

厦门市日照气候变化特征及成因分析

郑礼新, 张少丽, 石顺吉 (福建省厦门市气象局, 福建厦门 361012)

摘要 利用厦门市两个气象观测站的日照观测资料, 对厦门市日照时数的年、季、月变化特征进行全面分析。结果表明, 近 55 年来厦门市年、季、月日照时数均呈减少的变化趋势, 主城区比郊区明显; 春夏季比秋冬季减少明显, 其中夏季为四季中日照时数减少最明显的季节, 冬季日照时数减少最慢; 从各月来看, 主城区 8 月、郊区 7 月日照时数减少最快; 日照时数在 20 世纪 80 年代初发生明显的突变现象。另外, 对影响日照时数的云量、雾日、轻雾日、霾日等气象因子的变化特征进行分析, 找出与厦门市日照时数变化相关的主要影响因子。结果表明, 低云云量的增加以及雾、轻雾、霾等影响日照时数的天气现象日数的增多, 是造成厦门市主城区日照时数减少的主要原因, 而郊区日照时数减少的主要原因是轻雾和霾天气日数的增多。

关键词 厦门市; 日照时数; 气候变化; 可能影响

中图分类号 S161.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)25-12066-04

Analysis on Climate Change Characteristics of Sunshine Duration and Its Cause in Xiamen City

ZHENG Li-xin et al (Xiamen Meteorological Bureau, Xiamen, Fujian 361012)

Abstract Based on the sunshine duration data of two meteorological stations, the annual, seasonal and monthly change characteristics of sunshine duration were comprehensively analyzed in Xiamen City. It demonstrated that the annual, seasonal and monthly sunshine times showed a decreased tendency in recent 55 years, and that in the urban area was more obvious than suburbs. That in the spring and summer decreased more obvious than autumn and winter. That in the summer decreased most obvious and winter inversely. That in the august in urban and July in suburbs decreased fastest from monthly aspect. In the early of eighties in 20th century, there was a obvious abrupt change. At the same time, the changes of meteorological factors, which influenced on sunshine duration, were analyzed, such as cloudiness, foggy days, light foggy days and haze days. The results showed that the increase of low cloudiness, fog days, light fog days and haze days were the main causes to decrease sunshine duration in urban, and that influenced in suburbs were light fog and haze.

Key words Xiamen City; Sunshine duration; Climate change; Potential influence

太阳辐射是重要的气候因子, 是农作物生长发育不可缺少的条件, 也是可供人类开发利用的可再生资源。太阳辐射的变化对人类生产生活有着重要的影响, 而日照时数是表征太阳辐射强弱的气象要素之一。研究日照时数的气候变化规律, 了解其变化的可能影响因子, 对调整农业结构、合理安排生产生活有着十分重要的作用, 同时可为厦门市太阳能的开发利用提供科学依据。

随着全球气候变暖, 日照时数等气象要素发生了明显的变化。而随着城市化的发展, 城市大气中的空气污染问题也越来越严重, 使得不同区域的日照时数差异变大。任国玉等研究表明, 近 50 年来我国日照时数呈明显减少的趋势, 其趋减幅度具有东部大于西部平原大于山区的特点; 日照时间的变化还存在明显季节性差异, 冬、夏两季趋减幅度大于春、秋两季^[1]。王华等分析了新疆阿克苏地区的日照变化, 发现阿克苏地区日照与其他地区变化不同, 呈增多的趋势^[2]。笔者通过对厦门市近 55 年日照时数演变规律及影响因素的分析, 将日照时数的变化趋势与云量及雾、轻雾、霾等影响日照的天气现象变化趋势结合起来, 对引起日照时数变化的各种因素进行更深刻了解, 更全面地揭示随着厦门市城镇化进程的加快, 城市气候发生的变化及可能的原因。

