

# 低纬高原城市区域冬季晴天不同波长辐射的特征<sup>①</sup>

张一平 李佑荣

(中国科学院西双版纳热带植物园森林生态室, 昆明, 650223)

张庆平

(云南省档案馆)

## 提 要

利用低纬高原城市昆明城区内外不同波长辐射的实测资料, 分析了研究得较少的城区内外不同波长辐射的分布特征、变化规律及其差异, 主要结果如下: (1) 城内因受周围大气环境质量的影响, 各波长辐射量的变化离散性大于城外; 不同波长辐射的绝对量和相对量(城内外比值) 大多是城内小于城外, 且以大气污染严重的午前差异显著。(2) 低纬高原城市区域, 冬季晴好天气时午前、午后不同波长辐射占总辐射的百分率存在差异; 城内外各辐射的百分率及其变化特征也不相同, 特别在大气污染严重的午前, 差异十分显著。(3) 冬季晴好天气时不同波长辐射的日总量和午前、午后总量, 城内外同样存在明显的差异。

关键词 城市 大气 污染 辐射 波长

分类号 P422.6

## 1 引 言

随着城市地表面状况的变化, 建筑物密度的加大和高层化, 人口不断地向城市集中, 造成污染源增加, 使城市区域的大气环境日益恶化, 改变了城市区域的辐射状况, 不仅影响着城市区域内人们的生活、健康, 而且影响着城市区域局地气候的形成。国内外的研究表明<sup>[1]</sup>: 城市内的总辐射比郊区少 10%—30%: 当太阳高度角小, 空气污染浓度大时可减少 30% 以上<sup>[2]</sup>。对于城市区域不同波长辐射特征的研究国内尚不多见, 国外的研究表明<sup>②[3]</sup>: 太阳光中的光波波长越短越易被散射和吸收, 紫外辐射仅为郊外的 77%, 在美国加州的洛山矶, 当极稠密的烟雾笼罩时, 紫外辐射竟减弱 90% 以上。

本文以低纬高原城市昆明市为例, 利用冬季在城区内外屋顶上的不同波长辐射的观测资料, 分析了晴天城区内外不同波长辐射特征和变化规律, 及两地的异同和形成原因。为探讨低纬高原地区城市对不同波长辐射的影响, 以及为城市气候的深入研究和城市建筑的规划、设计提供了依据。并可为其它地区的研究提供参考。

① 1997-09-02 收到初稿, 1998-05-12 收到修改稿。本文是“国家教委留学回国科研启动基金”、“中国科学院留学经费择优支持回国工作基金”和“中国科学院昆明分院择优支持经费”资助项目。

② Maunin C. H., Le Climat Parisien. Presses Univ., Paris, 1947, 163.

## 2 研究概况

### 2.1 研究地概况

昆明市的城建区面积由 1950 年的  $7.8\text{km}^2$ <sup>①</sup>, 增加到 1994 年的  $116\text{km}^2$ <sup>[4]</sup>; 且建筑物不断向大型、高层化发展; 市区的  $\text{SO}_2$  年日平均浓度  $0.072\text{mg}/\text{m}^3$ , 总悬浮微粒年日平均浓度  $0.337\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[5]</sup>, 均超我国大气质量 II 级标准, 据 1982 年的观测<sup>[6]</sup> 表明: 在干季(图 1a), 城内的大气污染物 ( $\text{SO}_2, \text{NO}_x$ ) 比城外清洁区高 3-5 倍; 城内的大气污染物受风速的影响较大, 午前风速较弱, 污染程度高(图 1b), 在风速最小的 7 时出现极大值, 而午后风速增强, 大气污染物均减小。

### 2.2 观测概要

在位于昆明城区内的原中国科学院昆明生态研究所办公楼屋顶(5F, 海拔 1909m) 和城外太华山气象观测站办公楼屋顶(3F, 海拔 2368m) 各设置一个观测点。两地屋顶表面均为沥青, 遮蔽均较小。城外(太华山) 观测点位于昆明市自然森林公园(西山公园) 之中, 自然环境十分良好, 且在城区西南侧(盛行风的上内侧), 可以代表郊外状况。观测仪器为新购置的 TBQ-41 分光辐射表(锦州 322 研究所制), 用 9 点毫伏自动记录仪记录(英国制)。

