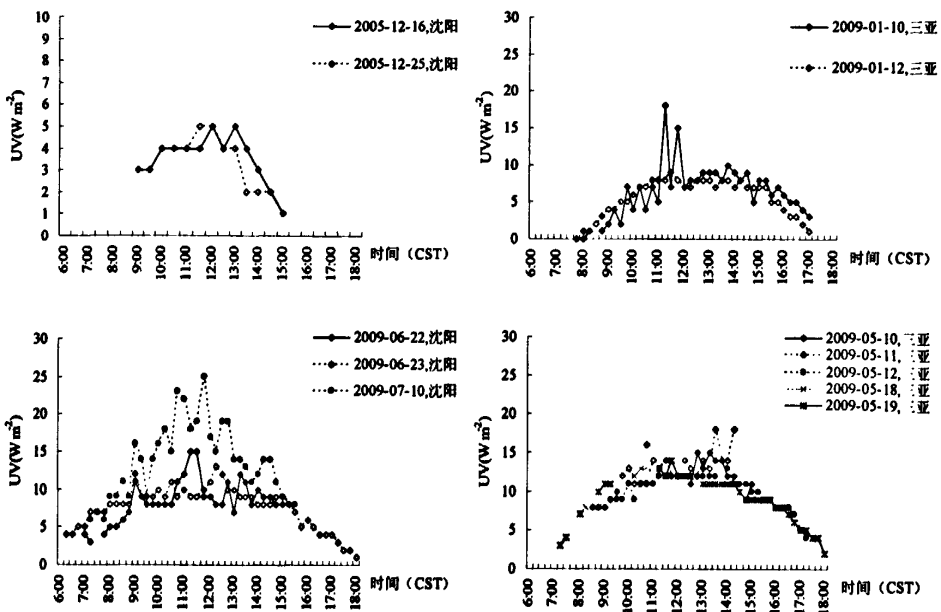


图 97, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 180°时胸部紫外线暴露日间分布

(6.5) 210°

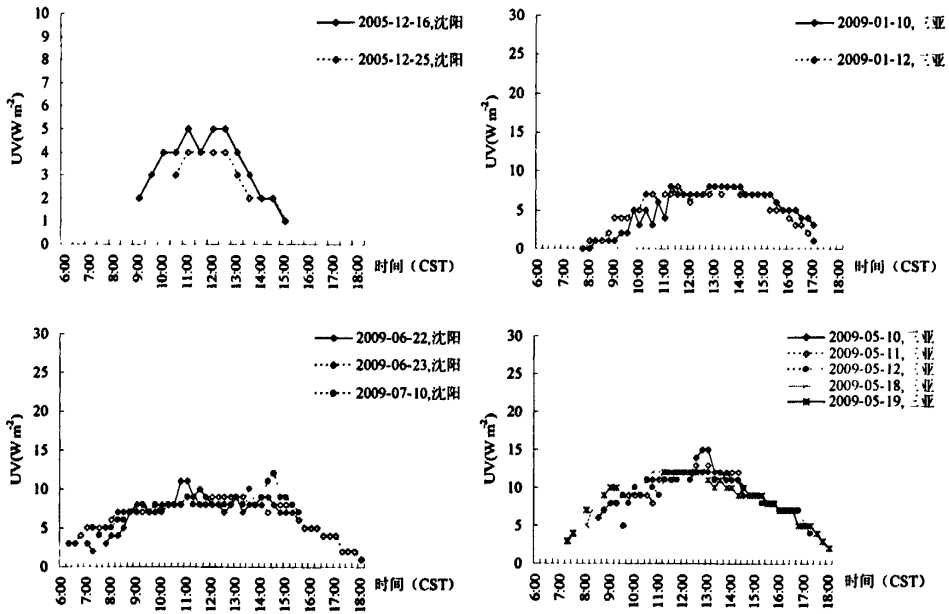


图 98, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 210°时胸部紫外线暴露日间分布

(6.6) 240°

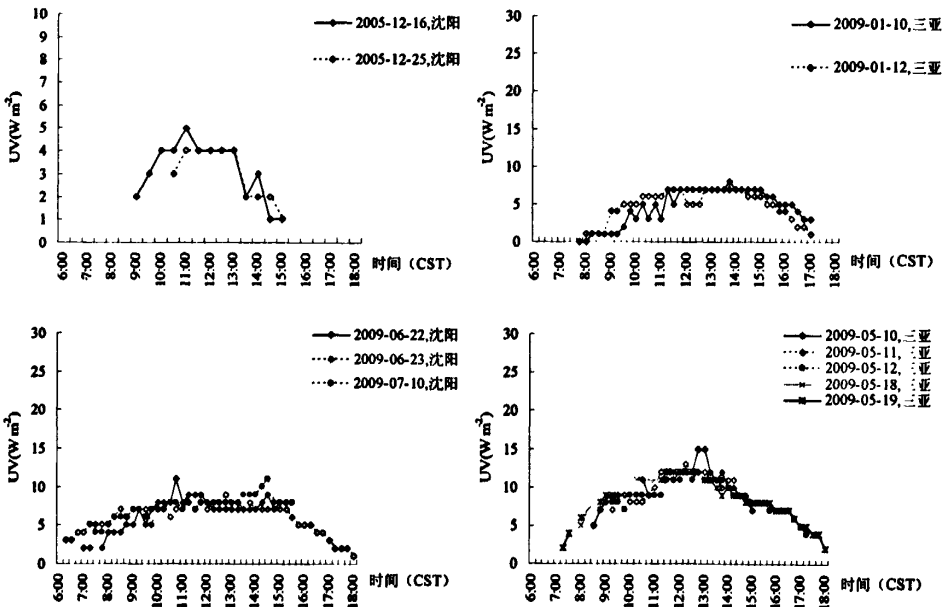


图 99, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 240°时胸部紫外线暴露日间分布

(6.7) 270°

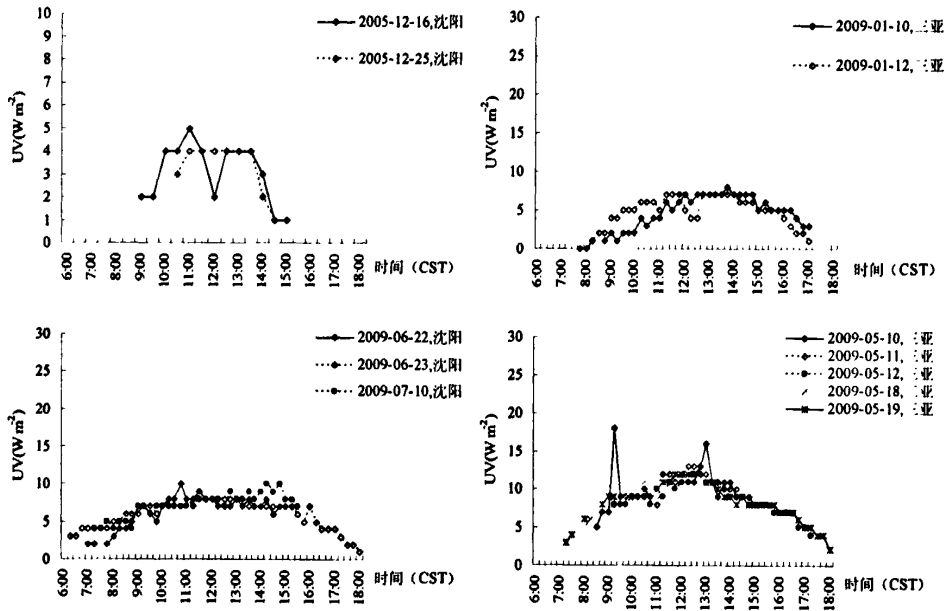


图 100, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 270° 时胸部紫外线暴露日间分布

(6.8) 300°

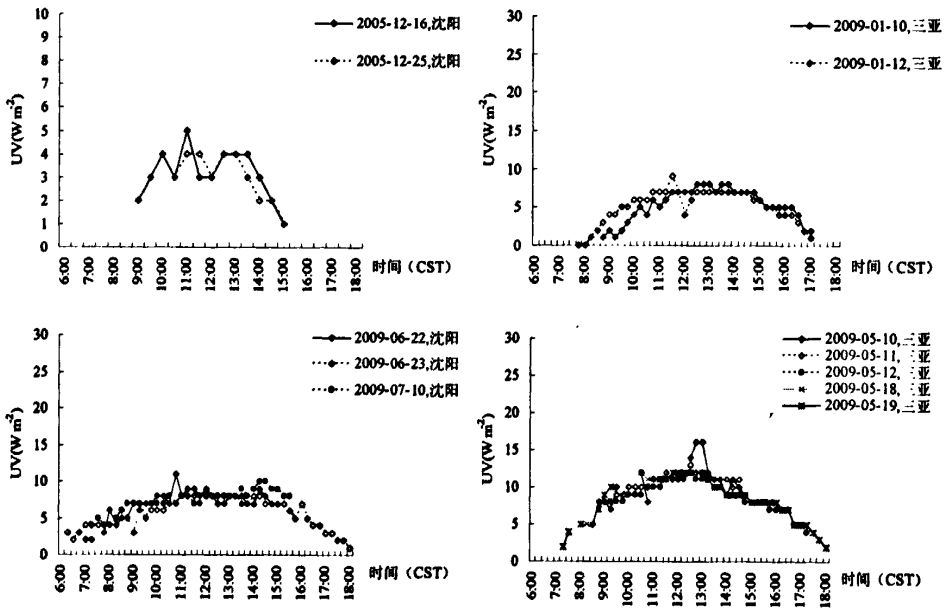


图 101, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 300° 时胸部紫外线暴露日间分布

(6.9) 330°

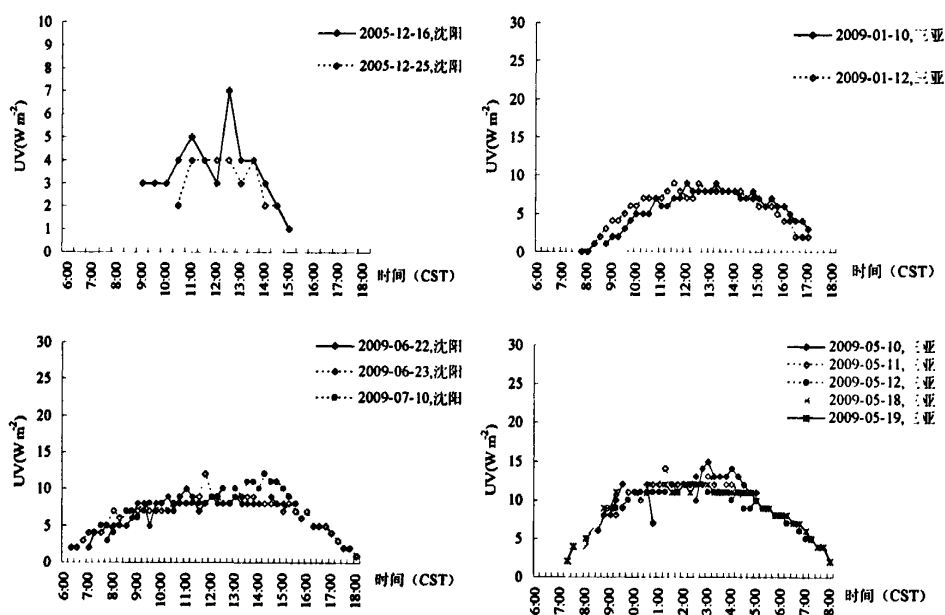


图 102, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 330°时胸部紫外线暴露日
间分布

(6.10) 360(0)°

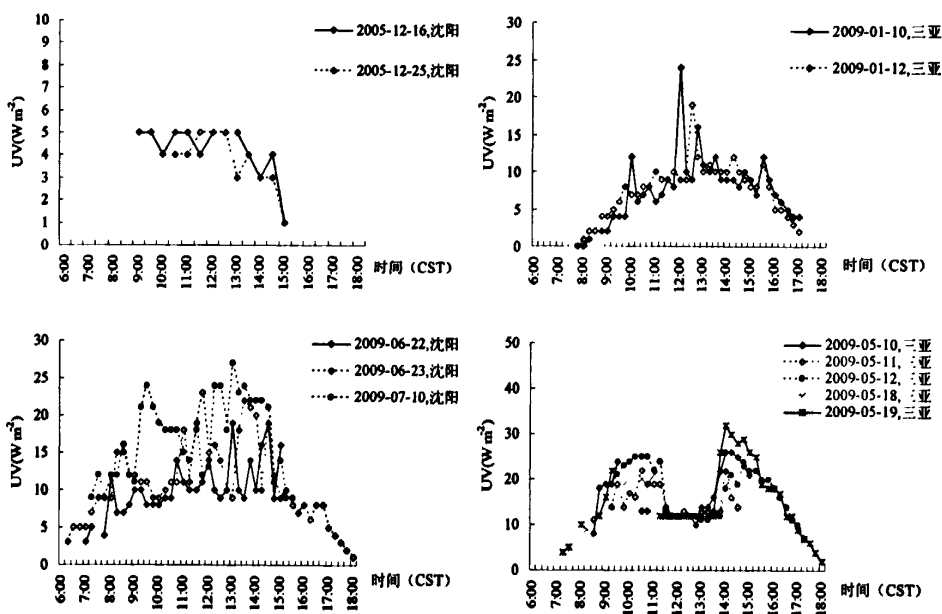


图 103, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 360(0)°时胸部紫外线暴露
日间分布

(6.11) 30°

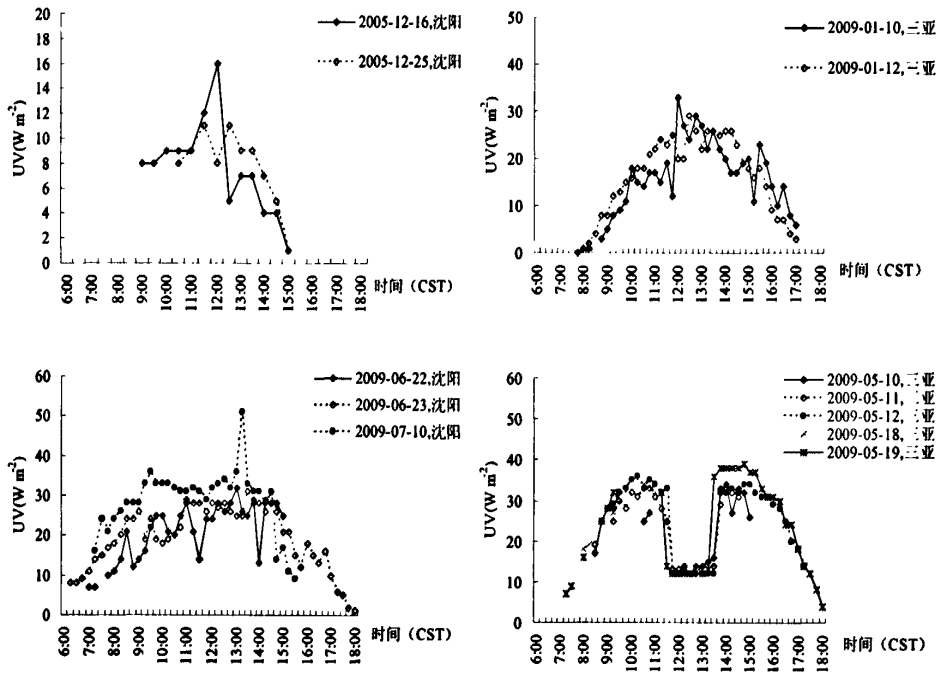


图 104, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 30°时胸部紫外线暴露日间分布

(6.12) 60°

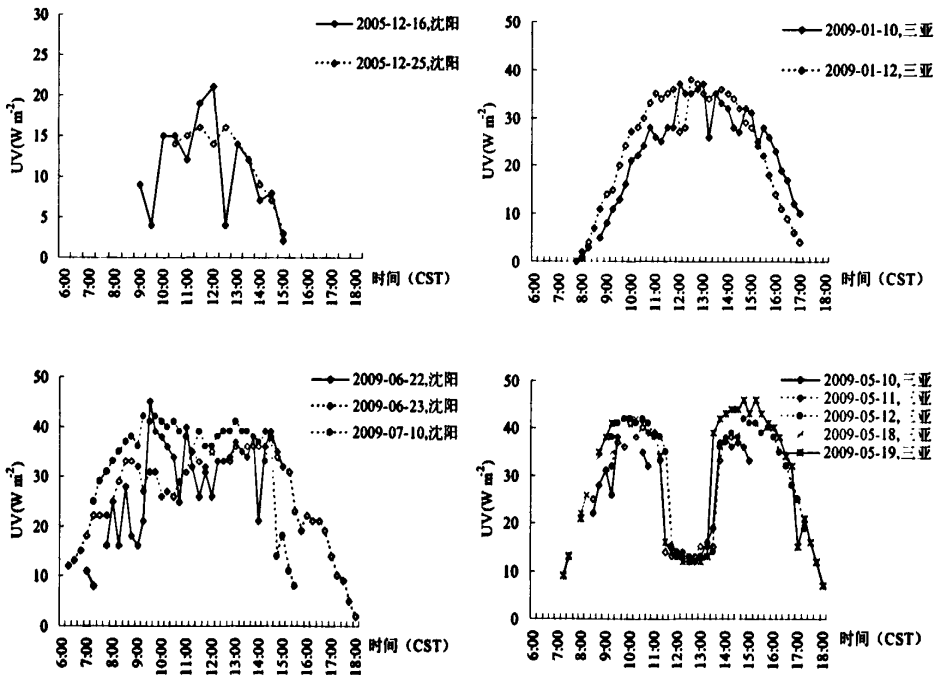


图 105, 沈阳和三亚地区旋转人体模型朝向角度为 60°时胸部紫外线暴露日间分布

分布

如图 95-105 所示, 在偏离正面对太阳不同朝向角度下, 胸部的紫外线暴露日间分布不同, 这在三亚 5 月份的结果中更为显著。其中在图 95、96 和图 103-105 中所示, 120°、150°和 360(0)°、30°、60°朝向角度下, 胸部的紫外线暴露日间分布与图 94 中所示 90°朝向角度(正面对太阳)时胸部紫外线暴露日间分布相似, 呈现显著的双峰分布。随着偏离正面对太阳角度变大, 即在 180°~330°朝向角度时, 如图 97-102 所示, 胸部的紫外线暴露强度降低, 日间分布也趋向于呈现单峰曲线。

二、沈阳和三亚地区代表日不同朝向角度下紫外线暴露分布

根据如上第一部分全部监测结果, 选择四个监测期间中天气晴好, 监测结果较为完整的四个代表日期进行进一步分析, 选择的四天为沈阳地区 2005 年 12 月 25 日, 2009 年 6 月 23 日, 三亚地区 2009 年 1 月 12 日, 2009 年 5 月 12 日。这四天不同时点的太阳高度角变化见图 106, 日间环境紫外线水平见图 107。

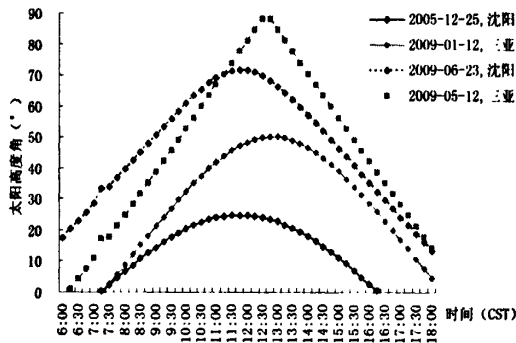


图 106, 沈阳和三亚地区四个代表日不同时点太阳高度

1、沈阳和三亚地区代表日环境日光紫外线日间分布

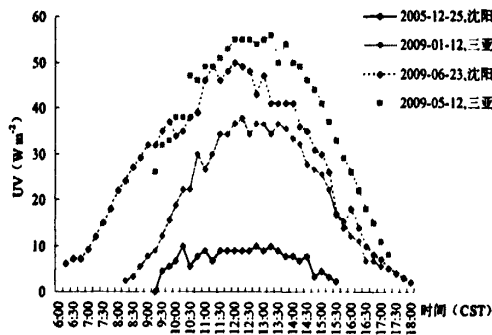


图 107, 沈阳和三亚地区代表日水平环境紫外线日间分布

如图 107 所示, 环境 UV 测量水平面下降流紫外辐射, 不受监测仪器相对太阳朝向角度不同的影响, 日间分布同论文一中所述, 呈现单峰钟型曲线, 由于三亚和沈阳地区地方时 (真太阳时) 的不同, 三亚正午峰值出现时间略晚一些。