1 研究资料与方法

1.1 资料 采用处于厦门市中心城区的厦门岛西部的厦门站(站号为 59134)1953~2008 年和处于郊区城区靠山的同安站(站号为 59130)1956~2008 年的日照时数、总云量、低云量、雾日、轻雾日、霾日等资料。多年平均值采用 1971~2000 年的 30 年平均值。划分春季为 3~6 月, 夏季为 7~9

月, 秋季为 10~11 月, 冬季为 12~次年 2 月。

1.2 方法 日照时数及各要素平均值为时段内各次值的算术平均值, 主要讨论各站各时段的日照时数及各要素的长时间序列及变化趋势(线性拟合), 利用时间与距平值之间的相关系数对变化趋势进行显著性检验。

1.2.1 气候趋势系数计算与检验。 根据文献[3]的方法计算了气候趋势系数 r_{xt} 。它为 n 个时刻(年)要素序列与自然数列 1, 2, 3, ..., n 的相关系数, 见式(1):

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

式中, n 为年数, x_i 是第 i 年要素, \bar{x} 为样本均值, $\bar{t} = (n+1)/2$ 。显然, 这个值为正(负)时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。 $r_{xt} \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r_{xt}^2}$ 符合自由度为 $n-2$ 的 t 分布, 从而检验这种气候趋势是否有意义, 还是一种随机振动。

1.2.2 线性倾向估计计算与检验。 根据文献[4]的方法进行估计计算线性倾向与检验, 用 x_i 表示样本量为 n 的某一个气候变量(式 2), 用 t_i 表示 x_i 所对应的时间, 建立 x_i 和 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, a 为回归常数, b 为回归系数。 b 的符号表示气候变量的趋势倾向幅度, 当 $b > 0$ ($b < 0$) 时, 说明随时间 t 的增加 x 呈上升(下降)趋势; b 值的大小反映了上升或下降的幅度大小。式(2)的含义是用一条合理的直线表示 x 与其时间 t 之间的关系, 所以可以同时求出 x 的自相系数 r_{xt} , 并通过检验 r_{xt} 的显著性, 来判断回归系数 b 的显著与否。

a 和 b 可以用最小二乘法进行估计。对观测数据 x_i 及对应的时间 t_i , 回归系数 b 和常数 a 的最小二乘估计为:

作者简介 郑礼新(1973-), 男, 福建永定人, 工程师, 从事短期气候预测研究。

收稿日期 2009-06-22

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (3)$$

$$a = \bar{x} - b \bar{t} \quad (4)$$

式中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ 。

2 厦门市日照时数的气候变化事实

2.1 厦门市年日照时数的年代际变化特征

从图 1a 可以看出, 岛内厦门站的年日照时数的气候平均值为 1 953.0 h, 1953 年以来在 1 613.0 ~ 2 639.0 h 变化, 极大值出现在 1963 年, 为 2 639.0 h, 比常年偏多 35.1%; 极小值出现在 1997 年, 为 1 613.3 h, 比常年偏少 17.4%, 年日照时数极差达 1 025.7 h。从年代际变化来看, 20 世纪 50、60、70 年代均高于平均值, 属于日照偏多期, 20 世纪 60 年代最高, 平均值为 2 324.4 h, 60 年代也达 2 294.3 h。20 世纪 80 年代接近平均值, 90 年代日照时数低于平均值, 为日照偏少期, 21 世纪初日照时数增加明显, 但仍低于平均值。从图 1a 也可以明显看出, 厦门

市岛内厦门站近 56 年日照时数呈快速减少的趋势, 其趋势变化率为 -11.3 h/年, 趋势系数为 -0.76, 通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验。