### 2.3 观测期间天气状况

观测期间为 1987 年 1 月 27 日-2 月 8 日, 其中 2 月 7、8 日为晴好天气。分析中使用地方时(LT), 比北京时(BST) 晚 12。由于 2 月 8 日城外测点资料不全, 本文主要使用 2 月 7 日的资料进行分析。2 月 7 日与 2 月 8 日各辐射量值比较如表 1 所示。可见, 2 月 7 日与 2 月 8 日城内外的各辐射总量值和百分率值基本相近, 其相对差值均小于 5%, 所以可以认为 2 月 7 日具有一定代表性。

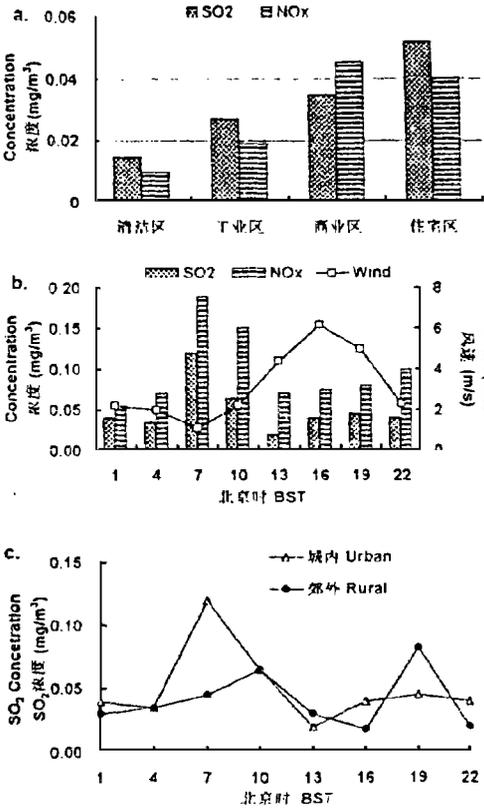


图 1 城内外污染物的分布(1982.02.01/06)

- a. 不同区域污染物浓度;
- b. 城内污染物浓度与城外风速;
- c. 城内外  $\text{SO}_2$  浓度的时间变化。

Fig. 1 Deposits of the pollutants in the urban and in the rural Feb. 01/06 1982.

- (a) the density of pollutants in the different area, (b) the density of pollutants in the urban and wind speed in the rural, (c) variation of the concentration of  $\text{SO}_2$ .

① 昆明市规划设计管理处. 昆明市城市总体规划说明(1981-2000年). 1982. 6-7.

表 1 2月7日与2月8日各辐射值比较(1987)

Table 1 The compare of radiation of different wave length between Feb. 7 and Feb. 8 1987

日期	要素	城内(日)				城外(午前)			
		总辐射	红外	紫外	可见光	总辐射	红外	紫外	可见光
2/7	总量(MJ/m)	19.22	11.27	1.51	6.46	10.36	5.86	0.78	3.72
	百分率(%)		58.6	7.9	33.6		56.5	7.5	35.9
2/8	总量(MJ/m)	19.76	11.43	1.54	6.78	10.51	5.96	0.81	3.74
	百分率(%)		57.9	7.8	34.3		56.7	7.7	35.6
相对差(%)	总量	-2.8	-1.4	-2.0	-4.9	-1.4	-1.7	-3.8	-0.5
	百分率(%)		-1.2	-1.3	-2.1		-0.4	-2.7	0.8

### 3 分析与讨论

#### 3.1 不同波长辐射量的时间变化

从不同波长辐射量的时间变化(图2)可看出:城市内外的辐射量时间变化基本相同;但是城内(图2b)各辐射量的时间变化曲线的离散性较大;而城外(图2a)各辐射量的时间变化曲线较平滑,即离散性较小;显示了城内日射辐射受到城内大气状况的影响,波动大于城外。