由上述结果一的各图中可见, 晴天日间紫外线基本呈现以当地真太阳时为分割的近似于上下午对称分布, 由此在此部分的结果中我们选择以 12:00CST 为起始的下午各整半点时段的紫外线暴露, 计算不同朝向角度紫外线强度与各朝向平均强度之比, 以阐明垂直面及旋转人体模型不同解剖部位紫外线相对较高暴露朝向角度相对的暴露危险性。

2、沈阳和三亚地区代表日垂直面不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

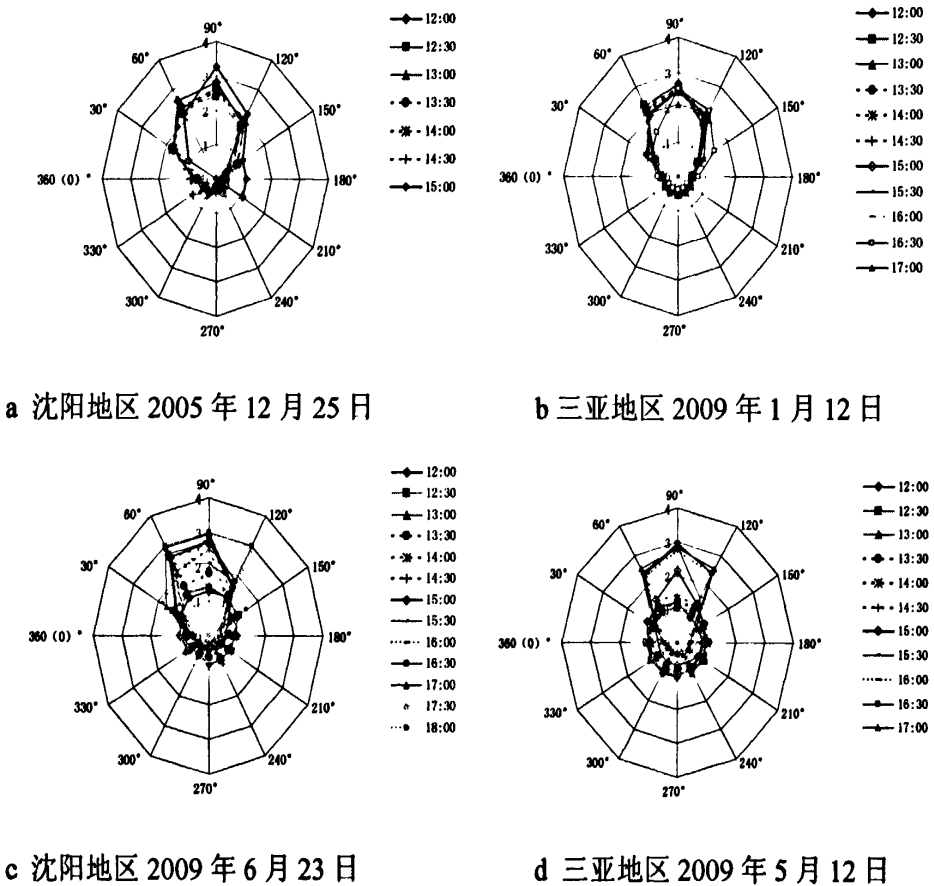
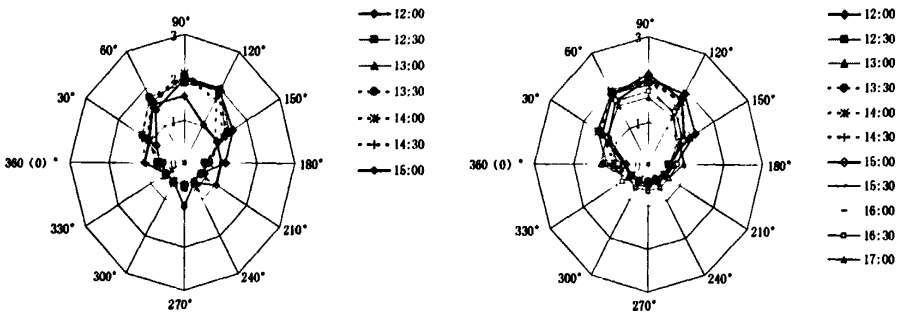


图 108, 沈阳和三亚地区代表日垂直面不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 108 显示了日间各时点垂直面不同朝向角度下的紫外线暴露与相应时点上各个朝向角度紫外线平均强度的比值。沈阳和三亚两地的监测均为垂直面朝向角度为 90° ，即正面对太阳时的紫外线暴露最强，其强度最高能达到各个朝向角度紫外线平均强度的 3 倍左右，在顺时针或逆时针偏离正对太阳朝向 30° （ 120° 或 60° 朝向角度）后，紫外线暴露强度会显著降低至平均水平或以下。

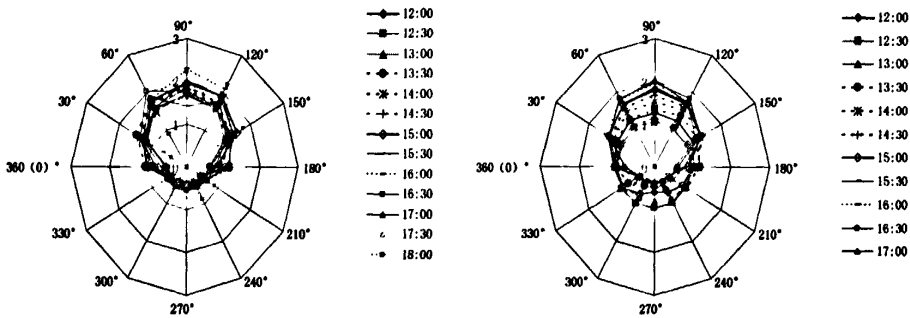
3、沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型不同解剖部位不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

(1) 额部



a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日

b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

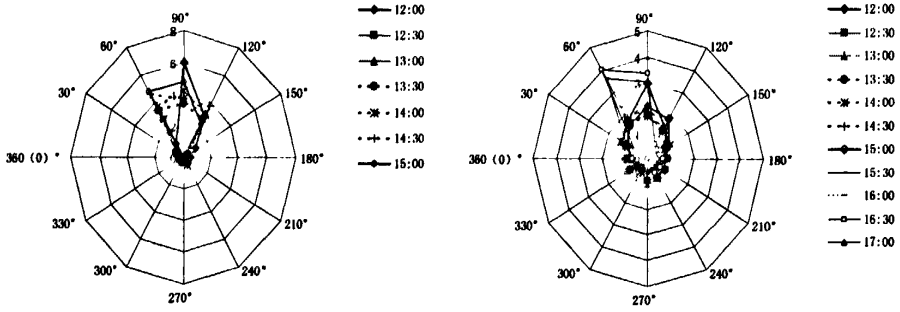
d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

图 109，沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型额部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 109 显示了日间各时点额部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值，沈阳和三亚两地的监测均为朝向角度为 90° ，即正面对太阳时的紫外线暴露最强，其强度约能达到平均强度的 2 倍，在顺时针或逆时针偏离正对太

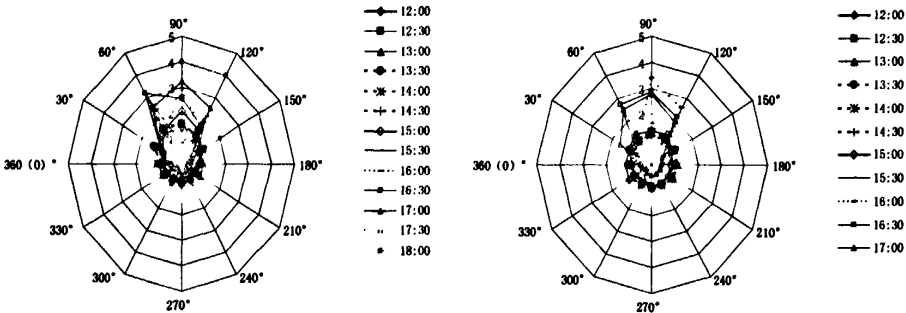
阳朝向 60°范围（150°或 30°朝向角度）后，紫外线暴露降低至平均水平及以下。而在三亚地区夏季，朝向角度对额部紫外线暴露的影响较小，偏离正面对太阳，回避日光直射对减少额部紫外线暴露的作用较小。

(2) 眼部



a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日

b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



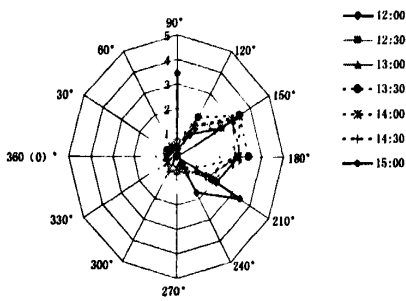
c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

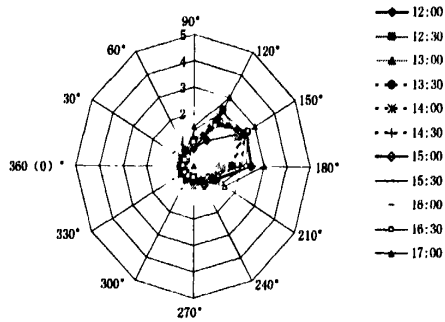
图 110，沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型眼部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 110 显示了日间各时点眼部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值。沈阳和三亚两地的监测均为眼部正面对太阳时的紫外线暴露最强，在顺时针或逆时针偏离正对太阳朝向 30°范围（120°或 60°朝向角度）后，紫外线暴露会显著降低。

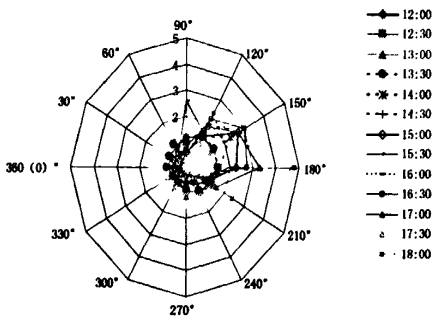
(3) 颊部



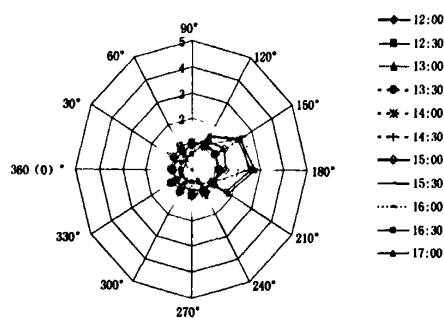
a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日



b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

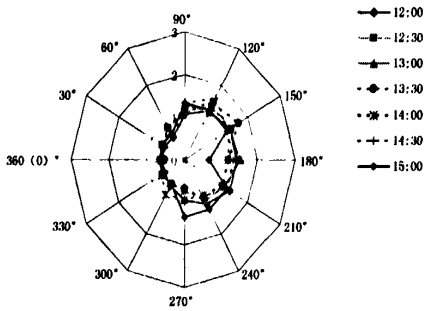


d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

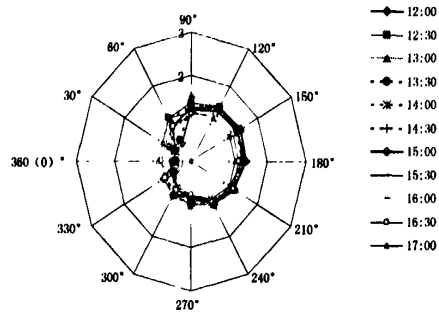
图 111, 沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型颊部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 111 显示了日间各时点颊部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值。沈阳和三亚两地的监测均为颊部朝向角度为 150° 或 180° 时, 紫外线暴露最强。这主要是由于本次监测为左颊部, 其解剖位置处于近似垂直状态, 在旋转人体模型正面对太阳时, 左颊部却偏离正面对太阳近似 60° 左右, 随着模型顺时针旋转, 左颊部近似正面对太阳, 因而在朝向角度为 150° 或 180° 时紫外线暴露达到最强, 在 $120^\circ \sim 210^\circ$ 朝向角度范围之外, 其紫外线暴露会显著降低。

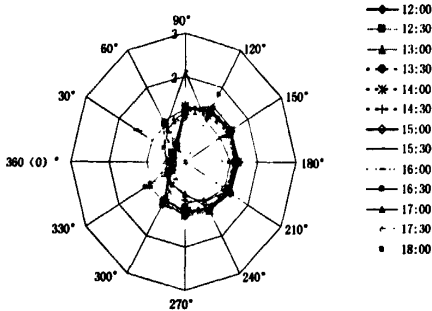
(4) 左肩部



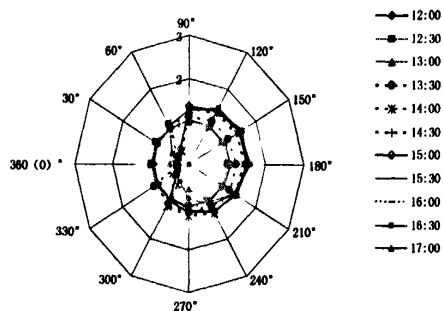
a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日



b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

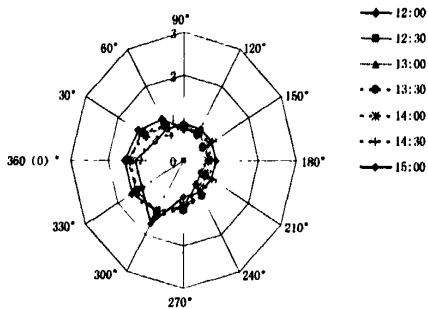


d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

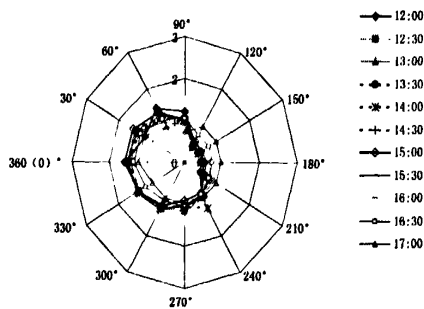
图 112, 沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型左肩部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 112 显示日间各时点旋转人体模型左肩部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值。由于肩部解剖部位处于近似水平状态, 因此随着太阳高度角升高, 朝向角度对左肩部的影响渐小, 主要表现在从图 112a 至图 112d, 沈阳和三亚两地的正午太阳高度角逐渐升高, 最高在三亚 2009 年 5 月 12 日达到近 90° , 此时日光近似垂直于水平表面, 头部的遮挡作用也几乎不存在, 不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值保持在约 1-1.5, 此时左肩部与水平环境 UV 相似, 几乎不受朝向角度的影响。

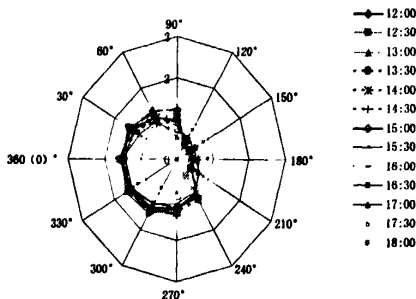
(5) 右肩部



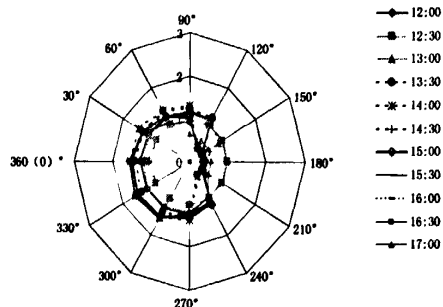
a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日



b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

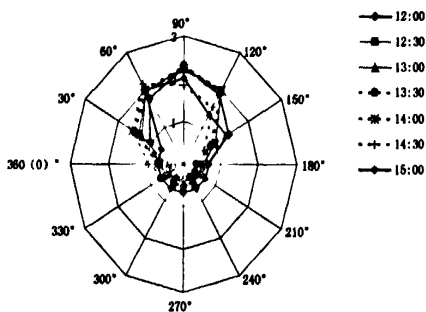


d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

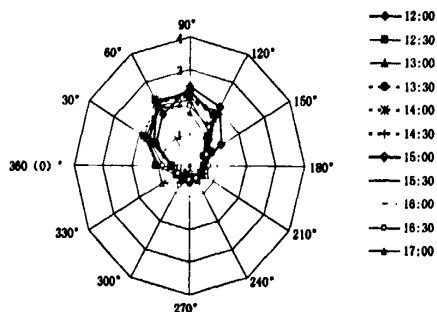
图 113, 沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型右肩部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 113 显示日间各时点旋转人体模型右肩部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值。与左肩部解剖部位相同的原因, 随着沈阳和三亚两地的正午太阳高度角逐渐升高, 与水平环境 UV 相似, 右肩部的紫外线暴露受朝向角度的影响也很小。

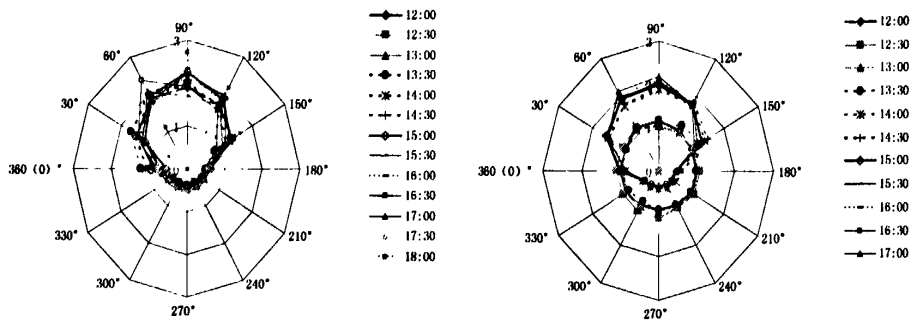
(6) 胸部



a 沈阳地区 2005 年 12 月 25 日



b 三亚地区 2009 年 1 月 12 日



c 沈阳地区 2009 年 6 月 23 日

d 三亚地区 2009 年 5 月 12 日

图 114，沈阳和三亚地区代表日旋转人体模型胸部不同朝向角度紫外线暴露强度与各朝向平均强度之比

图 114 显示了日间各时点胸部不同朝向角度下的紫外线暴露强度与各朝向平均强度的比值，与额部不同朝向角度下的紫外线暴露变化相似，沈阳和三亚两地的监测均为朝向角度为 90° ，即正面对太阳时的紫外线暴露最强，在顺时针或逆时针偏离正对太阳朝向 60° 范围，紫外线暴露降低至接近平均水平，因而显著降低额部紫外线暴露至少要偏离正对太阳 60° 左右。

综上所述，如图 109-114 所示，额部、眼部、颊部和胸部四个解剖部位的紫外线暴露更接近于垂直面（图 108）紫外线暴露特征，除颊部在朝向角度为 150° - 180° 时达到最高暴露外，其余三个解剖部位均在朝向正对太阳即 90° 朝向角度时 UV 暴露最强，背对太阳即 270° 朝向角度时最弱。而额部随着太阳高度角范围的增加，在三亚五月正午时，紫外线暴露几乎不受朝向角度的影响。左右肩部的紫外线暴露更接近于水平环境紫外线暴露特征，但在太阳高度角较低时段，在偏离正对太阳 90° ，即朝向角度为 180° 和 360° 时分别收到头部的显著遮挡作用。

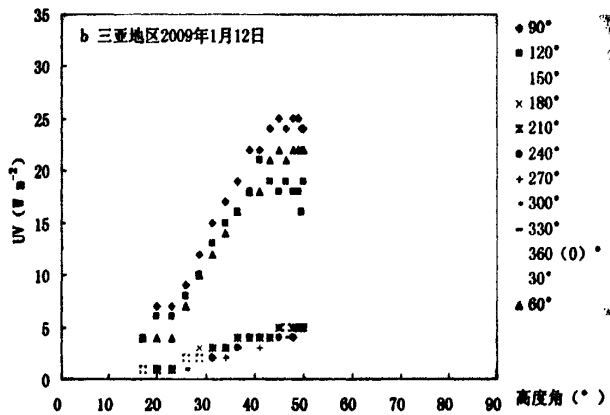
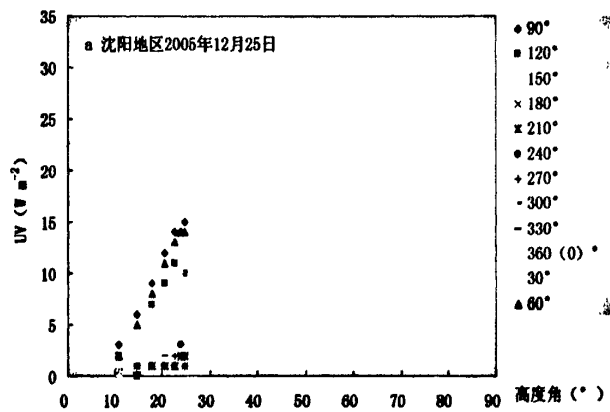
因而，在一天中的早晚时间段内，是眼部和颊部紫外线暴露较高的时间段，且受朝向角度影响较大，偏离正对太阳一定角度即可显著降低紫外线暴露。在此时间段，其他解剖部位受朝向角度的影响也较大，因而紫外线防护较为有效且简单的方式就是避免正面对太阳来享受日光。随着接近正午太阳高度角升高，朝向角度对眼部和颊部等近似垂直表面解剖部位的影响依然存在，但是对于肩部、额部等的防护作用降低，但这主要依赖于当地不同季节正午太阳高度角所能达到的范围。因此，不同地区，不同季节，对于不同解剖部位紫外线暴露的防护重点和