从图 1b 可以看出, 岛外同安站的年日照时数的气候平均值为 1 934.3 h, 略少于岛内, 1956 年以来在 1 650.0 ~ 2 640.0 h 变化, 极大值也出现在 1963 年, 为 2 639.5 h, 极小值出现在 1983 年, 为 1 553.1 h, 年日照时数极差达 1 086.4 h。从年代际变化来看, 也是 20 世纪 50、60、70 年代均高于平均值, 属于日照偏多期, 20 世纪 50、60 年代最高, 平均值超过了 2 200.0 h。20 世纪 80 年代日照时数低于平均值, 为日照偏少期, 90 年代接近平均值, 21 世纪初日照时数增加明显, 略高于平均值, 主要是 2003 和 2004 年连续两年日照时数超过 2 400.0 h, 分别为历史第 2 和第 3 位偏多年, 2005 年起又连续 3 年低于平均值, 且都少于 1 800 h。从图 1b 也可以明显看出, 厦门市岛外同安站近 53 年日照时数也呈快速减少趋势, 其趋势变化率为 -6.0 h/年, 趋势系数为 -0.42, 也通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

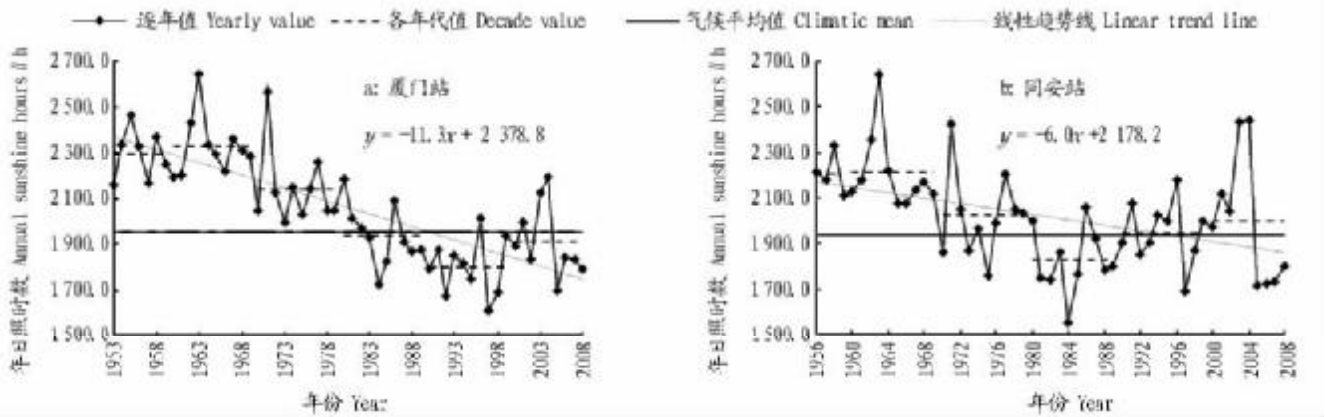


图 1 厦门市年日照时数的年代际变化

Fig. 1 Decadal changes of annual sunshine duration in Xiamen City

从厦门市日照时数累积距平变化趋势来看(图 2), 两站有着相同的趋势, 即在 1980 年之前为日照偏多期, 之后日照时数呈快速减少的趋势。可以说在 1980 年左右厦门市日照时数发生了突变, 21 世纪初日照时数有所增加, 但近几年又呈减少的趋势。