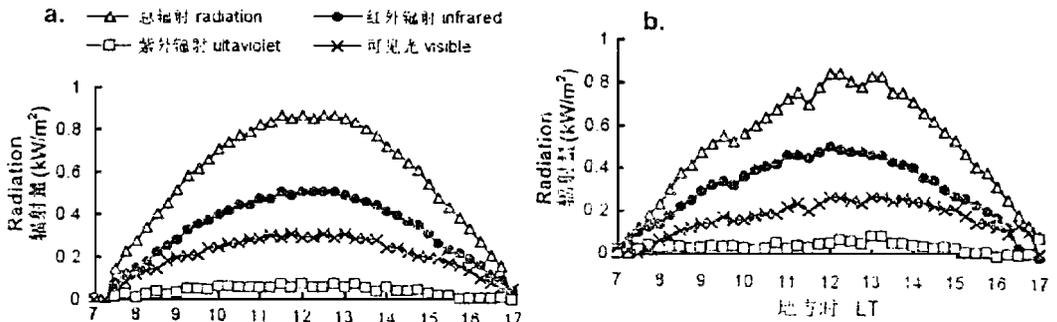


图2 城市区域不同波长辐射的时间变化(1987.02.07) a.城外;b.城内。

Fig. 2 Variation of the radiation of different wave length on the region of city Feb. 07 1987. (a) in the rural, (b) in the urban.

#### 3.2 不同波长辐射量的百分率时间变化

图3给出了各波长辐射量占总辐射量的百分率时间变化。可见:城市内外均以红外辐射的百分率最高,为总辐射的50%以上,而可见光次之,为25% - 43%之间,紫外辐射的百分率最小,大多在10%以下。

但各波长辐射量占总辐射的百分率时间变化不尽相同:城内的红外辐射(图3a)与可见光(图3b)呈现相反变化趋势,红外辐射百分率午前占总辐射的60%以上,午后逐渐减小,15时仅为52.3%;可见光百分率则随时间的增加逐渐增大,从8时的27.5%增加到16时的43.3%;而城外的红外辐射和可见光百分率的时间变化均较小。

紫外辐射百分率的时间变化(图 3c)为:城内日出后,紫外辐射占总辐射的百分率逐渐减小,10 时左右达最小值(4.1%),其后呈增加趋势,于 13 时达次极大值(10.9%),随后再次下降,于 16 时达一日的最小值(0.5%)。而城外紫外辐射除早晚的部分时刻外,均在 7%–9% 之间变化。

各辐射量百分率的城内外差异(图 4)午前较大,午后较小。城内的红外辐射所占百分率大于城外,最大差值可达 9.5%;午后差值大多为负;可见光百分率的城内外差值午前为负,在 8 时最大(-15%),随着时间的增加,差值呈减小趋势,午后差值大于零;紫外辐射百分率的城内外差值变化较复杂,9 时前差值大于零,随后差值转为负值,12–14 时差值多为正值,14 时后差值接近于零;除 8 时外,城内外差值均在 5% 之内。

由以上的结果可以看出:高原城市区域,城市内外的总辐射对不同波长辐射的分配率,其数值、变化规律等都是大不相同的,形成了城内外的差异及时间分布上的不同。这势必影响城市内外的局地气候特征及其城市生态特征。

### 3.3 城内外不同波长辐射量的比较

图 5 给出了不同波长辐射的城内外比值:总辐射和可见光(图 5a)的城内外比值大多小于 1(城内小于城外),且午前比值较小(总辐射 0.82–0.95,可见光 0.62–0.92),在 10 时左右达最小值;午后比值逐渐增大,趋近于 1。红外辐射和紫外辐射(图 5b)在 9 时前,可能是由于太华山站受雾的影响,致使城内外比值大于 1;午前 9–12 时,多数比值小于 1,红外辐射为 0.90–0.95,紫外辐射仅为 0.44–0.65;午后红外辐射比值虽然仍小于 1 但已趋近于 1;而紫外辐射在 12–14 时,其比值出现大于 1 的情况,最大可达 1.6,14 时后比值再次下降至小于 1。