防护方式不同，各地应根据当地具体情况制定相应的紫外防护策略。

在以下论文结果中将进一步讨论垂直面和旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露随太阳高度角变化的分布。

三、沈阳和三亚两地代表日不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

1、垂直面不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布



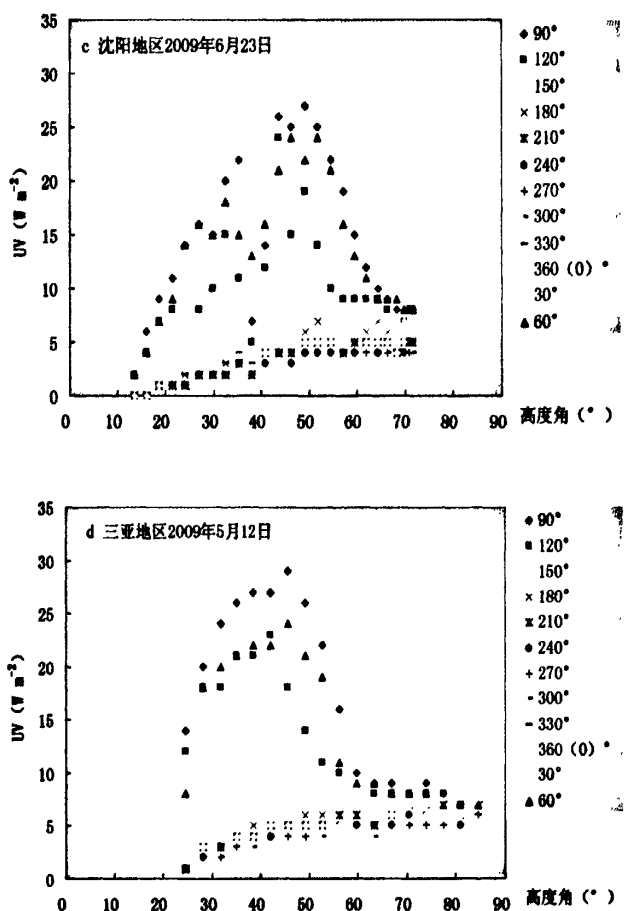
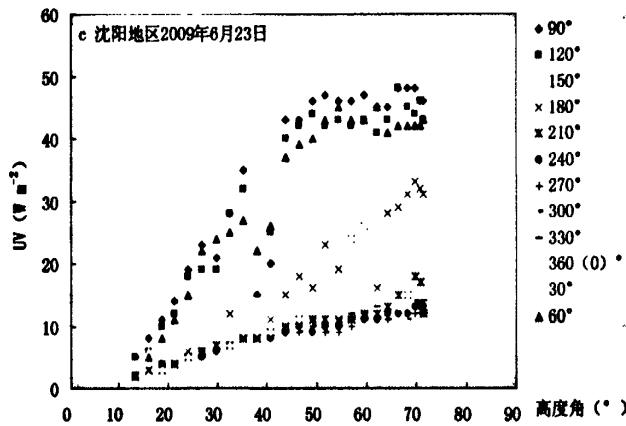
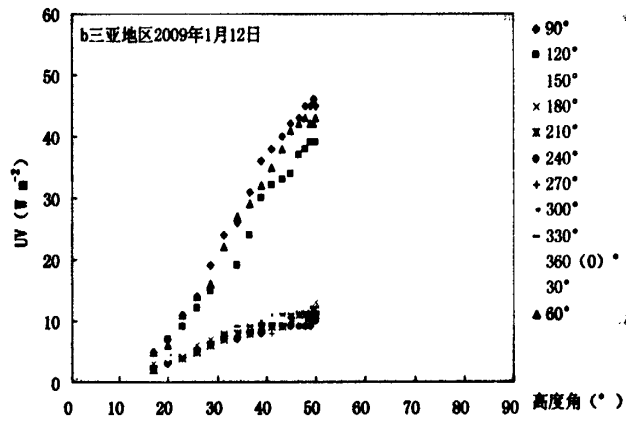
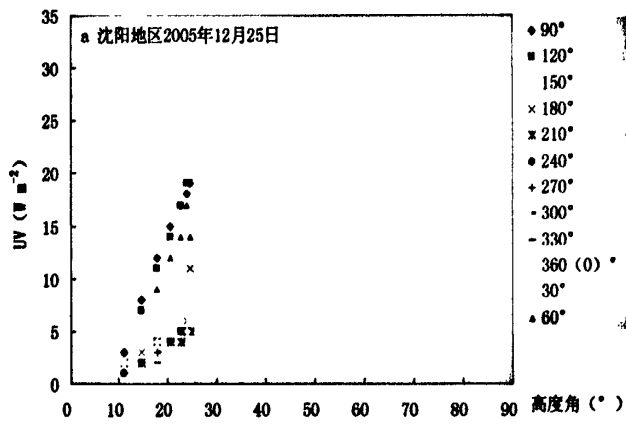


图 115, 沈阳和三亚地区垂直面不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 115 垂直面不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布中显示, 沈阳和三亚地区, 60°、90°和 120°朝向角度的紫外线暴露强度峰值出现在太阳高度角近 50°左右, 其它朝向角度的紫外线暴露强度均随太阳高度角增加而升高, 在最高太阳高度角 90 度时达到最高。而如图 115a 所示, 由于沈阳冬季正午最高太阳高度角也仅为 25°左右, 因而垂直面 60°、90°和 120°朝向角度的紫外线暴露强度仍一直随太阳高度角增加而升高。随着太阳高度角的升高, 60°、90°和 120°朝向角度的紫外线暴露强度与其它朝向角度暴露的差异也显著增加。而在全部高度角范围内, 150°~360(0)°和 30°朝向角度之间的紫外线暴露强度始终相近, 相差较小。

2、旋转人体模型不同解剖部位不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

(1) 额部



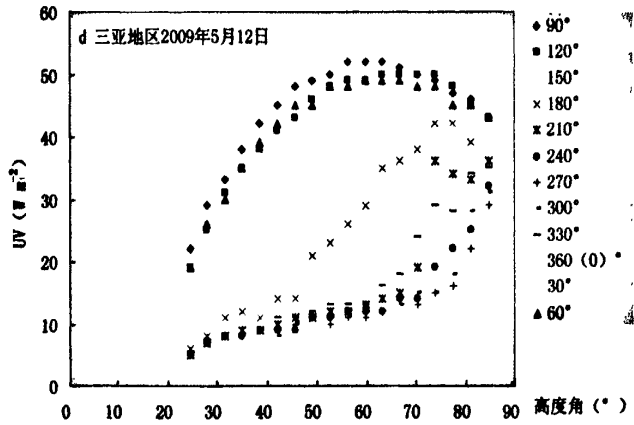
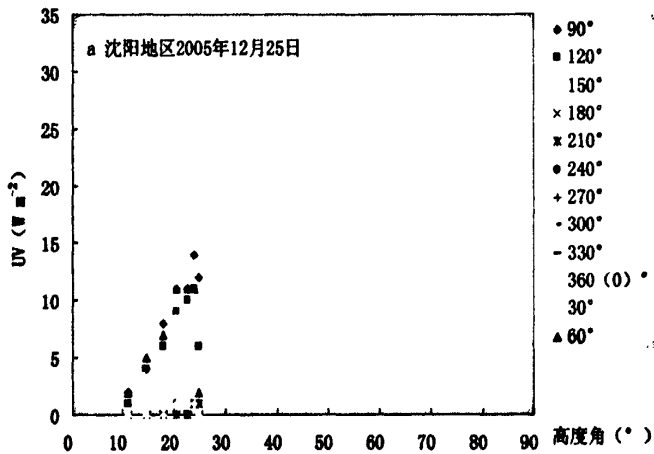


图 116, 沈阳和三亚地区旋转人体模型额部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 116 显示, 额部不同朝向角度紫外线暴露强度均随太阳高度角增加而升高, 在太阳高度角达到近似 70°及以上 (图 116d), 日光紫外线由逐渐垂直于额部紫外线监测仪变得倾斜入射至额部紫外线监测仪, 因而, 相对面向太阳的几个朝向角度, 如 360(0)°~180°时, 额部紫外线暴露略有下降, 而背对太阳的几个朝向角度, 如 210°~330°朝向角度的额部紫外线暴露由于直射紫外辐射部分增多而暴露量显著增加。

(2) 眼部



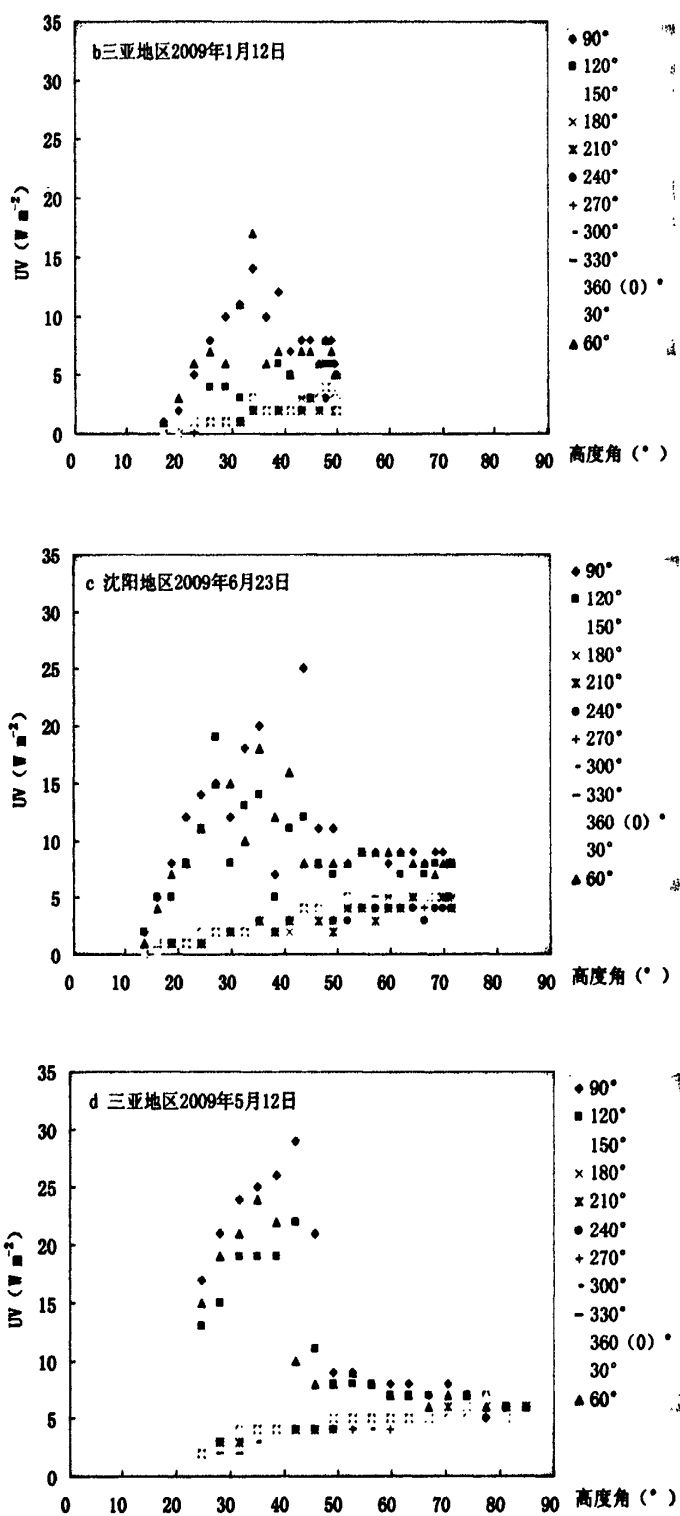
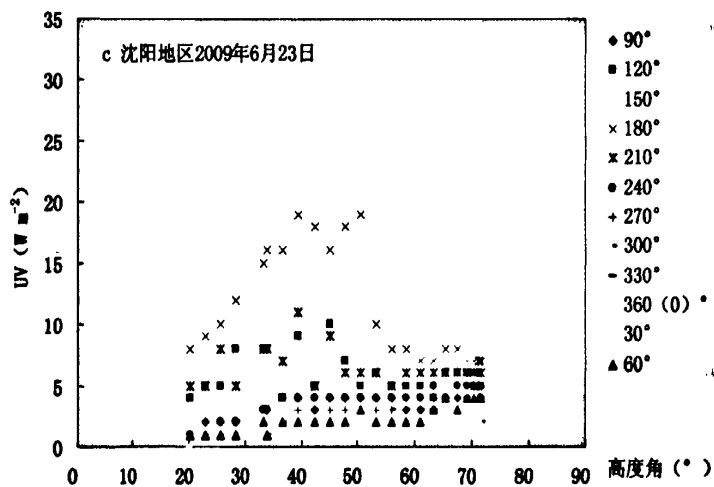
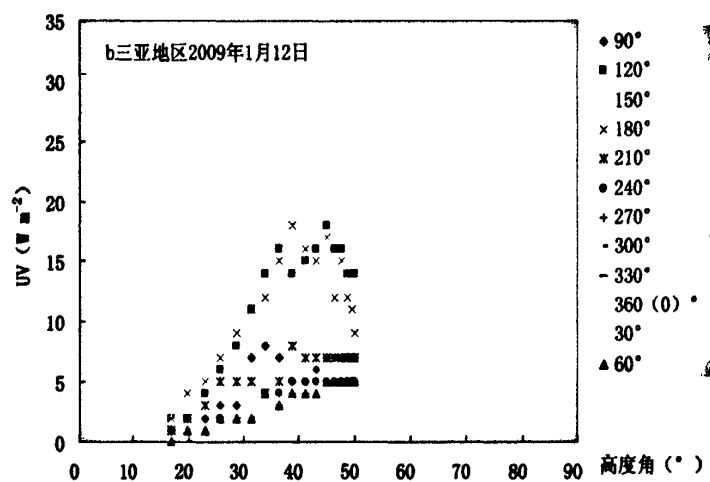
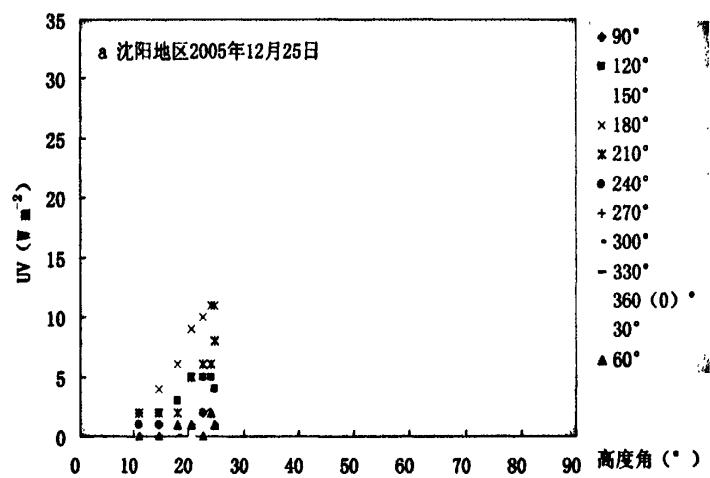


图 117, 沈阳和三亚地区旋转人体模型眼部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

(3) 颊部



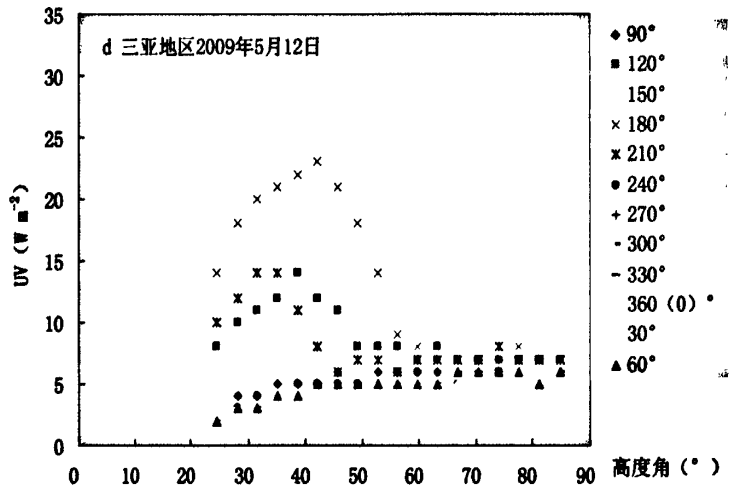
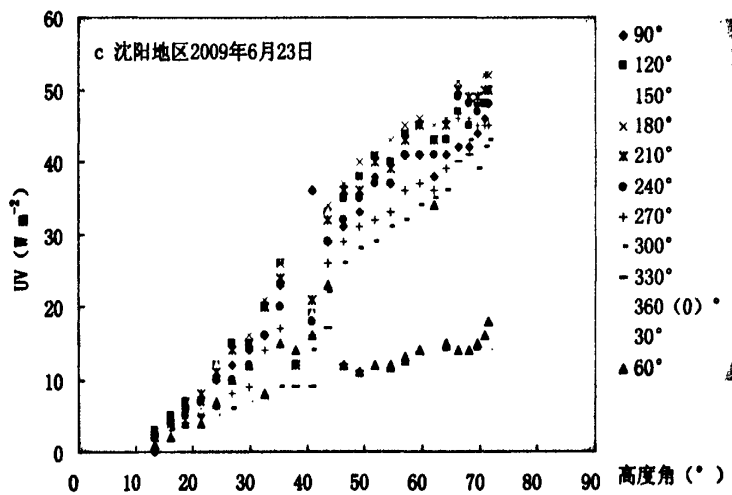
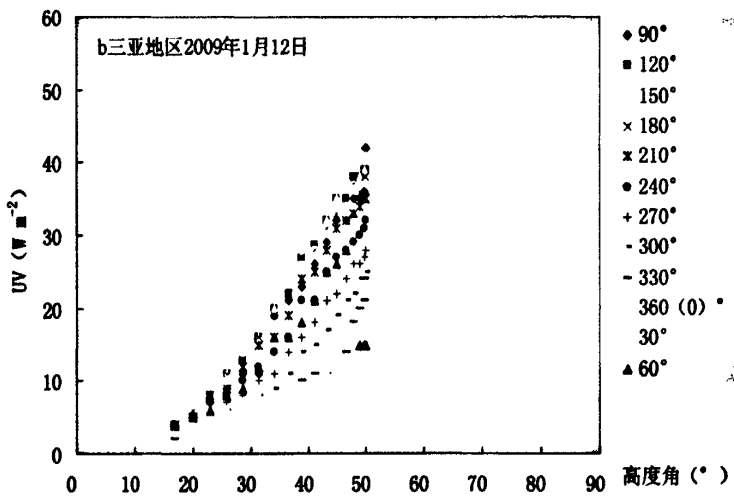
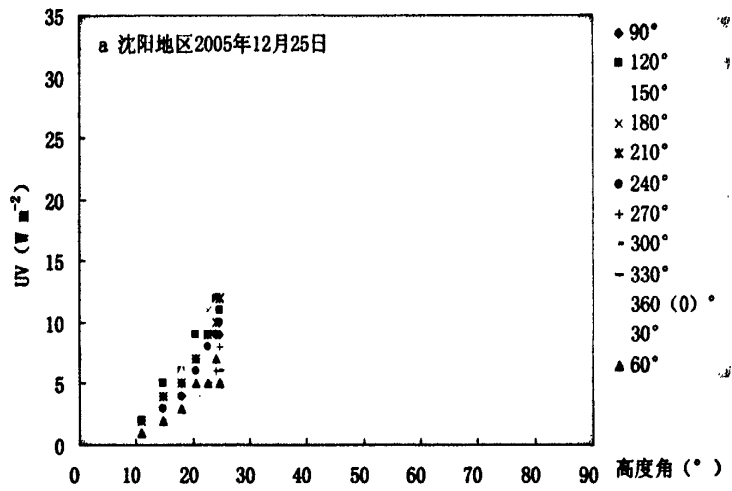