不足 100.0 h, 2 ~ 7 月逐月增加, 7 月达到最多, 都超过了 240.0 h, 8 月后又逐月减少。月日照时数极差超过了 140.0



图 2 厦门市年日照时数的累积距平变化

Fig. 2 Accumulative anomaly change of annual sunshine duration in Xiamen City

2.2 各季、月日照时数的变化特征

厦门市逐月日照时数变化呈单峰型, 两站有相同的变化特点(图 3), 2 月最少, 为

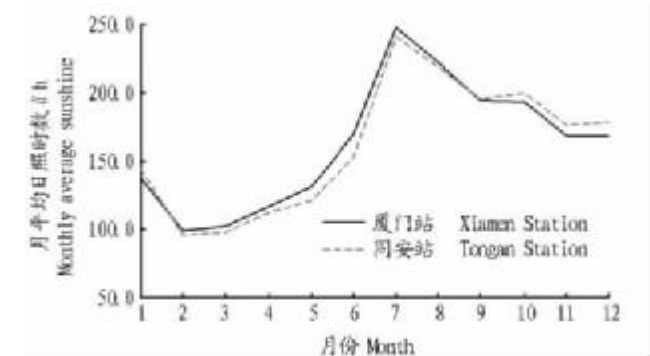


图 3 厦门市月平均日照时数月变化

Fig. 3 Monthly change of monthly average sunshine duration in Xiamen City

h。分析两站各月日照时数的变化趋势发现, 厦门站除 2 月为 -0.18, 负趋势未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验外, 其余各月都呈明显负趋势, 其中 8 月负趋势最明显, 趋势系数为 -0.56, 通过 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验。而同安站虽然各月也都为负趋势, 但只有 4、7、8、9 月趋势系数通过显著性检验, 通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 其中 7 月负趋势最明显, 趋

势系数为 -0.41, 通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

分析厦门市两站各季的日照时数的变化趋势(表 1), 可以看出, 处于中心城区的厦门站, 各季的日照时数都呈显著的负趋势(都通过了 $\alpha = 0.01$ 以上的显著性检验), 其中夏季负趋势最明显, 趋势系数达 -0.72, 趋势变化率达 -4.10

h/年, 其次为春季的 -0.51, 趋势变化率为 -3.20 h/年。而处于郊区城区的同安站, 除夏季和春季达到显著性, 趋势系数分别 -0.54 和 -0.27, 趋势变化率分别为 -2.9 和 -2.0 h/年; 秋季和冬季虽然趋势系数也为负, 但未能达到显著性要求, 说明减小的趋势不明显。

表 1 厦门市各站年、季日照时数线性倾向率和趋势系数

Table 1 Linear trend and trend coefficient of annual and seasonal sunshine duration at each station in Xiamen City

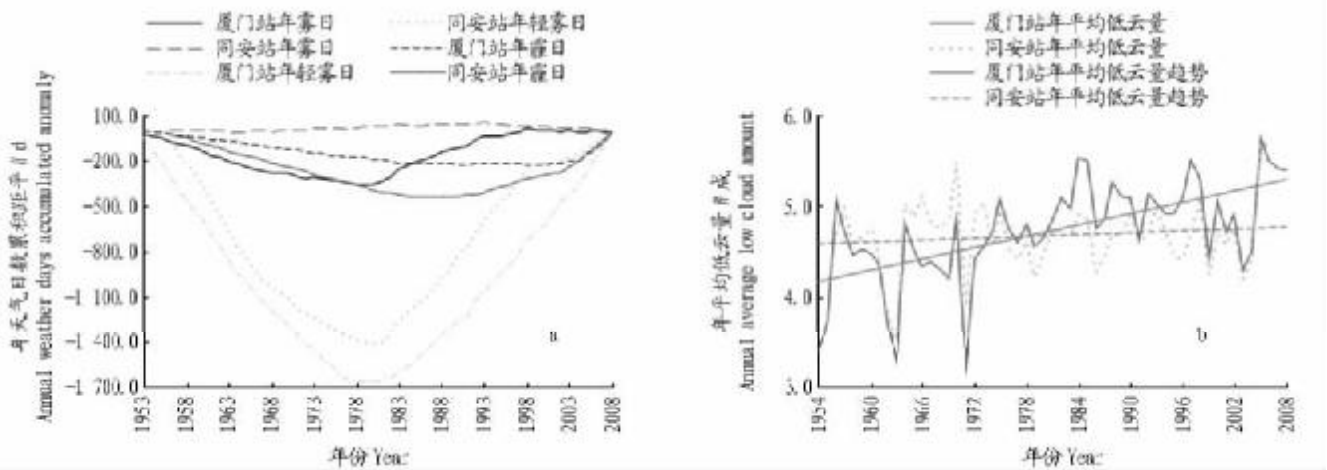
测站 Measurement station	年 Year		春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	线性倾向 率//年/h Linear tendency rate	气候趋 势系数 Climatic tendency coefficient	线性倾向 率//年/h Linear tendency rate	气候趋 势系数 Climatic tendency coefficient	线性倾向 率//年/h Linear tendency rate	气候趋 势系数 Climatic tendency coefficient	线性倾向 率//年/h Linear tendency rate	气候趋 势系数 Climatic tendency coefficient	线性倾向 率//年/h Linear tendency rate	气候趋 势系数 Climatic tendency coefficient
厦门站 Xiamen Station	-11.3	-0.76	-3.2	-0.51	-4.1	-0.72	-1.8	-0.49	-2.0	-0.39
同安站 Tongan Station	-6.0	-0.42	-2.0	-0.27	-2.9	-0.54	-0.6	-0.17	-0.5	-0.09