其原因是由于城内大气污染的影响,使得各波长辐射量多小于城外,特别在污染较严重的午前 9–12 时(图 1b),各波长辐射量均小于城外;其中,波长最短的紫外辐射与国外的研究相同<sup>①</sup>[31],减小最多(约 50%),可见光次之(约 30%),红外辐射减少量最少(约 8%);在其综合影响下,总辐射减小 10%

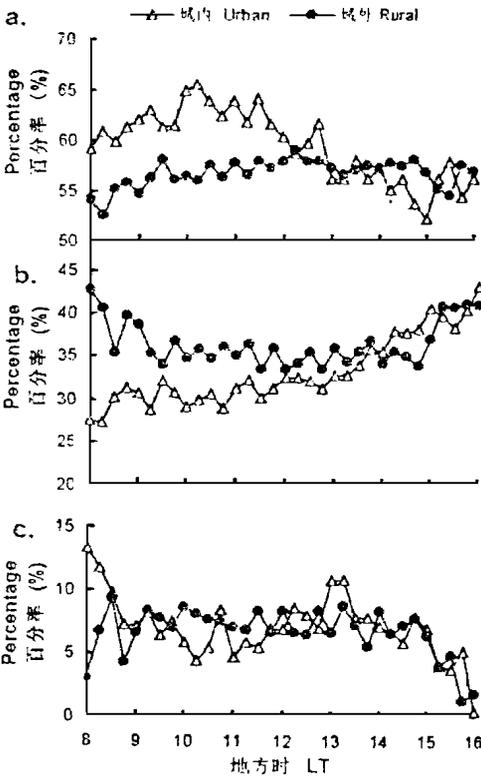


图 3 不同波长辐射百分率的时间变化(1987.02.07) a. 红外辐射; b. 可见光; c. 紫外辐射。

Fig. 3 Variation of the percentage of the radiation of different wave length to the global radiation on the region of city Feb. 07 1987. (a) the infrared radiation (NIR), (b) the visible radiation (PAR), (c) the ultraviolet radiation(UV).

① 同第 329 页脚注②。

- 20%, 午后, 各波长辐射量的城内外差值减小, 比值趋近于 1; 特别在 LT12- 14 时, 太阳高度角较高, 且城内大气污染最小时 (图 1b, BTS13 时), 城内的紫外辐射可比城外多 (图 5b), 比值可达 1.6, 即城内紫外辐射比城外多 60%, 其后随太阳高度角的降低, 大气污染物的增加, 紫外辐射的城内外比值再次小于 1。这是由于昆明地区干季风速较强, 利于城市内的污染物扩散, 使城内大气污染程度减轻 (图 1b), 特别是午后随着风速的增强, 城内大气中污染物出现最小值, 并可出现城内低于城外 (图 1c) 的情况, 对短波长辐射的散射减小; 加之低纬高海拔地区辐射较强; 城内下垫面的不透水性, 阻碍了空气中水分的补充, 城内空气中的水汽低于城外 (图 6), 在 BST13 时差异最大, 即城外空气中的水分粒子多于城内、对短波长辐射的散射大于城内等原因, 造成中午时分城内的紫外辐射大于城外的现象。

### 3.4 城内外不同波长辐射总量

按世界气象组织 (WMO) 1981 年推荐的标准<sup>[7]</sup>, 在大气上界, 各波长辐射占太阳辐射的百分率为: 紫外辐射 7.19%、可见光 46.41%、红外辐射 46.40%。