图 118, 沈阳和三亚地区旋转人体模型颊部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 117 和图 118 显示, 眼部和颊部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化规律与图 115 所示垂直面紫外线暴露非常相近, 但沈阳和三亚地区, 眼部在 60°、90°和 120°朝向角度的紫外线暴露强度峰值出现在太阳高度角 30°左右, 其它朝向角度的紫外线暴露强度均随太阳高度角增加而升高, 在最高太阳高度角 90°时达到最大值, 而颊部在 120°、150°、180°和 210°朝向角度的紫外线暴露强度峰值出现在太阳高度角 40°左右, 其它朝向角度的紫外线暴露强度均随太阳高度角增加而升高。而如图 117a 和 118a 所示, 由于沈阳地区冬季正午最高太阳高度角也仅为 25°左右, 因而颊部和眼部各个朝向角度的紫外线暴露强度均一直随太阳高度角增加而升高。

(4) 左肩部



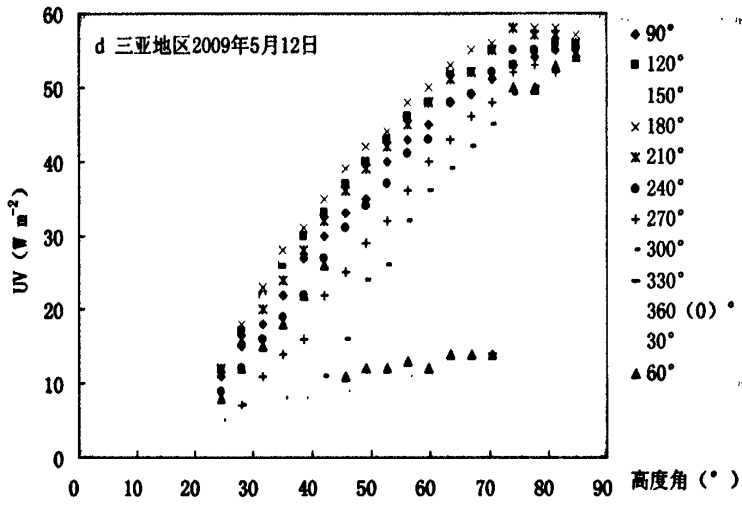
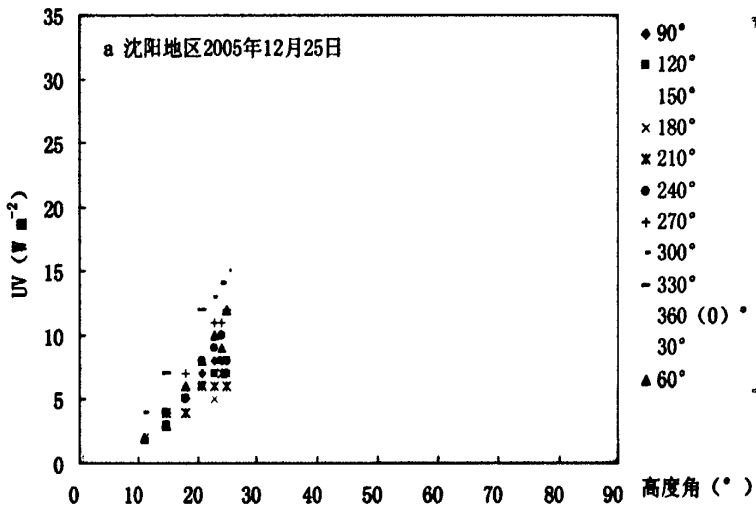


图 119, 沈阳和三亚地区旋转人体模型左肩部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

(5) 右肩部



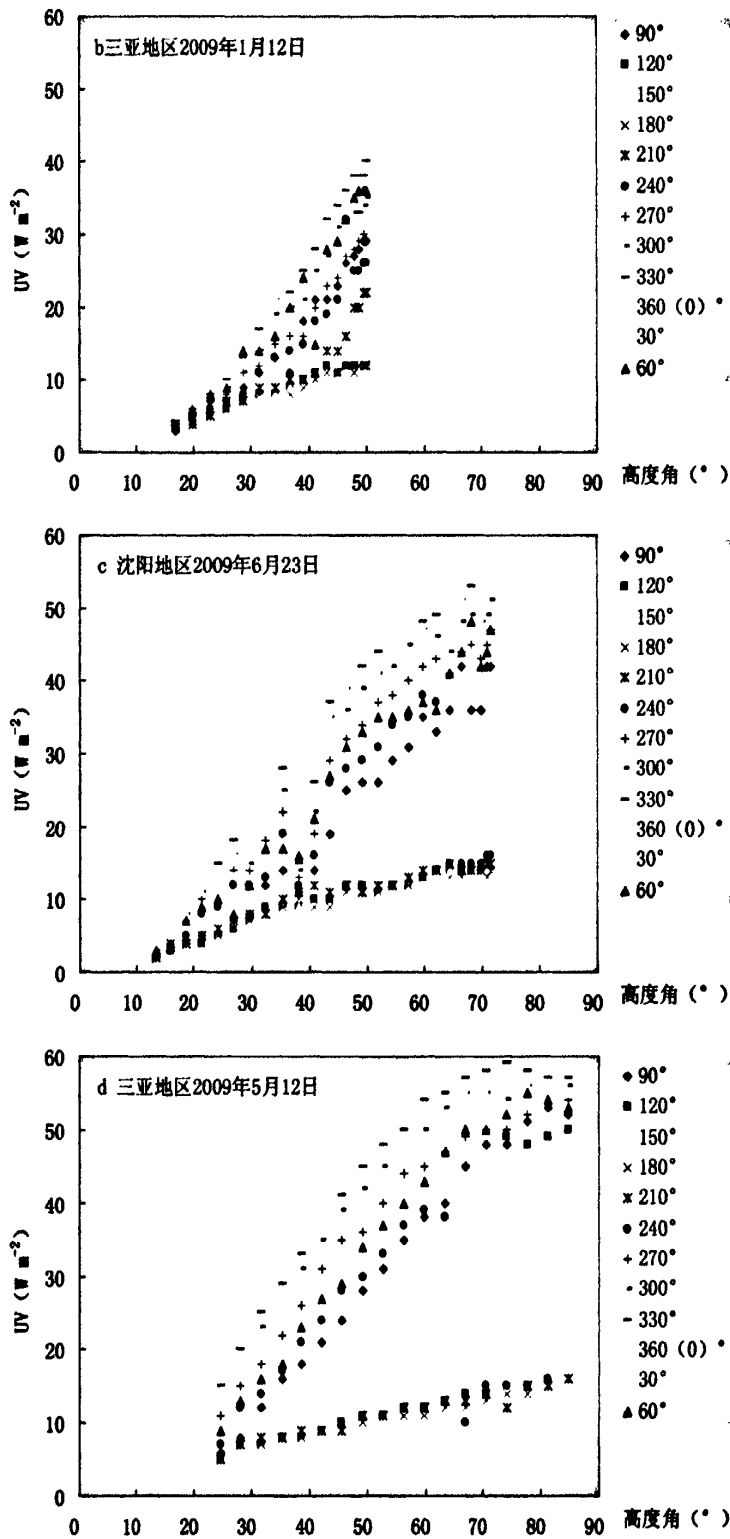
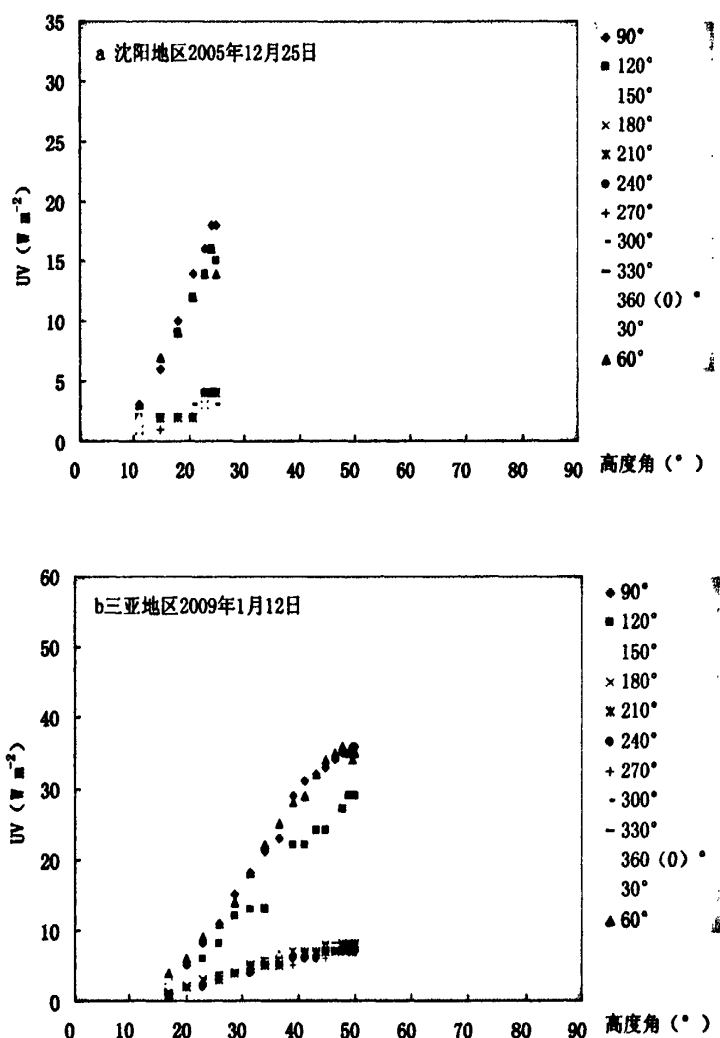


图 120, 沈阳和三亚地区旋转人体模型右肩部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 119、120 显示，左右肩部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化的趋势非常相似，只是由于左右肩部解剖位置的不同以及顺时针旋转进行监测的监测方式决定了二者在朝向角度上分布的不同。顺时针旋转使得右肩部在朝向角度在 180° 时受到头部较强的遮挡作用，而此时左肩部却相对暴露较高。也是由于头部的遮挡作用，在太阳高度角为 40° 及以上时，不同朝向角度下肩部紫外线暴露差异显著，成剪刀样分布，如图 119 (c,d) 和图 120 (c,d) 所示，但从图 119d 和图 120d 中可见，当在太阳高度角在 70° 以上，头部对特定朝向角度下肩部的遮挡作用显著降低，如左肩部 60° 朝向角度和右肩部 120° 朝向角度的紫外线暴露，因而此时紫外线暴露强度显著增高。

(6) 胸部



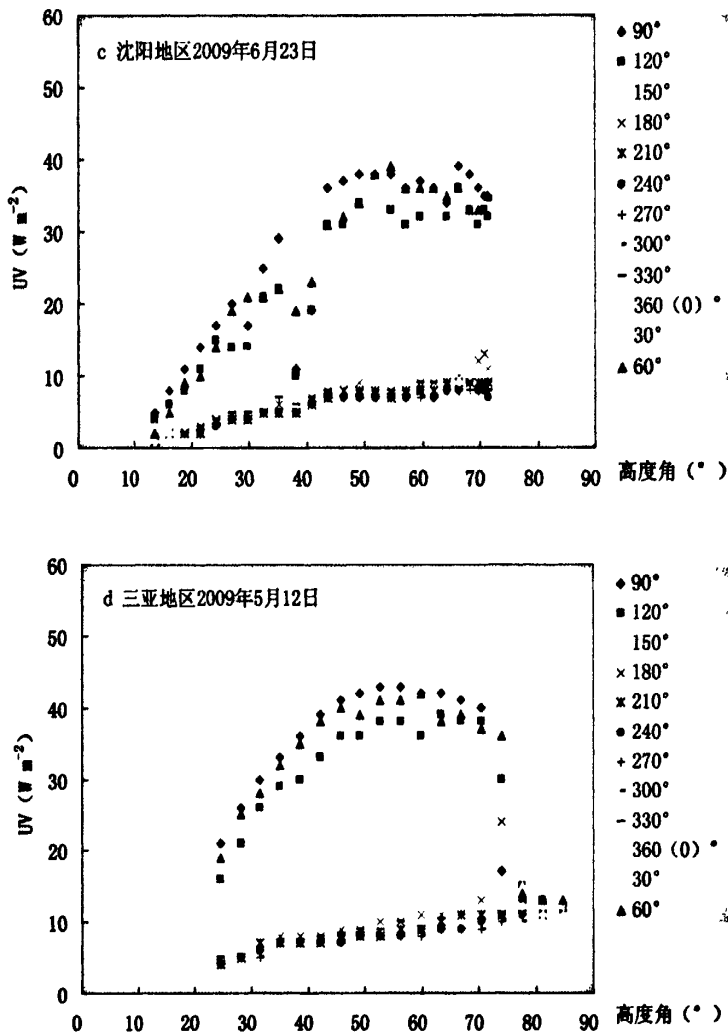


图 121, 沈阳和三亚地区旋转人体模型胸部不同朝向角度紫外线暴露随太阳高度角变化分布

图 121 显示, 在太阳高度角小于 60° , 胸部不同朝向角度紫外线暴露强度均随太阳高度角增加而升高, 在太阳高度角达到近似 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 范围 (图 121c, d), 相对为面对太阳的几个朝向角度, 如 $360(0)^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 时, 胸部日光紫外线暴露随太阳高度角增加而略下降, 而在太阳高度角达到近似 75° 及以上, 则显著下降, 此时主要是由于由头顶上方入射的直射紫外线受到头部的显著遮挡因而到达胸部的直射紫外线量显著降低。而背对太阳的几个朝向角度, 如 $210^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 朝向角度的胸部紫外线暴露均随太阳高度角增加而升高。

讨 论

影响个体紫外线暴露的因素首先是环境紫外辐射量。地面环境UV辐射受很多因素影响,包括南北半球、季节、海拔、纬度、太阳高度角、大气衰减(包括臭氧层的厚度和垂直分布、空气污染、云层厚度等)和地面反射率等。平均而言,南半球比北半球的UV辐射更多。而通常情况下,太阳高度角越大,海拔越高,纬度越低,云量、污染物和平流层臭氧量越少,到达地面的UV辐射越强。

其次,当个体所处环境因素已经确定的情况下,影响个体紫外线暴露的个体行为因素也很多。如戴帽子、眼镜等防护措施,解剖位置的相互遮挡,人们本能的回避紫外线直射,工作性质决定紫外线暴露方式等等。

有文献表明,对于紫外线直射,人体表面的朝向是非常重要的^[24],必须具体说明任何特定朝向作用对人体和具体解剖部位接受太阳紫外辐射的影响。Webb等^[20]曾经在西班牙 Tenerife 的 Izana 监测站(海平面上 2370m)的一个夏季日进行了水平面和面向东、南、西、北四个方向垂直面的 UV 光谱辐射的测量,发现南面的辐射要比其它三个方向大,这对于北半球来说表明了正对太阳时的辐射要显著高于其他朝向。

本次研究我们选择晴好天气,在沈阳和三亚地区,采用旋转人体模型进行了更为细致的 12 个朝向角度的测量,并连续监测日间各时点额部、眼部、颊部、肩部和胸部在不同朝向角度下紫外线暴露的瞬时值,以确定不同朝向角度上述各解剖部位紫外线暴露的差异,阐明不同朝向角度下不同解剖部位紫外线暴露规律,探讨不同个体行为特征(即不同朝向角度)下不同解剖部位紫外线的暴露状况,研究不同朝向的防护效果,探索个体不同解剖部位紫外线暴露定量的方法。

在本次研究中发现,额部、胸部和眼部,除个别时点外(日光瞬时强度增强的原因),均在朝向正对太阳即 90°朝向角度时紫外线暴露最强,背对太阳即 270°朝向角度时紫外线暴露最弱,进一步证实了人体表面的朝向是重要。本次研究还发现在(180°, 360°]朝向角度范围内,由于直射紫外线显著减少,紫外线暴露主要由反射和散射部分组成,各个解剖部位的紫外线暴露均较稳定,且部位间差异较小,而在(0°, 180°]朝向角度范围内,紫外线暴露主要由直射、反射和散

射部分组成，其中直射占主导，各个解剖部位的紫外线暴露强度随朝向角度不同，显著增加或下降，且额部和胸部紫外线暴露显著高于颊部和眼部。我们希望通过对不同朝向角度的各解剖部位紫外线暴露的监测，对特定朝向角度进行工作的特殊暴露人群的个体紫外线暴露定量评价提供帮助。此外，由推断认为在反射背景较高的紫外线暴露环境下，如雪地、沙滩等，朝向角度对眼部和颊部的紫外线暴露防护作用会降低，戴眼镜等眼部防护措施更不容忽视，而躲避日光直射对于额部和胸部的防护会更为显著。

不同解剖部位在不同朝向角度的紫外线暴露日间分布中可以看到，在正面对太阳，即朝向角度为 90° 时，眼部在早晚时间段各出现一高暴露峰值，呈现双峰分布，在朝向角度偏离正面对太阳一定角度，如 $60^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 范围内，紫外线暴露强度虽然下降，但依然呈现双峰分布。虽然在相对背对太阳（朝向角度在 $180^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ）范围内，眼部紫外线暴露为单峰钟型曲线，但在全部朝向角度范围的紫外线暴露累积值，如同论文一中所得眼部紫外线暴露日间分布规律相近，眼部紫外线暴露峰值出现在太阳高度角 30° 左右。这一特殊规律提示我们应该改变传统的防护观念，不仅注重中午时间段的防护，还要考虑到一些解剖部位紫外线暴露的特殊性。

当个体处于既定的环境中，影响个体紫外线暴露的个体行为因素很多，如戴帽子、眼镜等防护措施能有效减少紫外线暴露，当未采取防护措施，人们也会在强光刺激下本能的回避紫外线直射，特别是眼部，虽然完全背对日光会达到最好的防护效果，但当工作性质决定紫外线暴露方式等等的情况下，尝试尽可能偏离日光紫外直射 30° 即可达到较好的降低紫外线暴露的目的。

眼部紫外线暴露日间分布特征研究发现眼部紫外线暴露在早晚太阳高度角约为 30° 左右时紫外线暴露水平较高，而在不同朝向角度眼部紫外线暴露分布研究中发现偏离正面对太阳 30° 眼部紫外线暴露即可显著降低，以此为基础，为紫外线防护和户外活动时间的指导提供了依据。这将对提醒公众有的放矢地做好防护，开展“一级预防”，对人们进行行为干预提供有效信息！在具有十三亿人口的中国，皮肤癌的发病率很低，紫外线主要的损害是对眼部的损伤。因此，从户外行为上指导个体眼部的紫外线防护，对于中国乃至其他以眼部损伤为主的人群来说，都将是一种减少眼部紫外线损伤的值得尝试的预防手段。

结 论

1、在正面对太阳的一定朝向角度范围内，眼部紫外线暴露日间的分布在太阳高度角约 30° 时达到峰值，而在背对太阳的一定朝向角度范围内，其紫外线暴露在全太阳高度角范围内随高度角升高而增加。

2、朝向角度显著影响眼部紫外线暴露，个体主观回避日光 UV，即偏离正面对太阳 30° 将有效降低眼部 UV 暴露。

旋转人体模型不同解剖部位

日光紫外线暴露拟合计算

前 言

一直以来,平流层臭氧对人类紫外线的暴露都起着重要的天然防护作用,然而,由于上世纪下叶大量制冷剂、发泡剂、清洗剂中的氯氟烃类以及作为灭火剂的聚四氟乙烯类等各种化合物的使用,导致平流层中的 O_3 耗减,地球表面日光紫外辐射增加,专家估计,至少到本世纪中下叶臭氧层才能恢复到上世纪70年代的水平。臭氧层破坏这一全球性重大环境问题提出以来,其发生、发展及由此导致的紫外线气候变化引发的皮肤癌和白内障两个主要公共健康问题备受国际社会关注^[6,11,88]。

白种人由于缺少色素保护,对紫外线致皮肤癌的问题格外重视。在深色皮肤人群中皮肤癌发病率较低,但其经常在更晚、更危险的阶段被检查出来,病死率更高。大量流行病学研究表明,对皮肤癌发展有促进作用的危险因素中,唯一可修正的环境危险因素是紫外线暴露^[89,90]。世界公共卫生当局在过去的几十年已作出了很大努力,来向公众宣教过度的太阳紫外线暴露的危险。

目前,全世界普遍采用的“全球太阳紫外指数”(Global solar UV index, UVI)是目前指导公众户外活动的最主要宣教手段,该指数的紫外线强度变量是出自对环境紫外辐射强度的预测,其所作出的最大值预报通常在正午12时(在全天晴好气象条件下)^[91]。众所周知,晴天环境紫外辐射强度日间分布规律呈现出以中午12时(真太阳时)为中心的钟型曲线(见论文一)。这一规律一直被作为所有紫外辐射研究的经典理论主宰着人们对个体紫外线暴露的认知,即把个体紫外线暴露量的日间分布规律等同于环境紫外辐射日间分布规律。目前指导公众户外活动最主要的宣教手段“全球太阳紫外指数”正是基于此。它的计算与预报是依据环境紫

外辐射分布规律而进行的，主要服务于皮肤损伤和皮肤癌的防护，它是将不同波长的太阳紫外线强度乘以“皮肤红斑作用光谱曲线”内对应的加权数值，以此红斑加权剂量反映紫外线对皮肤的损伤效应^[91]。最基本原则是尽量减少暴露，特别强调在夏季的几个月的中午时有指导的活动，此时紫外线水平最高。这对于皮肤癌发病率极高的澳大利亚（800/10万）、美国（250/10万）等白色人种为主体的国家而言，其应用可有效降低皮肤癌的发生率^[4,5,92,93]。

但对于有色人种，不能忽略的另外一个重要事实就是，白内障患病率高于白种人^[6,82-84]！基于对眼部和颊部等解剖部位日间紫外线暴露分布的研究，眼部紫外线暴露日间呈双峰分布的特殊规律引起了我们的注意，它不同于晴天环境紫外辐射强度呈现出以中午12时（真太阳时）为中心的钟型曲线的分布规律，这就提示我们对于眼部紫外线的防护有其特殊性。我们已经研究了紫外辐射在不同纬度（沈阳和三亚）的季节性差异，应用旋转人体模型开展了实地监测，阐明了紫外线暴露的日间分布规律。发现沈阳地区眼部紫外线暴露四季日间变化规律为：春、夏、秋三季中午期间曲线向下凹陷，都呈现双峰规律，峰值出现在太阳高度角30°左右所对应的时间段（见论文一）。冬季正午最高太阳高度角也仅约为25°，因此仍为一单峰钟型曲线。三亚地区季节交替不显著，能达到最高太阳高度角近90°，但眼部紫外线暴露峰值也出现在太阳高度角30°左右所对应的时间段。它完全不同于环境紫外辐射的日间变化规律！这一发现将改变学术界一直把“个体日间不同时点的紫外线暴露量等同于相应时点环境紫外线辐射水平”的传统认知观。

为此，针对我国紫外线损伤以白内障危害为主的公共健康问题实际，我们提出卫生和气象部门乃至全社会积极采取应对措施，通过防止眼部紫外线的过度暴露而预防或延迟发生紫外线所致白内障损失。对于白内障的防治提出手术治疗和预防手段二者并重的防治策略。这对于个体紫外线暴露的研究和指导人们合理安排户外活动时间有重要意义，是对UVI预报的重要补充和完善，是对紫外辐射损伤以眼部为主的黄色、棕色和黑色人种国家紫外线防护宣教手段的一种尝试。

美国的一项研究显示，因臭氧层破坏导致紫外线增加，白内障手术造成的经济损失将增加数十亿美元^[85]。而另一项研究显示，若能将白内障发病推迟10年，则经济负担即可减半^[87]。因而对公众眼部紫外线暴露进行科学地行为指导和防护，

进行病因预防，不仅能从根本上降低甚至消除视力受损乃至失明对患者身心健康及生活质量的影响，而且具有显著的成本效益，是有效、经济的防治手段，可以显著降低紫外线所致白内障造成的巨大疾病负担、经济负担和社会负担。因此，才能从根本上控制和解决紫外线所致老年性白内障这一重要公共健康问题。

值得注意的是，纬度和季节对于环境紫外辐射的重要性早已被认识到，除非我们生活在赤道附近，在夏季紫外辐射会远远大于冬季。如果在高纬度地区生活差异的程度自然是更大。很显然，如果不考虑区域和季节信息，一个单一的全球性太阳紫外线健康交流方针就不能发展。大多数群体认为紫外线防护及紫外线促进都应清楚的解释当地太阳紫外线强烈季节变化。

全球环境紫外监测网络已经趋向成熟和完善，为了获得更多人类紫外线暴露的相关信息，本研究将重点模拟晴好天气下日间全程眼部及其他解剖部位紫外线暴露状况，全面揭示不同太阳高度角下包括眼部及其他解剖部位紫外线暴露分布规律，并尝试得出一些结论，阐明在不同地区、不同季节、不同高度角范围下可能日光紫外线暴露规律。

它将指导公众正确认知眼部及其他解剖部位紫外线暴露的危险时段，特别是提升公众对眼部的防护意识，改变公众以往忽视回避户外活动中眼部紫外线过度暴露的行为，倡导公众积极正确使用太阳防护措施。这将最终有助于降低我国老年性白内障的发病率和致盲率，具有明显的社会效益和公益价值！

材料和方法

一、数据来源与选择

首先根据数据的完整性，并结合监测时的天气记录，剔除天气阴晴变化较大的数据，初步筛选出论文一中沈阳地区和三亚地区天气相对晴好时的监测数据，包括了太阳高度角（0°，90°）全部范围的紫外辐射特征，尝试进行曲线拟合，建立紫外线暴露与太阳高度角范围的拟合方程。为了尽量较少天气状况、环境 UV 变化对数据拟合的影响，最终通过计算旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露与环境紫外线之间的比例关系，即暴露比率（见论文一），以太阳高度角为自变量，暴露比率为因变量，采用曲线拟合方法建立二者关系方程， $E=K(h)$ ，其中 E 为暴

露比率, h 为太阳高度角角度的弧度值。

利用 SPSS13.0 软件对监测数据进行统计分析及相应的图表处理。

二、绍兴地区实际监测数据与数据拟合

(一) 绍兴地区实地监测

监测在浙江省绍兴市马山镇(北纬 $30^{\circ}01'$, 东经 $120^{\circ}58'$, 平均海拔 $5\sim 6\text{m}$) 的 2009 年 9 月秋分前后进行。监测地点和气象条件的选择同论文一。监测内容如论文一中所述, 电源开启, 记录旋转人体模型不同解剖部位 15min 累积暴露剂量, 单位为 kJ m^{-2} 。同时监测水平环境紫外线, 作为对照和计算不同解剖部位紫外线暴露的基础。

(二) 绍兴地区监测日旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露拟合

计算绍兴地区监测日(2009 年 9 月 19 日)日间每 15min 的太阳高度角及其弧度值, 按照表 15 中不同解剖部位暴露比率与太阳高度角的拟合方程, 计算日间不同时点各个解剖部位暴露比率, 由暴露比率=解剖部位紫外线暴露/水平环境紫外线, 得到, 各解剖部位紫外线暴露=水平环境紫外线 \times 暴露比率, 将绍兴地区日间水平环境紫外线带入, 求得旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露拟合值。

结 果

如上述材料和方法中所述, 通过曲线拟合, 求得不同解剖部位紫外线暴露比率随太阳高度角增减而变化的函数方程, 如表 15 所示, 拟合 R^2 值在 $0.8810\sim 0.9203$ 之间, 利用这些拟合方程, 通过任何一个地区日间不同时点的水平环境紫外线的监测或预测, 与当地相应时点的太阳高度角结合, 就可以确定包含了最高太阳高度角 90° 范围的不同时点下不同解剖部位的紫外辐射。

表 15, 不同解剖部位暴露比率与太阳高度角弧度值的拟合方程

解剖部位	拟合方程	R ² 值
肩部	$E = 60.186 \times h^3 - 73.502 \times h^2 - 64.349 \times h + 155.22$	0.8665
额部	$E = -30.14 \times h^3 + 208.09 \times h^2 - 364.93 \times h + 247.91$	0.8810
胸部	$E = -20.188 \times h^3 + 105.9 \times h^2 - 219.69 \times h + 183.33$	0.9203
颊部	$E = -194.62 \times h^4 + 715.85 \times h^3 - 848.06 \times h^2 + 296.95 \times h + 44.995$	0.8821
眼部	$E = -49.882 \times h^3 + 227.38 \times h^2 - 328.33 \times h + 162.59$	0.8971

计算绍兴地区 2009 年 9 月 19 日不同时点的太阳高度角弧度值 h (图 122), 将其代入表 15 中不同解剖部位紫外线暴露比率拟合方程, 求得日间不同时点各解剖部位紫外线暴露比率, 进而由绍兴地区该日实际监测所得的环境紫外辐射 (图 123), 求旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露的拟合值线, 并与实际监测所得的旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露进行比较, 其结果如图 124-128 所示。

一、绍兴地区 2009 年 9 月 19 日太阳高度角及实际监测环境紫外线日间分布

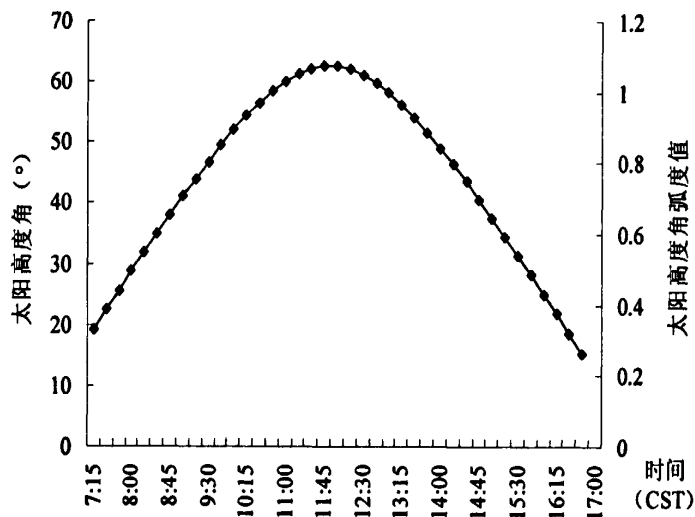


图 122, 绍兴地区 2009 年 9 月 19 日太阳高度角日间变化

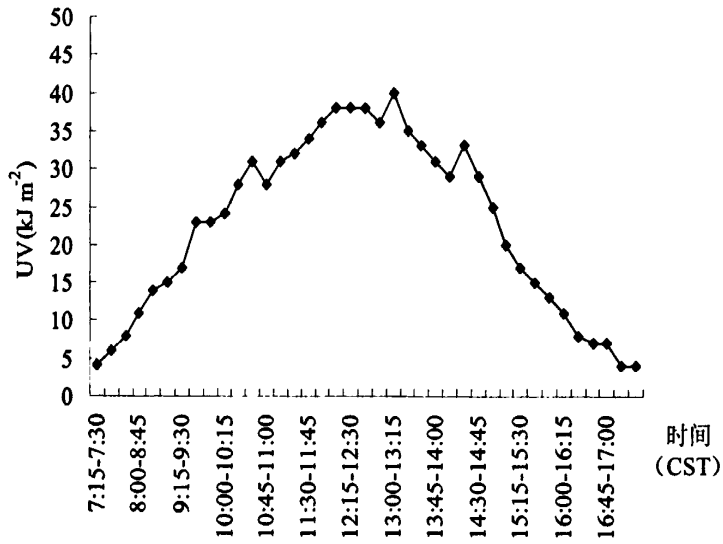


图 123, 绍兴地区 2009 年 9 月 19 日环境紫外线日间分布

从图 123 可看出绍兴 2009 年 9 月 19 日日间水平环境紫外线除出现个别时点暴露增强或降低外, 整体上, 日间紫外线呈单峰钟型曲线分布, 在正午时取得最大值。

二、旋转人体模型不同解剖部位紫外线暴露日间分布

1、肩部

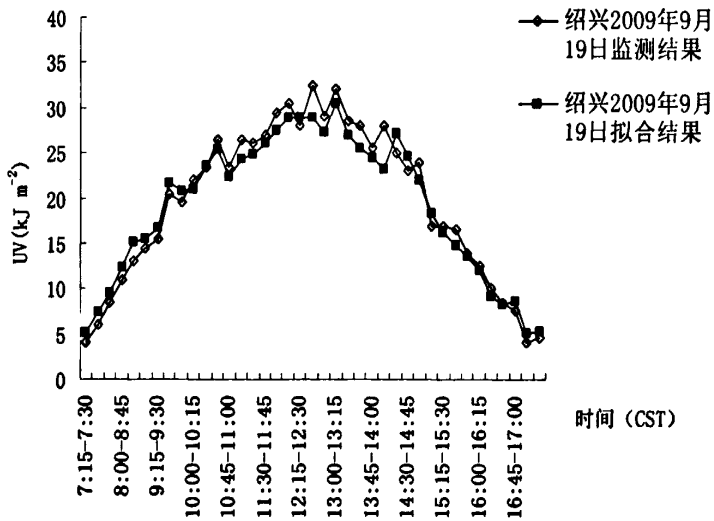


图 124, 旋转人体模型肩部紫外线暴露日间分布拟合值与实际监测结果

2、额部

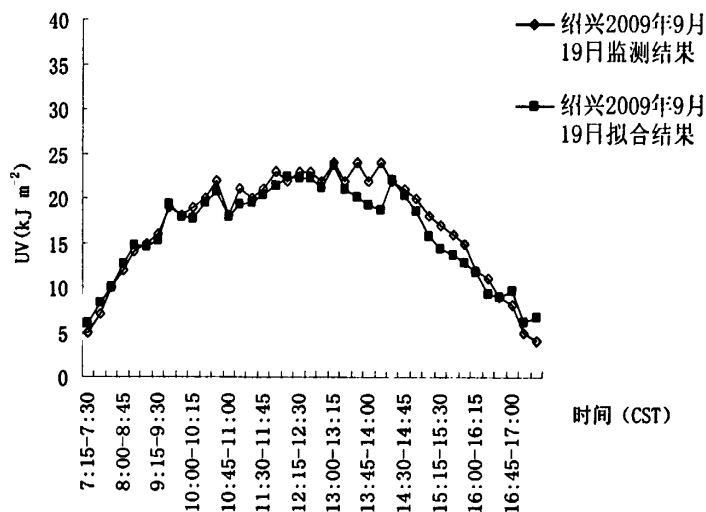


图 125, 旋转人体模型额部紫外线暴露日间分布拟合值与实际监测结果

图 124 中肩部为左右肩部的均值。从图 124、125 可看出绍兴地区 2009 年 9 月 19 日旋转人体模型肩部和额部紫外线暴露实际监测值与拟合值相比, 数值大小和变化趋势一致性均较好, 除出现个别时点暴露增强或降低外, 整体上, 日间紫外线暴露分布呈单峰钟型曲线, 在正午时取得最大值。

3、胸部

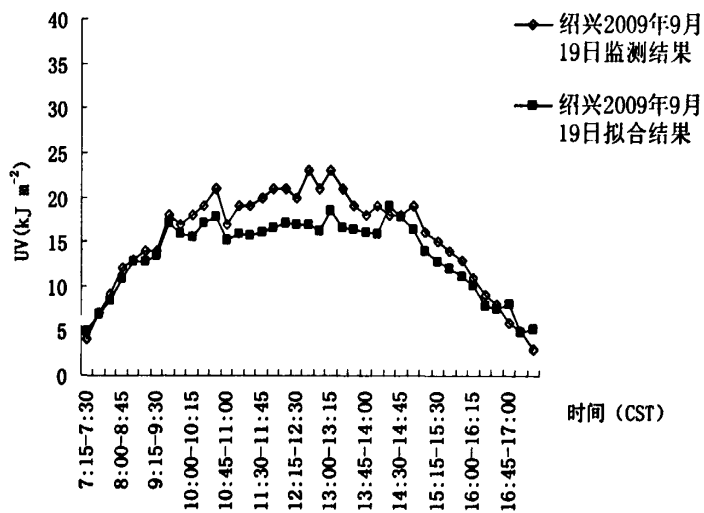


图 126, 旋转人体模型胸部紫外线暴露日间分布拟合值与实际监测结果

4、颊部

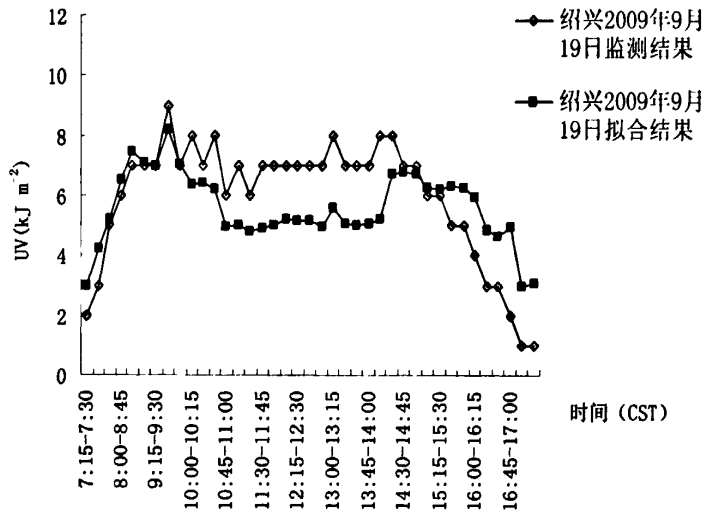


图 127, 旋转人体模型颊部紫外线暴露日间分布拟合值与实际监测结果

5、眼部

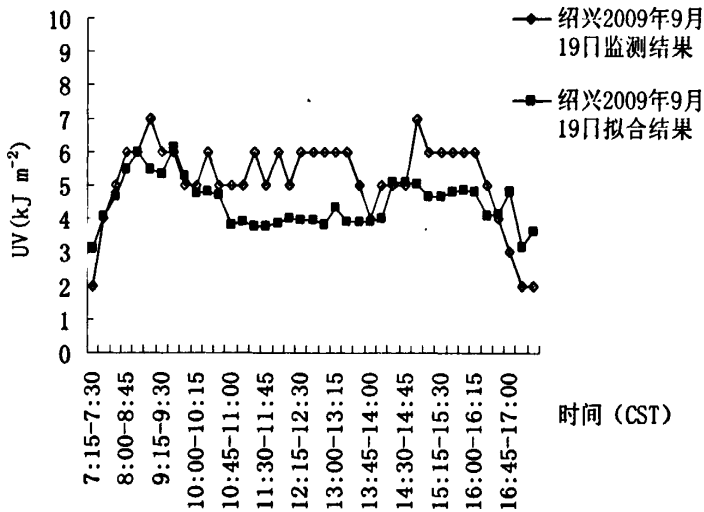


图 128, 旋转人体模型眼部紫外线暴露日间分布拟合值与实际监测结果

图 126-128 显示, 绍兴地区 2009 年 9 月 19 日旋转人体模型胸部、颊部和眼部紫外线暴露, 在正午前后拟合值低于实际监测值, 而与之前论文一中结果相似, 眼部和颊部紫外线高暴露时段出现在早晚一段时间, 日间呈现双峰分布。正午拟合值较低, 还需要进一步研究, 可能是由于高太阳高度角范围数据较少而拟合低估了此段时间的紫外线暴露。

从图 124-128 可看出, 绍兴地区 2009 年 9 月 19 日旋转人体模型不同解剖部位的拟合值与实际监测值均为肩部接受的紫外线暴露最大, 依次为额部、胸部, 颊部和眼部, 且肩部和额部紫外线暴露日间分布呈明显的钟型曲线规律, 最大值出现在正午。胸部紫外线暴露日间分布呈近似梯形, 未出现眼部和颊部的显著双峰分布规律。胸部、颊部和眼部正午前后拟合程度较差, 与实际监测值相差较大, 正午拟合值均小于实际监测值, 还需进一步增加用于拟合函数方程的较高太阳高度角范围的监测值, 尝试进一步的分段拟合等方法。

讨 论

环境日光 UV 辐射的测量通常与水平面相关, 而生物有效日光 UV 辐射依赖于接收者关于太阳的取向定位, 大量研究证实了水平面与倾斜面 UV 辐射暴露量和分布不同, 用环境日光 UV 辐射量评价个体暴露是不恰当的^[32]。本研究尝试采用数学方法对不同解剖部位的日间紫外线暴露进行拟和, 作为不同地理位置、季节、日间时间的紫外线暴露剂量评估方法的探索, 期望使得人体不同解剖部位日光 UV 暴露的相对危险度评估能够更为准确。中国地域广阔, 南北纬度跨越近 50°, 涵盖了太阳高度角全域的紫外辐射特征, 是难得的紫外线暴露研究所需要的梯度环境, 但同时也意味着全部的实际监测任务难以完成, 因而本研究期望采用数学方法利用已进行的监测数据进行拟和, 进而通过任何一个地区日间水平环境紫外线的监测或预测, 与当地太阳高度角结合, 就可以确定任何地区日间不同解剖部位紫外线暴露, 作为不同地理位置、季节、日间时间的紫外线暴露水平评估或预测。