在低纬高原城市区域, 冬季晴天城内外不同波长辐射量的日总量和各辐射量占总辐射的百分率以及城内外差值, 比值如表 2 所示。可见, 对于日总量, 除紫外辐射外, 其余各辐射量的绝对量和比值均是城内小于城外, 总辐射和红外辐射比城外少 7% 和 4%, 而可见光可比城外少 14%, 但紫外辐射则比城外多 6%; 从百分率来看, 城内外均是红外辐射所占比例最大 (58.6%, 57.0%); 紫外辐射最小 (7.9%, 7.3%); 这与巴黎的观测结果<sup>[3]</sup> 相似, 均高于大气上界值, 但红外辐射城内外值均比巴黎高, 而紫外辐射的百分率值城内高于巴黎, 城外与其相近; 可见光的辐射量百分率为 33.6% (城内) 及 36.2% (城外), 低于巴黎 (城内 43.0%, 城外 40.0%) 的观测结果, 且大大低于大气上界值; 百分率的城内外差值红外辐射与巴黎的结果相似, 城内大于城外 (1.6%); 但紫外辐

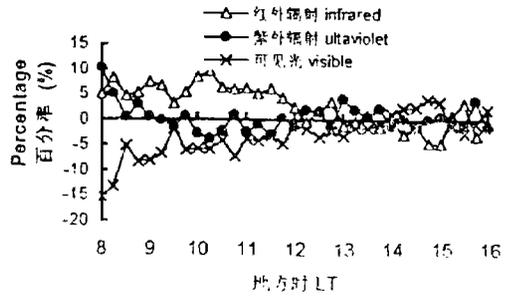


图 4 不同波长辐射百分率城内外差值的时间变化 (1987.02.07)

Fig. 4 Variation of the percentage of difference between the urban and the rural Feb. 07 1987.

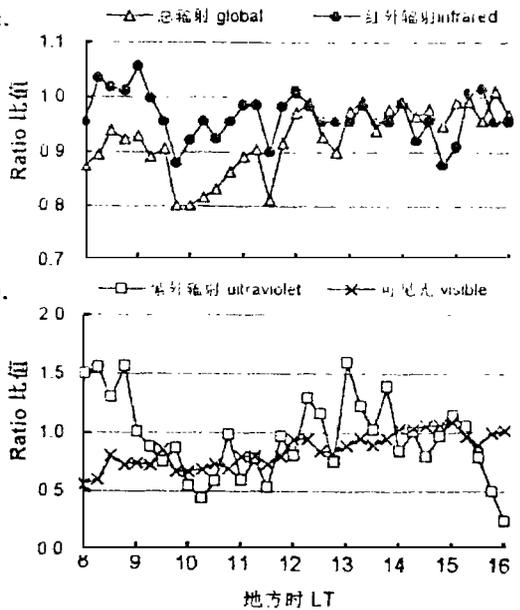


图 5 不同波长辐射量城内外比值的时间变化 (1987.02.07)

Fig. 5 Variation of the ratio between the urban and the rural Feb. 07 1987.

射城内比城外多 1.0%，可见光城内比城外小 2.6%，均与巴黎的结果相反。反映了低纬高原城市区域不同波长辐射特征及差异有别于中纬低海拔地区。

表 2 不同波长辐射的日总量、百分率以及城内外差值、比值

Table 2 The total and the percentage of radiation of different wave length and the difference and the ratio between the urban and the rural

要素		总辐射	红外辐射	紫外辐射	可见光
城内	日总量(MJ/m <sup>2</sup> )	19.22	11.27	1.51	6.46
	百分率(%)	100.0	58.6	7.9	33.6
城外	日总量(MJ/m <sup>2</sup> )	20.65	11.77	1.43	7.48
	百分率(%)	100.0	57.0	6.9	36.2
城内- 城外	日总量(MJ/m <sup>2</sup> )	- 1.43	- 0.50	0.08	1.02
	百分率(%)	0.0	1.6	1.0	- 2.6
城内/ 城外	日总量	0.93	0.96	1.06	0.86