通过计算, 发现肩部和额部的拟和数据与实际监测数据相近, 而胸部、颊部和眼部拟和数据与实际监测数据日间变化趋势相近, 但正午前后拟合值偏低, 分析原因可能是拟和过程中较高太阳高度角范围的数值较少, 方程对高值部分的缺省较多, 导致正午前后太阳高度角较高时间段的整体拟和值偏低, 特别是眼部, 由于可能存在的遮挡作用的影响, 需要进一步寻找更为适合的拟和方法。

围绕着紫外线的防护, 国际社会开展了 INTERSUN、紫外线指数预报等项目和计划, 旨在减少紫外线暴露导致的疾病负担, 提高职业暴露者、旅游者、学龄儿童和一般大众对日光紫外线的认知。特别是紫外线指数 UVI 作为告诫人们日光

暴露危险等级的一种健康教育手段被广泛使用。许多国家已将UVI作为天气预报的一项内容。而眼部和颊部紫外线暴露实际监测值和拟合值的日间分布与环境紫外线分布的不同，引起了我们的关注，特别是眼部紫外线所致疾病的预防。日光紫外线不仅仅在正午危害较大，其它时段也不容忽视，甚至危害更大。世界卫生组织（WHO）建议纬度在南、北纬30°之间的地区应该全年进行太阳防护。同时，不同地区、不同季节出现高暴露时间段不同，这就提示我们，不同地区当地太阳高度角范围影响个体眼部UV暴露特点，还应根据当地实际情况制定相应的太阳UV健康指导方针，提醒公众注意正午之外早晚时间段紫外线高暴露的防护，这对个体户外活动（防止眼的紫外线过度暴露等）具有重要的指导意义。

综上所述，个体UV暴露受到多种环境因素和个体行为的影响，无论从流行病学调查还是定量实验研究来说，对人体UV暴露水平的定量都并不简单，使得个体UV暴露的评估面临诸多困难。然而，人类暴露科学是一个重要性不断上升的领域，是危险评估的重要组成部分，是建立环境因素与健康结局联系所必需的，它终将越来越精确可信。因而，个体UV暴露研究最终将为UV暴露与相关疾病间剂量反应关系的评价提供帮助，对阐明臭氧层破坏所致危险性这一全球性重大环境问题也具有重要意义！

结 论

1、目前对于不同地区、季节、日间时间段个体肩部和额部的紫外线暴露采用数学计算的方法预测结果与实际监测结果比较接近，对于胸部、眼部和颊部的预测结果在较高太阳高度角时小于实际监测结果，有待进一步研究。

2、地理位置、季节等自然因素决定了不同地区太阳高度角范围，进而影响个体不同解剖部位UV暴露特点，应根据当地实际情况制定相应的太阳UV健康指导方针。

• 本研究创新性的自我评价 •

1、将旋转人体模型用于评价个体不同解剖部位紫外线暴露状况，揭示沈阳和三亚地区模型不同解剖部位紫外线暴露的日间变化规律，加深了对个体紫外线暴露的认知，为进一步制定紫外线暴露防护策略提供了基础。

2、阐明了不同朝向角度对个体不同解剖部位紫外线暴露的影响，为个体紫外线暴露的防护和评价提供了新的理论依据。

3、尝试采用数学方法建立不同解剖部位紫外线暴露与太阳高度角之间的关系方程，为不同地理位置和季节的紫外线暴露的阐明提供可能。

• 参考文献 •

- 1 Bergmanson JP, Sheldon TM. Ultraviolet radiation revisited. *CLAO J*, 1997, 23: 196-204.
- 2 Adams JS, Clemens TL and Parrish JA. Vitamin D synthesis and metabolism after UV irradiation of normal and vitamin D deficient subjects. *N Engl J Med*, 1982, 306: 722-725.
- 3 Luscombe CJ, Fryer AA, French ME, *et al.* Exposure to ultraviolet radiation: association with susceptibility and age at presentation with prostate cancer. *Lancet*, 2001, 358: 641-642.
- 4 Godar DE. UV doses worldwide. *Photochem Photobiol*, 2005, 81: 736-749.
- 5 Gallagher RP, Lee TK. Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review. *Prog Biophys Mol Biol*, 2006, 92: 119-131.
- 6 WHO. Solar Ultraviolet Radiation: Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *Environmental Burden of Disease Series*, no.13. World Health Organization, Geneva, 2006.
- 7 李立, 白雪涛. 紫外线辐射对人类皮肤健康的影响. *国外医学(卫生学分册)*, 2008, 35(4):198-201.
- 8 Roy CR, Gies HP, Lugg DJ, *et al.* The measurement of solar ultraviolet radiation. *Mutat Res*, 1998, 422: 7-14.
- 9 Lebert M, Schuster M and Hader DP. The European light dosimeter network: four years of measurements. *J Photochem Photobiol B*, 2002, 66: 81-87.
- 10 王炳忠, 邹怀松. 我国太阳能辐射资源. *太阳能*, 1998, 4: 19.
- 11 Abarca JF, Casiccia CC. Skin cancer and ultraviolet-B radiation under the Antarctic ozone hole: southern Chile, 1987-2000. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2002, 18: 294-302.
- 12 Bai Jianhui, Wang Gengchen. Establishing a Ultraviolet Radiation Observational Network and Enhancing the Study on Ultraviolet Radiation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20: 767-774.
- 13 Wei Ke, Chen Wen and Huang Ronghui. Long-Term Changes of the Ultraviolet Radiation in China and its Relationship with Total Ozone and Precipitation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2006, 23: 700-710.
- 14 Hu Bo, Wang Yuesi and Liu Guangren. Influences of the Clearness Index on UV Solar Radiation for Two Locations in the Tibetan Plateau -Lhasa and Haibei. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2008, 5: 885-896.
- 15 诺桑, 普达瓦, 达娃仓决, Jakob Stamnes. 青藏高原太阳红斑紫外线的测量. *西藏大学学报*, 2008, 2: 1-5.
- 16 WMO. Current activities of the global atmosphere watch programme. 14th World Meteorological Congress, The World Meteorological Organization, 2003, 1-9.
- 17 US Department of Commerce, N.O.A.A. NEUBrew: NOAAEPA Brewer Spectrophotometer UV and Ozone Network. cited 2007 June 21; Available from: www.esrl.noaa.gov.

gov/gmd/grad/neubrew/.

- 18 Parisi AV, Kimlin MG. Horizontal and sun-normal spectral biologically effective ultraviolet irradiances. *Photochem Photobiol*, 1999, 53: 70-74.
- 19 Blumthaler M, Ambach W and Ellinger R. UVR-Bestrahlung von horizontalen und vertikalen Flächen im Hochgebirge. *Sonderdruck aus Wetter und Leben*, 1996, 48: 25-31.
- 20 Webb AR, Weihs P and Blumthaler M. Spectral UVR irradiance on vertical surfaces: a case study. *Photochem Photobiol*, 1999, 69(4): 464-470.
- 21 Schauburger G. Model for the global irradiance of the solar biologically-effective ultraviolet-radiation on inclined surfaces. *Photochem Photobiol*, 1990, 52(5): 1029-1032.
- 22 Schauburger G. Anisotropic model for the diffuse biologically effective irradiance of solar UV radiation on inclined surfaces. *Theor Appl Climatol*, 1992, 46: 45-51.
- 23 Weihs P. Influence of ground reflectivity and topography on erythemal UV radiation on inclined planes. *Int J Biometeorol*, 2002, 46: 95-104.
- 24 Hoeppe P, Oppenrieder A, Erianto C, *et al.* Visualization of UV exposure of the human body based on data from a scanning UV measuring system. *Int J Biometeorol*, 2004, 49(1): 18-25.
- 25 Javitt JC, Taylor HR. Cataract and latitude. *Doc Ophthalmol*, 1994-1995, 88(3-4): 307-325.
- 26 Birt B, Cowling I, Coyne S, *et al.* The effect of the eye's surface topography on the total irradiance of ultraviolet radiation on the inner canthus. *J Photochem Photobiol B*, 2007, 87: 27-36.
- 27 江南. 紫外线辐射和白内障的研究. *国外医学眼科学分册*. 1999, 23(4): 246-250.
- 28 Parisi AV, Kimlin MG. Personal Solar UV Exposure Measurements Employing Modified Polysulphone with an Extended Dynamic Range. *Photochem Photobiol*, 2004, 79(5): 411-415.
- 29 Ono M. Studies on ultraviolet radiation and health effects: ocular exposure to ultraviolet radiation. *Dev Ophthalmol*, 2002, 35: 32-39.
- 30 Airey DK, Wong JC and Fleming RA. A comparison of human and headform-based measurements of solar ultraviolet-B dose. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 1995, 11(4): 155-158.
- 31 Kimlin MG, Parisi AV and Wong JC. The facial distribution of erythemal ultraviolet exposure in south-east Queensland. *Phys Med Biol*, 1998, 43(2): 231-240.
- 32 Sakamoto Y, Kojima M, Emori Y, *et al.* Ultraviolet dosimetry utilizing a mannequin model. *Dev Ophthalmol*, 1997, 27: 50-55.
- 33 Parisi AV, Kimlin MG, Lester R, *et al.* Lower body anatomical distribution of solar ultraviolet radiation on the human form in standing and sitting postures. *Photochem Photobiol*, 2003, 69:1-6.
- 34 Birt B, Cowling I, Coyne S, *et al.* The effect of the eye's surface topography on the total irradiance of ultraviolet radiation on the inner canthus. *J Photochem Photobiol B*, 2007, 87:

- 27-36.
- 35 Meldrum LR. Estimate of lifetime UV exposure for selected workers in south east Queensland, MAppSc thesis, Queensland University of Technology, Brisbane, 1998.
 - 36 WHO. Environmental Health Criteria 160, 2nd edition, 1994, 28-29.
 - 37 WHO. Global Solar UV Index: A Practical Guide. WHO, 2002.
 - 38 Oppenrieder A, Hoeppe P and Koepke P. Routine measurement of erythemally effective UV ir-radiance on inclined surfaces. *Photochem Photobiol*, 2004, 74: 85-94.
 - 39 Gies P, Javorniczky J, Roy C, *et al.* Measurements of the UVR protection provided by hats used at school. *Photochem Photobiol*, 2006, 82: 750-754.
 - 40 IRPA. The anatomical distribution of solar UVR with emphasis on the eye. In: 7th International Congress of the International Radiation Protection Association. International Radiation Protection Association, 1988, pp. 341-344.
 - 41 Holman CD, Gibson IM, Stephenson M, *et al.* Ultraviolet irradiation of human body sites in relation to occupation and outdoor activity: field studies using personal UVR dosimeters. *Clin Exp Dermatol*, 1983, 8: 269-277.
 - 42 Diffey BL, Cheeseman J. Sun protection with hats. *Br J Dermatol*, 1992, 127: 10-12.
 - 43 Diffey BL, Kerwin M and Davis A. The anatomical distribution of sunlight. *Br J Dermatol*, 1977, 97: 407-410.
 - 44 Wong CF, Fleming RA, Carter SJ, *et al.* Measurement of human exposure to ultraviolet-B solar radiation using a CR-39 dosimeter. *Health Phys*, 1992, 63: 457-461.
 - 45 张士元. 我国白内障的流行病学调查资料分析. *中华眼科杂志*. 1999, 35: 336-340.
 - 46 第二次全国残疾人抽样调查办公室. 第二次全国残疾人抽样调查资料. 北京:中国统计出版社, 2007.
 - 47 全国白内障与人工晶体专题学术研讨会纪要. *中华眼科杂志*. 1992, 28(5): 317.
 - 48 刘扬, 孙炜. 紫外线致白内障的流行病学研究现状. *中国公共卫生*. 2002, 1(18): 109-110.
 - 49 刘晓莉, 严密, 宋广瑶, 胡玉章, 黄永志, 钱应举. 西藏地区老年性白内障与紫外线照射. *眼科研究*. 1992, 2(10): 131-133.
 - 50 Rosenthal FS, Bakalian AE, Lou CQ, *et al.* The effects of sunglasses on ocular exposure to ultraviolet radiation. *American Journal of Public Health*, 1988, 78: 72 - 74.
 - 51 Boldeman C, Dal H and Wester U. Swedish pre-school children's UVR exposure-a comparison between two outdoor environments. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2004, 20: 2-8.
 - 52 Vishvakarman D, Wong JC and Boreham BW. Annual occupational exposure to ultraviolet radiation in central Queensland. *Health Phys*, 2001, 81: 536-544.
 - 53 Moehrle M, Korn M and Garbe C. Bacillus subtilis spore film dosimeters in personal dosimetry for occupational solar ultraviolet exposure. *Int Arch Occup Environ Health*, 2000, 73: 575-580.

- 54 Moise AF, Gies HP and Harrison SL. Estimation of the annual solar UVR exposure dose of infants and small children in tropical Queensland, Australia. *Photochem Photobiol*, 1999, 69: 457-463.
- 55 Gies P, Wright J. Measured solar ultraviolet radiation exposures of outdoor workers in Queensland in the building and construction industry. *Photochem Photobiol*, 2003, 78: 342-348.
- 56 Parisi AV, Wong JC. An estimation of biological hazards due to solar radiation. *J Photochem Photobiol B*, 2000, 54: 126-130.
- 57 Moehrle M, Heinrich L, Schmid A, *et al.* Extreme UV exposure of professional cyclists. *Dermatology*, 2000, 201: 44-45.
- 58 Antoine M, Pierre-Edouard S, Jean-Luc B, *et al.* Effective exposure to solar UV in building workers: influence of local and individual factors. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2007, 17: 58-68.
- 59 Ono M, Munakata N and Watanabe S. UV exposure of elementary school children in five Japanese cities. *Photochem Photobiol*, 2005, 81: 437-445.
- 60 Liu Y, Ono M, Yu D, *et al.* Individual solar-UV doses of pupils and undergraduates in China. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2006, 16: 531-537.
- 61 Thieden E, Collins SM, Philipsen PA, *et al.* Ultraviolet exposure patterns of Irish and Danish gardeners during work and leisure. *Br J Dermatol*, 2005, 153: 795-801.
- 62 Thieden E, Philipsen PA, Heydenreich J, *et al.* UV radiation exposure related to age, sex, occupation, and sun behavior based on time-stamped personal dosimeter readings. *Arch Dermatol*, 2004, 140: 197-203.
- 63 Rigel EG, Leibold M, Rigel AC, *et al.* Daily UVB exposure levels in high-school students measured with digital dosimeters. *J Am Acad Dermatol*, 2003, 49: 1112-1114.
- 64 Moehrle M, Dennenmoser B and Garbe C. Continuous long-term monitoring of UV radiation in professional mountain guides reveals extremely high exposure. *Int J Cancer*, 2003, 103: 775-778.
- 65 Duncan DD, Munoz B, Bandeen-Roche K, *et al.* Visible and ultraviolet-B ocular-ambient exposure ratios for a general population. Salisbury Eye Evaluation Project Team. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1997, 38: 1003-1011.
- 66 Cockell CS, Scherer K, Horneck G, *et al.* Exposure of arctic field scientists to ultraviolet radiation evaluated using personal dosimeters. *Photochem Photobiol*, 2001, 74: 570-578.
- 67 Wright CY, Reeder AI, Bodeker GE, *et al.* Solar UVR exposure, concurrent activities and sun-protective practices among primary schoolchildren. *Photochem Photobiol*, 2007, 83: 749-758.
- 68 Guy C, Diab R, Martincigh B. Ultraviolet radiation exposure of children and adolescents in Durban, South Africa. *Photochem Photobiol*, 2003, 77: 265-270.

- 69 WHO. Climate change and stratospheric ozone depletion: Early effects on our health in Europe. Working Group on the Early Human Health Effects of Climate Change and Stratospheric Ozone Depletion in Europe. European Environment and Health Committee. WHO Reg Publ Eur Ser, 2000, (88): i-xii,1-116.
- 70 Environmental effects of ozone depletion:1998 Assessment. UNEP, 1998.
- 71 Bataille V, Boniol M, De Vries E, *et al.* A multicentre epidemiological study on sunbed use and cutaneous melanoma in Europe. *Eur J Cancer*, 2005, 41: 2141-2149.
- 72 International Agency for Research on Cancer, Globocan Study, 2000.
- 73 Fisher GJ, Kang S, Varani J, *et al.* Mechanisms of photoaging and chronological skin aging. *Arch Dermatol*, 2002, 138: 1462-1470.
- 74 Geller AC, Annas GD. Epidemiology of melanoma and nonmelanoma skin cancer. *Semin Oncol Nurs*, 2003, 19: 2-11.
- 75 Gloster HM Jr, Neal K. Skin cancer in skin of color. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2006, 55(5): 741-760.
- 76 American Cancer Society. Cancer facts and figures, 2004. Atlanta: American Cancer Society, 2004, 17.
- 77 UNEP. 臭氧行动:致力于臭氧层保护和《蒙特利尔议定书》实施的简讯. 第 46 期, 2003 年 12 月.1-10.
- 78 Giles G, Thursfield V. Trends in skin cancer in Australia. *Cancer Forum*, 1996, 20: 188-91.
- 79 Rigel D S. The gender-related issues in malignant melanoma. *Hawaii Med J*, 1993, 52: 124-46.
- 80 Qiu D, Sachiko T. International Comparisons of Cumulative Risk of Skin Cancer, from Cancer Incidence in Five Continents. *Jpn J Clin Oncol*, 2006, 36(8): 533-534.
- 81 Qiu D, Marugame T. Comparison of time trends in skin cancer incidence (1973-97) in East Asia, Europe and USA, from Cancer Incidence in Five Continents. Vol. IV-VIII. *Jpn J Clin Oncol*, 2008, 38(3).
- 82 Dandona L, Dandona R, Naduvilath TJ, *et al.* Burden of moderate visual impairment in an urban population in southern India. *Phthalmology*, 1999, 106 (3): 497-504.
- 83 Sasaki K, Ono M, Aoki K, *et al.* Cataract epidemiology survey in the three different areas in Japan-Prevalence of cataracts and types of lens opacification. *J Jpn Ophthalmolo Soc*, 1995, 99: 204-211.
- 84 Heijl A, Leske MC. Cataract epidemiology. *Ophthalmology*, 2007, 114(1): 201.

- 85 Sheila KW, Janice DL, Beatriz EM, *et al.* Model of Risk of Cortical Cataract in the US Population with Exposure to Increased Ultraviolet Radiation due to Stratospheric Ozone Depletion. *Am J Epidemiol*, 2005, 162(11): 1080-1088.
- 86 张莉, 徐亮, 李建军等. 北京市城乡限定人群白内障手术负荷量及术后视力评价. *中华眼科杂志*. 2004, 13(3): 172-176.
- 87 Congdon NG. Prevention strategies for age related cataract present limitations and future possibilities. *Br J Ophthalmol*, 2001, 85(5): 516-520.
- 88 Kelfkens G, Bregman A, Slaper H, *et al.* Ozone and climate change interaction: influence on UV levels and UV related effects, Dutch National Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Bilthoven:National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 2002.
- 89 Pedersen John, Mihm Martin. Sun induced skin disease. *Pathology International*, 2004, 54(Suppl.1): S559-69.
- 90 Yamaguchi N, Kinjo Y, Akiba S, *et al.* Ultraviolet radiation and health: from hazard identification to effective prevention. *J Epidemiol*, 1999, 9: S1-S4.
- 91 Global UV Index-a practical guide.WHO/WMO/UNEP/ICNIRP, 2002.
- 92 David BB, Mary KB and Kim DR. A survey of sun protection policy and education in secondary schools. *J Am Acad Dermatol*, 2006, 54(3): 427-432.
- 93 Kullavanijaya P, Lim HW. Photoprotection. *J Am Acad Dermatol*, 2005, 52(6): 937-958.