进一步探讨午前(LT7:00- 12:00)和午后(LT12:15- 17:00)的城内外不同波长辐射量的日总量和各辐射量占总辐射的百分率以及城内外差值、比值(表3)。可见:午前各辐射量的城内外差值均是负值,比值均小于1。即城内的辐射量均小于城外,相对减少量以可见光最大(26%),红外辐射最小(2%);午后除紫外辐射之外仍是城内小于城外,相对增量以紫外辐射最大(29%),而其它辐射的减少量较小(1%-6%)。

从各辐射量占总辐射量的百分率来看,城内外午前、午后的百分率与日总量的百分率相同,红外辐射所占百分率最大(54%以上),紫外辐射最小(6.3%-8.4%);但是午前、午后百分率值的城内外差值不尽相同,特别是城内午前的红外辐射百分率高达62.8%,比城外多6.3%,显示了城市热岛效应作用;午前紫外辐射百分率城内外相差不大(-0.2%),可见光的百分率城内小于城外(差值为5.8%);而午后则与午前相反,红外辐射的百分率城内小于城外(-2.7%),紫外辐射百分率城内大于城外(2.1%),可见光百分率城内外基本相同,差异较小(0.4%)。另外,从城内外各波长辐射量午前与午后的差值来看(图7),其差值城内与城外呈现不同分布。即城内红外辐射是午前大于午后,紫外辐射和

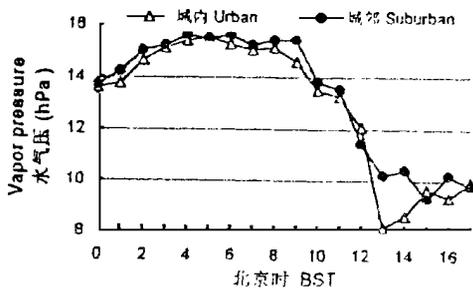


图 6 城内外水汽压的时间变化(1996.05.04)  
Fig. 6 Variation of the vapro pressure in the urban and in the suburban May 04 1996.

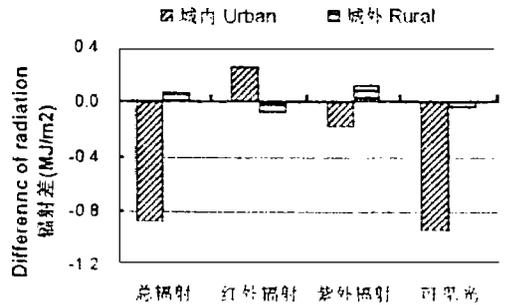


图 7 不同波长辐射午前与午后的差值(1996.05.04)  
Fig. 7 Difference of the total radiation of different wave length between the morning and the afternoon May 04 1996.

可见光则是午前小于午后; 其中可见光差异最大( $0.94 \text{ MJ/m}^2$ ), 综合效应使得总辐射呈现午前大于午后。而城外的各辐射量则是午前与午后相差不大显示了城市及其城市环境状况对不同波长辐射的影响在不同时段差异性, 反映了低纬高原地区城内外不同波长辐射分布的复杂性。

表 3 不同波段辐射的午前(午后)总量、百分率以及城内外差值、比值

Table 3 The total and the percentage of radiation of different wave length and the difference and the ratio between the urban and the rural in the morning and in the afternoon

要素	时段	总辐射	红外辐射	紫外辐射	可见光
城内总量 ( $\text{MJ/m}^2$ )	午前	9.17	5.76	0.67	2.76
	午后	10.05	5.51	0.84	3.70
城内百分率 (%)	午前	100.0	62.8	7.3	30.1
	午后	100.0	54.8	8.4	36.8
城外总量 ( $\text{MJ/m}^2$ )	午前	10.36	5.86	0.78	3.72
	午后	10.30	5.92	0.65	3.75
城外百分率 (%)	午前	100.0	55.6	7.5	35.9
	午后	100.0	57.5	6.3	36.4
城内- 城外总量 ( $\text{MJ/m}^2$ )	午前	- 1.19	- 0.10	- 0.11	0.96
	午后	- 0.25	- 0.41	0.19	- 0.05
城内- 城外百分率 (%)	午前	0.0	6.3	- 0.2	- 5.8
	午后	0.0	- 2.7	2.1	0.4
城内/ 城外总量	午前	0.89	0.98	0.86	0.74
	午后	0.98	0.94	1.29	0.99