日光环境紫外辐射与个体紫外辐射暴露

监测与防护研究

日光紫外辐射 (ultraviolet radiation, UVR) 一直是人类生存环境的一部分, 是人们每天接触的重要环境因子, 按照波长和相应的生物作用, 通常将其分为 UVA (315nm—400nm)、UVB(280nm—315nm)和 UVC (200nm—280nm) 三段。适度紫外辐射具有杀菌、促进维生素 D 合成的作用^[1], 还可用来治疗皮肤和其他疾病, 有可能降低血压^[2,3]并减少一些内源性癌的发生率^[4]。而过量的紫外暴露会引起很多的不良健康结果: 如晒伤、皮肤癌、光老化; 白内障和翼状胬肉等眼部疾病^[5]; 以及免疫抑制^[6]等。

臭氧层破坏这一重大环境问题提出后, 紫外线气候变化及其相关的两个主要公共健康问题-皮肤癌和白内障备受国际社会关注。WHO 根据 2006 年的资料推算得出, 全球每年因过度 UV 暴露损失 150 万 DALYs(相当于全球疾病负担的 0.1%)。其中, 皮肤癌和白内障是两个主要的公共健康问题^[5]。由于臭氧层的破坏, 人们预期寿命的延长, 行为生活方式的转变等等使得人们 UV 终生暴露似乎要比以前多。对紫外辐射的监测和防护提出了更高的要求。UV 辐射的监测通常在水平面进行, 而通常生物体表面只有部分是水平朝向, 特别是人体表面, 由许多倾斜面组成。而倾斜面的 UV 暴露和分布与水平面不同。因此本篇综述包括了关于环境 UV 最常进行的监测及其影响因素, 不同倾斜面 UV 暴露水平的监测状况, 人体模型监测以及个体人群监测状况以及防止日光紫外辐射过度暴露的防护。

一、环境 UV 辐射监测

环境UV辐射的监测通常在水平面进行, 测量上升流或下降流的UV辐射, 主要来自于政府部门、科学机构、大学和私人团体, 进行的比较广泛。南极臭氧空洞出现、UV辐射增加促进了许多环境UV辐射监测中心的建立。1989年在南极洲开始进行地面基准的UVB测量, 当时全世界只有不足50个UV辐射监测站, 而到了

1994年，已经有超过250个进行各种研究的监测中心。世界气象组织（World Meteorological Organization, WMO）与不同国家和机构合作建立了全球大气监测项目（global atmosphere watch, GAW），其中UV辐射监测网络分布在七大洲，包括中国在内的40多个国家和地区参加了全球UV辐射监测。目前，GAW项目已经成熟和完善，可以为科学研究提供易得、高质量的数据。澳大利亚辐射实验室（Australian Radiation Laboratory, ARL）从二十世纪八十年代中期参与了GAW项目环境UV辐射的监测，其范围从近赤道地区（Singapore, 1.3°N），穿过热带地区（Darwin, 12.4°S），直到极地（Mawson, 67.6°S），除了可以与一些流行病学调查资料 and 特殊UV影响因素（如云层覆盖、臭氧、水蒸气等）相联系，Singapore地区的监测还填补了赤道地区UV辐射监测数据的空白^[7]。在欧洲，光剂量计网（European Light Dosimeter Network, ELDONET）设有33个监测站进行UV辐射和光合有效辐射的监测，覆盖整个欧洲，还包括巴西，埃及，印度，以色列，日本和新西兰等其他一些地区^[8]。在美国，国家海洋大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）在东部、中部、西部建立了6个监测站；环境保护署（Environmental Protection Agency, EPA）在公园设有14个监测点，在城市中设有7个监测点；农业部（United States Department of Agriculture, USDA）与国家公园管理局（National Park Service, NPS）合作，除了监测整个美国29个州的地面UV辐射外，还在加拿大、新西兰设立了多个监测站。在我国，国家和各个地方气象组织以及多个科研机构也建立起多个紫外线监测点，更是提供了“第三个臭氧低值中心”西藏地区这样高海拔地区的紫外线变化监测数据。世界范围内涵盖不同纬度、海拔、地面特征和气候特征的地区监测网络的建立，提供了不同地区长期UV辐射的大量环境UV监测数据，为全球环境UV气候长期演变趋势及其与臭氧减少相关关系的研究，UV辐射对生物有害效应的研究等提供了基础数据。

地面环境UV辐射受很多因素影响，包括南北半球、季节、海拔、纬度、太阳高度角、大气衰减（包括臭氧层的厚度和垂直分布、空气污染、云层厚度等）和地面反射率等。平均而言，南半球比北半球的UV辐射更多。而通常情况下，太阳高度角越大，海拔越高，纬度越低，云量、污染物和平流层臭氧量越少，到达地面的UV辐射越强。

1、南北半球和季节

平均而言，南半球比北半球的UV辐射更多。主要是因为太阳运行轨道是椭圆形，日-地距离从近日点最小到远日点最大之间大约变化3.4%。夏季，北半球比南半球离太阳远1.7%，因此，距离上的变化会导致UVB强度降低7%。再加上南半球的总臭氧层通常较薄，因而在晴好的大气条件和明显的臭氧破坏双重作用下，可能导致南半球的环境UV辐射比相对位置的北半球高12~15%。季节对地面UV辐射影响复杂，通常为：夏季>春季>秋季>冬季。

2、海拔

在美国，Godar等^[9]计算出海拔每降低300m，UV辐射减少3.8%；Scotto等^[10]得出每降低300m，UV辐射减少3.6%。在澳大利亚，Robertson^[11]得出与美国^[10]相近的结果，海拔每降低300m，UV辐射减少4%。而McKenzie等^[12]在比较夏威夷和新西兰的UV辐射水平时得出，臭氧层相同的情况下，海拔每降低300m，UV辐射仅减少2.1%。这些数值对调整不同海拔地区的UV辐射数据到相同海拔水平（通常是海平面）很有意义。

3、纬度

晴朗无云的天气下，低纬度地区全年UVB都比较大，随着纬度升高，强度减小。在中纬度（28~46°）地区，相对于赤道纬度每增加1°，红斑有效UV辐射增加3~3.6%。在北半球，美国Godar^[9]和Rigel^[13]等人算出，每降低1°N，UV辐射增加3%。在日本，比较与美国类似纬度的地区，发现纬度每降1°N，UV辐射增加约3.6%^[14]。在南半球，新西兰McKenzie等人^[15]得出的值与美国相似，每降低1°S，UV辐射增加3.1%。在高纬度（60~68°）地区，红斑有效UV辐射随纬度的变化更大，Jokela等人^[16]得出，纬度每降1°N，UV辐射增加4.2%。

4、太阳高度角

地面UV辐射的波谱范围和强度都随着太阳高度而改变。太阳高度角由日期、时间和地理位置（经度和纬度）决定，与太阳高度角互余的角为太阳天顶角。太阳高度角一天中的不断变化，UV辐射强度也在变化，且UVB比UVA的改变更明显更快。太阳高度角越大（太阳在天空出现的越高），UVB只须穿透较少的空

气和臭氧，因而到达地面的越多。全年中 UVB 在每天上午 11:00 至下午 1:00 之间最强，在黎明和傍晚时较弱，此时日光穿过大气层的路径增加，因此到达地球表面的各个波段的 UV 辐射强度均减小，特别是小于 320nm 的波段。在夏季，UVB(290~320nm)占地面 UV 辐射的大约 6%，剩下的 94%为 UVA(320~400nm)。

5、大气衰减

日光 UV 辐射的波谱范围和强度随着太阳辐射穿过大气层而发生改变，主要的相互作用发生在平流层（海平面以上~10-50km），由臭氧吸收，以及发生在对流层（海平面以上 0~10km），由云层、污染物吸收并散射。

平流层臭氧的厚度在不同地区或不同日期期间的差异，可以使UVB发生显著的变化。从1979年到2000年，新西兰夏季的UVB显著的增加20%^[17]。从1976年到1997年，波兰UVB大约增加6.1%±2.9%/10年^[18]。根据1974-1979年和1996-1998年美国的监测数据，UVB大约平均增长6%（±5%）/10年^[9,10]。由于云层覆盖、气溶胶、颗粒物、气候变化的影响，使了解过去几十年中平流层臭氧确切的减少量很困难。但总的说来，臭氧层减少1%能导致UVB增加约2%。

云层对UV辐射的削减作用主要是通过散射。云层覆盖能使UVB降低25-30%^[15]。但要注意的是，虽然云层降低了UV辐射强度，但是由于热的感觉减少，反而可能增加个体过度UV暴露的危险。颗粒物或空气污染对较短波长（UVB）的影响更大。在相同纬度和海拔，空气污染能使城市比附近的农村UVB低20~25%，但通常在20%以下。

6、地面反射

石膏沙反射大概 15~30%的 UV 辐射，雪反射 60~80%^[16]，冰反射 7~75%，其余大部分表面 UV 的反射都小于 10%。松树林、绿草和农场反射 2-4%，沙漠沙只能反射 5%，黑色沥青反射 4~11%。与普遍认知相反，平静的水面仅反射 5%的 UV 辐射，而波动的水面反射可增加到 20%。由于 UV 辐射很容易透过水，大约 40%的 UV 辐射能达到 50cm 的深度，因而在海里或露天池塘游泳，水只能提供很少的保护。

分析不同UV辐射影响因素的作用，已经建立起环境UV辐射的理论计算模型，

它是关于纬度，太阳高度角，云层，臭氧层厚度和地面反射率等的函数，可用来评估或预测每日、每年的紫外线红斑剂量。目前，环境UV辐射水平的监测或计算是个体UV暴露确定的重要基础，它也为人类制定过度UV暴露的正确预防策略提供了可能和依据。

二、不同倾斜位面 UV 暴露水平

环境 UV 辐射的测量通常与水平面相关，而生物有效日光 UV 辐射依赖于接收者相对于太阳的取向定位。人类和动、植物的 UV 辐射接收面很多时候取向于太阳正交面（sun-normal planes），可能在这些取向时 UV 暴露较高。因此，除了水平面环境 UV 辐射的监测，各地研究者还进行了一些系统的不同位面 UV 暴露水平的测量，包括垂直面、太阳正交面以及由倾角和方位角确定的其他位面，模拟人体不同解剖位置相对应的各种倾斜面^[19-25]，提供了更为贴近个体 UV 暴露真实水平的数据，同时证实了不同位面 UV 暴露量和分布与水平面不同，用环境 UV 辐射评价个体暴露是不恰当的。

A.V.Parisi和M.G.Kimlin^[19]通过对南半球亚热带Toowoomba地区水平面和太阳正交面日光UV暴露水平的测量分析，确定了生物有效日光UV辐射的大小依赖于接收者关于太阳的取向定位，太阳正交面UV暴露总量与水平面的比率范围为 1.18 ± 0.05 至 1.27 ± 0.06 。Blumt Blumthaler等^[20]将垂直面一直面向南方，在一个高山地区对水平面和垂直面的日光UV暴露水平进行了监测，结果发现，在夏季水平面UV暴露水平高于垂直面，而在冬季却小于垂直面，水平面和垂直面UV辐射之间的比例很大部分依赖于太阳高度角和反射率。Webb等^[21]将垂直面面向东、南、西、北四个方向，进行了水平面和四个方向垂直面的UV暴露水平测量，结果表明二者的相关性依赖于太阳高度角和波长等以外，还与垂直面的取向有关。

Schauberger^[22]考虑到人体体表解剖位置的几何形态特点而设计了不同直线排列的测量点进行生物有效日光UV辐射的监测。每个测量点的定位由倾斜角和方位角确定，并根据所得到的数据建立了一个简单的模型，使得计算由倾角和地面反射（UV辐射漫反射）作用而确定的相对辐射成为可能，如果已知水平面日光UV辐射（通过模型测量或计算得到），不同位面UV暴露的绝对值就能够确定了。从而，能够进行相对几何角度所代表的人体不同部位日光UV暴露相对危险度的评

估。之后，他又对倾斜面做了更为广泛的测量^[23]，建立完善了以水平面红斑加权辐射，反射率和倾角作为参数的计算模型。然而根据Weihls^[24]的意见，Schaubberger的测量限于海拔较低，地形平坦的地区，Weihls考虑到地形及其反射进一步形成了计算倾斜面红斑加权辐射的模型。Weihls的模型与Schaubberger的测量数据相比较，高估了10%的垂直面UV暴露，但并没有与其它的测量数据进行验证比较。

随着电子自动化技术的进步，近年有人研究并建立了新的测量系统ASCARATIS (Angle SCAnning RAdiometer for determination of erythemally weighted irradiance on Tilted Surfaces)^[25]。它能够朝向各个角度方向，在2分钟之内扫描27个位置，且扫描在一整天、任何天气状况下都能自动进行。这个系统的设计安装使得包括高海拔极端气候条件下的所有环境条件的日光UV辐射测量都可以进行，并产生可靠的数据，提供有效的倾斜面红斑加权UV辐射信息。A.Oppenrieder和P.Hoeppe等^[25]采用三个ASCARATIS系统在德国Bavaria的Hoher Peissenberg等地区实施了连续三年监测，提供了27个不同倾斜面每2分钟的红斑加权剂量的数据。结果表明，世界范围内常规的水平面日光UV辐射监测，常常低估了人体皮肤的UV暴露，特别是当SZA较低的一天或一年的时候，人体部分皮肤UV暴露可能高于水平面测量数据的数倍。

这些不同位面日光UV暴露水平的监测与分析研究结果，与理论推测相一致，证实了倾斜面UV暴露量和分布与水平面不同，用环境UV辐射量评价个体暴露是不恰当的。许多学者为阐明过度UV暴露与其所导致的损伤之间的剂量-效应关系做出了大量努力。在这些研究中，对个体UV暴露的量化尤为重要。然而，无论是流行病学研究还是定量实验研究，对人体UV暴露水平进行定量都并不简单。人体不同解剖位置UV暴露有其自身的特点，如眼球在眶内，受到眼裂、眉弓、鼻梁、颊部等的遮挡^[26,27]，胸部受到头部遮挡等等，这将改变最终到达个体损伤靶部位的UV辐射量^[28]。此外，人们在日常生活中不可能一直处于静止或者直立状态，个体从事日常活动有许多姿势和体位，处于不断变化之中。例如，散步、园艺、农田耕种等，虽然他们都是户外进行的活动，却有不同姿势，个体不同解剖位置的UV暴露差别巨大。因而，在定量实验研究中，研究者们努力提高人类日光UV暴露测量的精确度。

三、人体模型进行个体UV暴露的模拟监测。

1、直立位人体模型模拟监测

个体日光 UV 暴露的解剖学分布已经有很多报道,包括头顶、前额、鼻子、眼睛、颊部、腿部等等,研究较多的是头部模型。早期应用人体模型研究 UV 暴露常采用直立位进行各解剖位置的暴露测量。M G.Kimlin 等人^[29,30]将 UV 剂量计安放在头部模型的头顶、前额、鼻子、下颌等不同头部部位进行了测量,结果发现亚热带纬度地区人脸部 UV 暴露的分布随着一年中的时间和云层变化而改变,当绝对暴露降低时,鼻子却接收相对较高的暴露量。日本研究者在此方面也有尝试^[31], Sakamoto Y 等^[32]将 UV 剂量计安装在一个头部模型,包括眼睛、额部、颊部等在内的 18 个部位进行测量,结果发现头顶、前额中部和上颊中部的 UV 暴露较高,颞侧和颞侧眼裂稍低,上眼睑内侧暴露相对最低。他们进行监测所采用的头部模型,将面部清晰具体地划分成多个区域,较好地反映了 SZA 变化对各解剖位置 UV 暴露剂量的影响。

2、不同姿势人体模型模拟监测

除了直立位各解剖学位置的暴露测量外,人体不同姿势下各解剖学位置暴露的获得也非常必要。

Airey DK 等^[33]确定了站、坐、弯腰、跪等一系列姿势相应的头部模型角度,分别为 20°、30°、40°和 60°,给出了不同姿势下面部 UVB 的分布数据,并将头部模型的测量与受试者实际监测数据进行了比较,发现二者结果相一致。L.R.Meldrum^[34]监测了不同姿势下小腿上部的日光暴露,A.V.Parisi 和 M.G.Kimlin 等人^[35]更进一步完善了坐姿和站姿的人体模型腿部的 UV 暴露比率(特殊解剖学位置的 UV 暴露与周围环境之比),旨在比较站姿和坐姿下人腿部的日光红斑有效 UV 辐射的解剖学分布。结果显示,夏季坐姿下,腿部不同解剖学位置的暴露比率范围为 0-0.75,站姿下为 0.14-0.39。冬季坐姿下,腿部不同解剖学位置的暴露比率范围为 0.01-0.91,站姿下为 0.17-0.81。坐姿时大腿和胫部前侧暴露是站姿时的三倍,椅子和腿部自身在两个姿势下都会对各部位的 UV 暴露产生影响,坐姿时大腿后部的暴露可以忽略不计。

目前已有的研究结果大多为头部和腿部的人体模型，姿势也主要是简单的坐姿、站姿、跪姿等，科学家一致认为仍有必要对到达人体不同解剖部位的UV暴露进行精确定量，建议进行更多模拟现实人体暴露的适当倾斜模型实验^[33]，以获得个体其它解剖部位和日常生活中各种姿态下的UV暴露值。根据暴露比率，可以建立计算人体特定解剖位置长期UV暴露的数学模型^[35]，而且避免了真实个体UV暴露监测所可能引发的过度UV暴露等伦理学问题。这对于皮肤肿瘤和其它日光UV辐射相关疾病的病因学研究以及日光UV辐射危害性确定和评价非常必要。

四、个体紫外线辐射暴露监测

除了模型模拟监测，最常进行的个体紫外辐射暴露评估，是通过个体UV暴露监测研究的。在以前的监测中，个体UV暴露能够采用物理、化学或者生物剂量计进行测量，如聚砜薄膜片、含孢子的生物膜、CR-39剂量计或者X-2000、sunsaver等可携带式的数据记录仪。在英国、澳大利亚、加拿大、日本、中国等国家，研究者对学生、室内工人、建筑工人等室外工作者等人群进行了个体UV暴露的监测，监测部位通常选择有腕部^[36-39]、肩部^[40-43]、臂部^[44-46]、胸部^[41,43,47-49]、背部^[41,50,51]、眼部（眼镜侧面）^[42,52,53]以及领口部位^[49,54,55]等。除了实际测量，时间日记报告和对前一天UV暴露回忆的调查是确定人们UV辐射剂量的可信方法。调查问卷和日记报告能给出人们白天在户外的时间，如果已知不同时间下的地面UV辐射剂量，就可以转化成个体的环境暴露（相对于水平面上个体获得总UV辐射的比例）。

一个人获得的UV暴露状况可以用其占总环境UV辐射的百分比来评价，称为个体暴露率。以往研究得出的年均值个体暴露率，在美国，所有北部（44°N）和南部（34°N）的人群中均为3.1%^[9]，这表明纬度不是一个重要的因素。南部和北部超过40岁的男性年均值个体暴露率最大（4%），青少年（13-19岁）比成人和儿童（3%）都低，仅为2.6%^[56]。在澳大利亚，室内工作的成人为2-4%^[57,58]，户外工作的成人则为10-14%^[58]。在欧洲，荷兰室内工作的成人年均值个体暴露率大约是2.5%^[59]，室内工人为7%^[60]；英国室内工作的成人为3%（2-4%）^[61]，而户外工人为10%，英国室内工人仅仅能2%^[62]；丹麦室内工作的成人为3.1%（与美国和澳大利亚一致），室内成年园艺工人UV年均值个体暴露率为6.6%^[36]，与荷兰（7%）

相类似。在亚洲，日本儿童为3.1%^[63]，与美国儿童很一致。个体行为在不同职业中存在很大的差异，这就决定了个体UV暴露的不同。这表明职业是一个重要的因素。

在美国，UV年均值个体暴露率在不同季节（冬季除外）的变化范围为4-5%。在中国，沈阳的小学生四季暴露率不同，冬季较高约为7.75%，其他四季仅占环境UV辐射量的很小部分（2.05%-3.77%），大学生暴露率更低，四季均不足1%^[37]。而单独计算夏季个体暴露率，在南非德班的儿童（4~6岁）为4.4%^[55]；在澳大利亚小学生（7~12岁）为4%，青少年（13~19岁）大约是4.5%^[57]；在英国儿童（9-10岁），女孩和男孩分别是6.1%和6.9%，青少年（14~15岁）则分别是4%和4.2%^[64]。个体行为在不同年龄人群中存在很大的差异，这就决定了个体UV暴露的不同。这表明年龄是一个重要的因素。此外，与年均值个体暴露率（见上文）相比，夏季的个体暴露率较高，这说明季节也是一个重要的因素。

当单纯考虑个体在户外活动时的个体暴露率，其值通常会显著升高。在美国，每个人在户外活动时平均获得大约30%的地面UV辐射。对美国东北部儿童来说，该变化范围是27.6-33.2%^[9]。在澳大利亚该百分比大致相同，儿童户外活动时获得大约32%-30%的地面UV辐射（20.9-34.6%）^[1]，而且户外工作的成人暴露程度也大致相同，为27-36%^[51]。然而，在英国，儿童和青少年户外活动时仅获得地面UV辐射的25%^[64]。通常男性外出比女性更多，UV暴露更高（世界上很少有例外），结果就会有比女性更高的皮肤癌发生率。总的说来，长时间的户外活动会大大增加个体UV暴露程度，个体的UV暴露剂量在很大程度上取决于他们个人不同的户外活动。这说明户外活动是一个重要的因素。