## 4 结 语

(1) 城内因受周围大气环境质量的影响, 各波长辐射量的变化离散性大于城外; 不同波长辐射的绝对量和相对量(城内外比值)大多是城内小于城外。且以大气污染严重的午前差异显著。其中紫外辐射的变化最为特殊: 在大气污染较强的午前 10-12 时和午后 14 时以后, 城内的紫外辐射小于城外, 差异最大时仅为城外的 44% (午前) 和 24% (午后); 而在有雾的 9 时前和风速较强、大气污染较小的午后 12-14 时呈现城内大于城外, 差异最大时可比城外多 60%。显示了低纬高原城市区域不同波长辐射时间变化规律及其城内外差异的特征, 这势必影响城市内外局地气候和城市生态特征。

(2) 低纬高原城市区域, 冬季晴好天气时午前、午后不同波长辐射占总辐射的百分率存在差异; 城市内外各辐射的百分率, 其数值和变化特征也均不相同, 形成了城内外的差异, 特别在大气污染严重的午前, 差异十分显著。显示了低纬高原城市区域不同波长辐射占总辐射的比例特征。

(3) 冬季晴好天气时的不同波长辐射的日总量和午前、午后总量, 同样存在明显的城内外差异, 其分布与国外研究结果不尽相同, 显示了低纬高原地区城市环境状况对不同波长辐射影响作用的特殊性。

## 参 考 文 献

- 1 周淑贞, 束炯编. 城市气候学. 北京: 气象出版社, 1994. 116- 193.
- 2 Oke T R. Boundary layer climates. London: Methuen & Co. Ltd., 1978. 512.
- 3 Stair R. The measurement of solar radiation, With principal emphasis on the ultraviolet component. *Int. Journ. Air Water Poll.*, 1967, **10**: 665- 686.
- 4 云南省统计局编. 云南统计年鉴(1995). 北京: 中国统计出版社, 1995. 515- 549.
- 5 中国环境年鉴编辑委员会编. 中国环境年鉴 1995. 北京: 中国环境年鉴出版社, 1995. 168- 171.
- 6 黄逸生, 王霞斐, 陈明森, 等. 昆明城市热岛及大气质量探测报告, 滇池地区生态环境与经济综合考察报告. 昆明: 云南科技出版社, 1988. 131- 148.
- 7 潘守文编. 小气候考察的理论基础及其应用. 北京: 气象出版社, 1989. 53.

## A PRELIMINARY STUDY ON THE CHARACTERISTIC OF RADIATION OF DIFFERENT WAVE LENGTH ON THE CLEAR WINTER DAYS IN THE REGION OF CITY OF LOW LATITUDES AND PLATEAU

Zhang Yiping      Li Yourong

*(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden Chinese Academy of Sciences Division of Forest Ecology, Kunming, 650223)*

Zhang Qingping

*(Yunnan Archives)*

### Abstract

The observation of radiation of different wave length was conducted in the urban and rural areas of Kunming City. The main results on clear days obtained in this paper are summarized as follows. (1) In the urban area, the fluctuation of radiation of different wave length are larger in the urban area due to strong effect of pollution. The radiation (difference and ratio between urban and rural areas) is lesser in the urban than in the rural areas. The difference is outstanding in the morning when the pollution is string. (2) On the city of low latitudes and in plateau, on clear days of winter, the percentages of different wave length radiation in global radiation are different in the morning and in the afternoon. In the urban and in the rural areas, the percentages are different too. The difference is outstanding in the morning (because the pollution is strong). (3) At day time, in the morning and in the afternoon, there are difference in the total, the percentage and the ratio of radiation of different wave length between the urban and the rural areas.

**Key words** City Atmosphere Pollution Radiation Wave length