世界范围内，在不包括假期情况下（Thiede等^[36]和Godar等^[56]发现假期的剂量能使室内工作的成人年暴露量增加大约30%），室内工作的成人和儿童的个体年暴露率大约是3%（2~4%），户外工人约为10%（6.6-17.7%）^[1]，是室内工人的大约2-9倍。在进行剂量比较时，将个体暴露率乘以获得的地面UV辐射剂量即可转化成个体UV暴露剂量。剂量可用J/m²、最小红斑剂量（MED：II型皮肤为200-250J/m²）或者标准红斑剂量（SED：100J/m²）表达。

综上所述，个体UV暴露受到多种因素的影响，无论从流行病学调查还是定

量实验研究来说,对人体UV暴露水平的定量都并不简单,使得个体UV暴露的评估面临诸多困难。人类暴露科学是一个重要性不断上升的领域,是危险评估的重要组成部分,是建立环境因素与健康结局联系所必需的。随着环境UV辐射监测网络逐步成熟,个体监测方法逐步完善,个体终生UV暴露评估终将越来越精确可信,最终为UV暴露剂量与相关疾病间剂量反应关系的评价提供帮助。因而通过个体UV长期累积暴露剂量的定量研究,对于开展UV辐射危险性的评价,阐明臭氧层破坏所致危险性这一全球性重大环境问题具有重要意义

五、个体紫外辐射的防护

公共卫生当局在过去的几十年已作出了很大努力,向公众宣教过度的太阳紫外(UV)暴露的危险。围绕着紫外线的防护,国际社会开展了INTERSUN、紫外线指数预报等项目和计划,旨在减少紫外线暴露导致的疾病负担,提高职业暴露者、旅游者、学龄儿童和一般大众对日光紫外线的认知。特别是紫外线指数(UV index, UVI)作为告诫人们日光暴露危险等级的一种健康教育手段被广泛使用。许多国家已将UVI作为天气预报的一项内容。

国际标准化应用的“全球太阳紫外线指数”(Global solar UVR index, UVI),是由世界气象组织,世界卫生组织和非电离辐射防护委员会统一制定(2002年),用来表示一天中UV暴露状况,表明风险的一般水平。其标准计算方法的基本依据就是不同波长(至400纳米)的水平面环境UV辐射强度的测量。将不同波长的日光UV辐射强度转换成红斑光谱加权后的总UV辐射强度(单位为毫瓦/平方米),然后再乘以0.04(每单位紫外线指数为25毫瓦/平方米),即得出UVI。其变化范围用0—15或16的数字表示。例如,中午阳光最强的15分钟内到达地面的平均紫外线辐射量为100毫瓦/平方米,则转换为UVI为4。WMO和WHO推荐采用UVI来告知公众UV辐射引起损伤的危险性。UVI越高,皮肤和眼睛损伤的风险就越大,且在较短的时间内就会发生损害。这对于皮肤癌发病率极高的澳大利亚、美国等白色人种为主体的国家可有效降低皮肤癌的发生率。

此外,USACHPPM(U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine)已发出健康宣传信息,提供了一个简化的方法告知公众预防紫外线过度暴露的方法,即当一个人的影子大致与他们的身高相同(即太阳天顶角为45°)

时，紫外线指数约为 4，且此时防护措施是必要的。USACHPPM 简单的建议如果个体的影子短于自己的身高，紫外线防护措施是重要的，即短阴影，寻找遮阳；长阴影，享受阳光，以此确保日光暴露的安全。虽然这与世界卫生组织建议的紫外线指数为 3 即需要防护的信息不是完全符合，但它适用范围更广泛，对于任何年龄或背景的都很好记，且适用于任何时候，任何地点，因此更容易推广和被人记住。

据 WHO 估计，平流层臭氧每减少 1%，地面受到的太阳 UV 辐射将增加 2%，随之 UV 辐射对人类健康的危害也日益严重，对于紫外线辐射的防护不容忽视！各国应根据本国实际情况制定相应防护策略！

在我国，国人因肤色的遗传优势皮肤癌患病率较低，黄色人种白内障患病率却高于白种人^[65,66]！1999 年资料表明，白内障在我国的患病率约为 0.46%，全国因白内障致盲率为 0.18%，即全国有白内障患者 500 余万，因白内障失明者近 200 万^[67]！其流行病学特征为南方高于北方，农村高于城市，西藏地区为全国之首，且随寿命延长而增高^[67,68]。这些特征都可以通过与太阳紫外线辐射密切相关的纬度、海拔和人的户外活动时间及其累积年限加以解释。目前，北纬 25°~60°区间臭氧层已经减少 3~6%，地球表面紫外线平均增加了约 4~7%^[69]，我国 13 亿人口恰好处在这一臭氧层破坏直接危害人类健康的纬度地带，眼部紫外线的防护策略研究亟待进行。

参考文献

- 1 Godar DE. UV doses worldwide. *Photochem Photobiol*, 2005, 81(4): 736-749.
- 2 Rostand SG. Ultraviolet light may contribute to geographic and racial blood pressure differences. *Hypertension*, 1997, 30: 150-156.
- 3 Weber KT, Rosenberg EW and Sayre RM. Suberythemal ultraviolet exposure and reduction in blood pressure. *Am J Med*, 2004, 117: 281-292.
- 4 Luscombe CJ, Fryer AA, French ME, *et al.* Exposure to ultraviolet radiation: association with susceptibility and age at presentation with prostate cancer. *Lancet*, 2001, 358: 641-642.
- 5 Robyn L, Tony M, Wayne S, *et al.* Solar Ultraviolet Radiation: Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *Environmental Burden of Disease Series*, no.13. pp. 1-77. WHO, Geneva. 2006.
- 6 Gallagher RP, Lee TK. Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review. *Prog Biophys Mol Biol*, 2006, 92(1): 119-131.
- 7 Roy CR, Gies HP, Lugg DJ, *et al.* The measurement of solar ultraviolet radiation. *Mutat Res*, 1998, 422: 7-14.
- 8 Lebert M, Schuster M and Hader DP. The European light dosimeter network: four years of measurements. *J Photochem Photobiol B*, 2002, 66: 81-87.
- 9 Godar DE, Wengraitis SP, Shreffler J, *et al.* UV doses of Americans. *Photochem Photobiol*, 2001, 73: 621-629.
- 10 Scotto J, Cotton G, Urbach F, *et al.* Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States 1974 to 1985. *Science*, 1988, 241: 762-764.
- 11 Robertson D. Solar ultraviolet radiation in relation to human skin burn and cancer: [Ph.D.thesis]. University of Queensland, 1972.
- 12 McKenzie RL, Johnston PV, Smale D, *et al.* Altitude effects on UV spectral irradiance deduced from measurements at Lauder, New Zealand and at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *J Geophys Res*, 2001, 106: 22845-22860.
- 13 Rigel DS, Rigel EG and Rigel AC. Effects of altitude and latitude on ambient UVB radiation. *J Am Acad Dermatol*, 1999, 40: 114-116.

- 14 Ono M. Assessment of exposure to ultraviolet radiation within a lifetime. *Environ Sci*, 2000, 7: 281-294.
- 15 McKenzie RL, Bodeker GE, Keep J, *et al.* UV radiation in New Zealand: north-to-south differences between two sites and relationship to other latitudes. *Weather Clim*, 1996, 16: 17-26.
- 16 Turner J, Parisi AV and Turnbull DJ. Reflected solar radiation from horizontal, vertical and inclined surfaces: Ultraviolet and visible spectral and broadband behaviour due to solar zenith angle, orientation and surface type. *Photochem Photobiol B*, 2008, 92: 29-37.
- 17 McKenzie R L, Bjorn O, Bais A, *et al.* Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *Photochem Photobiol Sci*, 2003, 2: 5-15
- 18 Borkowski J, Chai A, Mo T, *et al.* Cloud effects on middle ultraviolet global radiation. *Acta Geophys Pol*, 1977, 25: 287-301.
- 19 Parisi AV, Kimlin MG. Horizontal and sun-normal spectral biologically effective ultraviolet Irradiances. *Photochem Photobiol*, 1999, 53: 70-74.
- 20 Blumthaler M, Ambach W and Ellinger R. UVR-Bestrahlung von horizontalen und vertikalen Flächen im Hochgebirge. *Sonderdruck aus Wetter und Leben*, 1996, 48: 25-31.
- 21 Webb AR, Weihs P and Blumthaler M. Spectral UVR irradiance on vertical surfaces: a case study. *Photochem Photobiol*, 1999, 69(4): 464-470.
- 22 Schauburger G. Model for the global irradiance of the solar biologically-effective ultraviolet-radiation on inclined surfaces. *Photochem Photobiol*, 1990, 52(5): 1029-1032.
- 23 Schauburger G. Anisotropic model for the diffuse biologically effective irradiance of solar UV radiation on inclined surfaces. *Theor Appl Climatol*, 1992, 46: 45-51.
- 24 Weihs P. Influence of ground reflectivity and topography on erythral UV radiation on inclined planes. *Int J Biometeorol*, 2002, 46: 95-104.
- 25 Hoeppe P, Oppenrieder A, Erianto C, *et al.* Visualization of UV exposure of the human body based on data from a scanning UV measuring system. *Int J Biometeorol*, 2004, 49(1): 18-25.
- 26 Benjamin B, Ian C and Steve C. UVR reflections at the surface of the eye. *Photochem Photobiol B*, 2004, 77: 71-77.

- 27 Birt B, Cowling I, Coyne S and Michael G. The effect of the eye's surface topography on the total irradiance of ultraviolet radiation on the inner canthus. *J Photochem Photobiol B*, 2007, 87: 27-36.
- 28 江南. 紫外线辐射和白内障的研究. 国外医学眼科学分册. 1999, 23(4): 246-250.
- 29 Parisi AV and Kimlin MG. Personal Solar UV Exposure Measurements Employing Modified Polysulphone with an Extended Dynamic Range. *Photochem Photobiol*, 2004, 79(5): 411-415.
- 30 Kimlin MG, Parisi AV and Wong JC. The facial distribution of erythematous ultraviolet exposure in south-east Queensland. *Phys Med Biol*, 1998, 43(2): 231-240.
- 31 Ono M. Studies on ultraviolet radiation and health effects: ocular exposure to ultraviolet radiation. *Dev Ophthalmol*, 2002, 35: 32-39.
- 32 Sakamoto Y, Kojima M, Emori Y, *et al.* Ultraviolet dosimetry utilizing a mannequin model. *Dev Ophthalmol*, 1997, 27: 50-55.
- 33 Airey DK, Wong JC and Fleming RA. A comparison of human and headform-based measurements of solar ultraviolet-B dose. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 1995, 11(4): 155- 158.
- 34 Meldrum LR. Estimate of lifetime UV exposure for selected workers in south east Queensland, [MappSc thesis]. Queensland University of Technology, Brisbane,1998.
- 35 Parisi AV, Kimlin MG, Lester R, *et al.* Lower body anatomical distribution of solar ultraviolet radiation on the human form in standing and sitting postures. *Photochem Photobiol*, 2003, 69: 1-6.
- 36 Thieden E, Philipsen PA, Heydenreich J, *et al.* UV radiation exposure related to age, sex, occupation, and sun behavior based on time-stamped personal dosimeter readings. *Arch Dermatol*, 2004, 140: 197-203.
- 37 Liu Y, Ono M, Yu D, *et al.* Individual solar-UV doses of pupils and undergraduates in China. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2006, 16: 531-537.
- 38 Thieden E, Collins SM, Philipsen PA, *et al.* Ultraviolet exposure patterns of Irish and Danish gardeners during work and leisure. *Br J Dermatol*, 2005, 153: 795-801.
- 39 Rigel EG, Lebwohl M, Rigel AC, *et al.* Daily UVB exposure levels in high-school students

- measured with digital dosimeters. *J Am Acad Dermatol*, 2003, 49: 1112-1114.
- 40 Boldeman C, Dal H and Wester U. Swedish pre-school children's UVR exposure-a comparison between two outdoor environments. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2004, 20: 2-8.
- 41 Vishvakarman D, Wong JC and Boreham BW. Annual occupational exposure to ultraviolet radiation in central Queensland. *Health Phys*, 2001, 81: 536-544.
- 42 Moehrle M, Korn M and Garbe C. Bacillus subtilis spore film dosimeters in personal dosimetry for occupational solar ultraviolet exposure. *Int Arch Occup Environ Health*, 2000, 73: 575-580.
- 43 Moise AF, Gies HP and Harrison SL. Estimation of the annual solar UVR exposure dose of infants and small children in tropical Queensland, Australia. *Photochem Photobiol*, 1999, 69: 457-463.
- 44 Ono M, Munakata N and Watanabe S. UV exposure of elementary school children in five Japanese cities. *Photochem Photobiol*, 2005, 81(2): 437-445.
- 45 刘扬, 喻道军, 小野雅司等. 个体紫外线暴露剂量与环境紫外线剂量的关系. *中国公共卫生*, 2003, 19 (1): 11-13.
- 46 喻道军, 刘扬, 小野雅司等. 沈阳市小学生秋季紫外线个体暴露剂量研究. *中国学校卫生*, 2002, 23(6): 483-485.
- 47 Gies P, Wright J. Measured Solar Ultraviolet Radiation Exposures of Outdoor Workers in Queensland in the Building and Construction Industry. *Photochem Photobiol*, 2003, 78(4): 342-348.
- 48 Parisi AV, Wong JC. An estimation of biological hazards due to solar radiation. *J Photochem Photobiol B*, 2000, 54: 126-130.
- 49 Cockell CS, Scherer K, Horneck G, *et al.* Exposure of arctic field scientists to ultraviolet radiation evaluated using personal dosimeters. *Photochem Photobiol*, 2001, 74(4): 570-578.
- 50 Antoine M, Pierre-Edouard S, Jean-Luc B, *et al.* Effective exposure to solar UV in building workers: influence of local and individual factors. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2007, 17: 58-68.
- 51 Moehrle M, Heinrich L, Schmid A, *et al.* Extreme UV exposure of professional cyclists.

- Dermatology, 2000, 201: 44-45.
- 52 Moehrle M, Dennenmoser B and Garbe C. Continuous long-term monitoring of UV radiation in professional mountain guides reveals extremely high exposure. *Int J Cancer*, 2003,103: 775-778.
 - 53 Duncan DD, Muñoz B, Bandeen-Roche K, *et al.* Visible and ultraviolet-B ocular-ambient exposure ratios for a general population. Salisbury Eye Evaluation Project Team. *Invest Ophth Vis Sci*, 1997, 38: 1003-1011.
 - 54 Wright CY, Reeder AI, Bodeker GE, *et al.* Solar UVR exposure, concurrent activities and sun-protective practices among primary schoolchildren. *Photochem Photobiol*, 2007, 83: 749-758.
 - 55 Guy CY, Diab RD and Martincigh BM. Ultraviolet radiation exposure of children and adolescents in Durban, South Africa. *Photochem Photobiol*, 2003, 77: 265-270.
 - 56 Godar DE. UV doses of American children and adolescents. *Photochem Photobiol*, 2001, 74: 787-793.
 - 57 Parisi AV, Meldrum LR, Wong JCF, *et al.* Effect of childhood and adolescent ultraviolet exposures on cumulative exposure in South East Queensland schools. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2000, 16: 19-23.
 - 58 Larko O, Diffey BL. Natural UV-B radiation received by people with outdoor, indoor, and mixed occupations and UV-B treatment of psoriasis. *Clin Exp Dermatol*, 1983, 8: 279-286.
 - 59 Slaper H. Skin cancer and UV exposure: investigations on the estimation of risks. [Ph.D.dissertation]. University of Utrecht, 1987.
 - 60 Schothorst AA, Slaper H, Schouten P, *et al.* UVB doses in maintenance psoriasis phototherapy versus solar UVB exposure. *Photodermatol*, 1985, 2(4): 213-220.
 - 61 Leach JF, McLeod VE, Pingstone AR, *et al.* Measurement of the ultraviolet doses received by office workers. *Clin Exp Dermatol*, 1978, 3: 77-79.
 - 62 Challoner AVJ, Corless D, Davis A, *et al.* Personal monitoring of exposure to ultraviolet radiation. *Clin Exp Dermatol*, 1976, 1: 175-179.
 - 63 Kimlin MG, Parisi AV and Wong JCF. Quantification of personal solar UV exposure of

outdoor workers, indoor workers and adolescents at two locations in Southeast Queensland.

Photodermatol Photoimmunol Photomed, 1998, 14: 7-11.

- 64 Diffey BL, Gibson CJ, Haylock R, *et al.* Outdoor ultraviolet exposure of children and adolescents. Br J Dermatol, 1996, 134(6): 1030-1034.
- 65 HeijlA, Leske MC. Cataract epidemiology. Ophthalmology, 2007, 114(1): 201.
- 66 第二次全国残疾人抽样调查办公室. 第二次全国残疾人抽样调查资料. 北京:中国统计出版社, 2007.
- 67 张士元. 我国白内障的流行病学调查资料分析. 中华眼科杂志, 1999, 35(5): 336-340.
- 68 刘扬,孙炜. 紫外线致白内障的流行病学研究现状. 中国公共卫生, 2002, 18(1): 109-110.
- 69 Environmental effects of ozone depletion:1998 Assessment, UNEP, 1998.

• 在学期间科研成绩 •

发表论文:

1. Liwen Hu, Qian Gao, Wenying Xu, Yang Wang, Huizhi Gong., Guoqing, Jinghai Li and Yang Liu. Diurnal Variations in Solar Ultraviolet Radiation at Typical Anatomical Sites. Biomed Environ Sci. (revised)
2. LiWen Hu, HuiZhi Gong, DaoJun Yu, Qian Gao, Na Gao, Mei Wang, Yan Yan, Yang Wang, Jiaming Yu and Yang Liu. Diurnal Variations in Solar Ultraviolet Radiation on Horizontal and Vertical Plane. Iranian J Publ Health.(revised)
3. 高倩,汪薇,王阳,石松田,胡立文,徐文英,刘扬. 手背部皮肤纹理老化定量评价指标研究. 中国美容医学, 2007,7(16):941-944.
4. 安丽,高倩,刘儒曦,胡立文,徐文英,刘扬. 紫外线诱导 HaCaT 细胞 IL10 mRNA 及蛋白表达. 中国公共卫生, 2007,7(23):843-844.
5. Li An, Guoqing Dong, Qian Gao, Ying Zhang, Liwen Hu, Jinghai Li and Yang Liu. Effects of UVA on TNF- α , IL-1 β , and IL-10 expression levels in human keratinocytes and intervention studies with an antioxidant and a JNK inhibitor. Photodermatol Photoimmunol Photomed, 2010, 26: 28-35.

参与基金课题项目:

1. 紫外线暴露对眼晶体损伤的危险性评价 (国家自然科学基金, 30700652, 2008.1~2010.12)
2. 眼紫外线暴露与晶体损伤的定量研究 (高校博士点专项科学研究基金, 20070159022, 2008.1~2010.12)
3. 我国北纬30°不同海拔地区眼紫外线暴露对晶体损伤的危险性评价 (国家自然科学基金, 30800895, 2009.1~2011.12)

获得科研奖励:

参与完成课题“紫外线暴露对佝偻病防治、眼晶体损伤和皮肤老化作用及其机制研究”获得:

辽宁省科学技术奖 二等奖 (第9完成人) 2009年8月

中华预防医学会科学技术奖 二等奖 (第8完成人) 2009年10月

• 致谢 •

在论文完成之际，谨向我尊敬的导师刘扬教授致以深深的谢意，衷心感谢五年研究生期间对我的悉心教导！导师严谨的治学态度，兢兢业业的工作作风，严于律己宽以待人的为人是我终生学习的榜样！

同时感谢孙贵范教授、徐兆发教授、蔡原教授、陈杰教授、金亚平教授和姜泓副教授在科研设计和论文撰写上的建议和指导！感谢公共卫生学院各位老师提出的许多宝贵意见和建议！

本课题的研究过程中，衷心感谢环境卫生教研室高倩老师、徐斌老师和孙伟老师的帮助，以及徐文英、董国庆、李净海、高娜、王梅、闫妍、初春和杨卉等同学的支持与鼓励。

最后，我要深深的感谢我的家人和朋友们，他们默默的支持我，为我的每一点进步而喜悦，为我的每一丝忧愁而担心，不管距离多远，关切的目光从来未被阻断，谢谢我的爸爸妈妈，谢谢我的亲人和朋友们！

· 个人简介 ·

姓名：胡立文

性别：女

出生年月：1981年10月

民族：汉族

籍贯：天津市蓟县

主要经历：

2007年9月~2010年7月	中国医科大学 劳动卫生与环境卫生学	博士在读
2005年9月~2007年7月	中国医科大学 劳动卫生与环境卫生学	硕转博
2000年9月~2005年7月	中国医科大学 预防医学系	学士