3 可能的原因分析

近年来有关日照时数变化的原因有了些研究, 但其原因有着比较明显的地域差异。贾峥嵘分析了南宁日照减少的成因, 找出了夏季日照的减少与降水量、废气排放总量增加有关^[5]; 李跃清认为, 青藏高原的日照时数减少主要是由于低云量的增加所引发的^[6]。自 1980 年 10 月厦门设立经济特区后, 经济建设进入快速发展期。下面通过分析引起厦门市日照时数变化的因子的气候变化特点(图 4), 以及与日照时数变化的相关性分析, 来探求厦门市日照变化的可能原因(表 2)。

3.1 云量的变化与日照时数相关分析 分析厦门市云量的变化与年日照时数的相关性(表 2), 年平均总云量呈弱的负趋势, 趋势系数分别为 -0.21 和 -0.31, 同安站负趋势比厦

门站明显, 说明厦门市年平均总云量是呈减少趋势, 郊区比城区明显。而年平均低云量, 厦门站呈明显的正趋势, 趋势系数为 0.61, 同安站呈弱的正趋势, 趋势系数为 0.13。可以看出, 城区低云量呈明显增加趋势, 而郊区低云量增加不明显。通过计算云量和日照时数的相关系数, 可以看出年平均总云量和年日照时数明显负相关, 相关系数厦门站为 -0.30, 同安站为 -0.56; 年平均低云量和年日照时数的相关性更显著, 相关系数厦门站和同安站分别达到 -0.84 和 -0.63。结合前面的云量变化趋势, 可以说明低云云量的增加, 是造成厦门市日照时数减少的主要原因之一, 而且主城区比郊区明显。分析年平均低云量的逐年变化(图 4b)可以看出, 岛内的厦门站在 20 世纪 80 年代初存在明显增多的突变, 而同安站没有明显的变化。



注: a, 年各影响日照时数天气日数距平累积曲线; b, 年平均低云量变化曲线。

Note: a, The influencing weather days accumulated anomaly curve of sunshine duration; b, Annual average low cloud amount change curve.

图 4 厦门市影响日照时数因子气候变化分析

Fig. 4 Climate change of influence factors of sunshine duration in Xiamen City

3.2 雾日的变化与日照时数相关分析 分析厦门市雾日的变化与年日照时数的相关性(表 2)可以看出, 年雾日数厦门站与同安站有着明显不同的变化趋势, 厦门站的趋势系数为 0.54, 表明雾日呈明显增多趋势, 而同安站趋势系数为 -0.32, 表明同安站雾日数呈明显减少趋势。分析雾日数与日照时数的相关性, 可以看出厦门站年雾日数与年日照时数

呈明显负相关, 相关系数为 -0.74, 同安站年雾日数与年日照时数没有明显相关, 相关系数为 -0.09。由于厦门站处在厦门岛上, 基本四面环海, 这样可以说明雾日增多是造成厦门岛日照时数减少的原因之一。分析年雾日数的逐年距平累积曲线可以看出, 岛内的厦门站在 20 世纪 80 年代初存在雾日明显增多的突变, 而同安站没有明显的变化。

表 2 影响厦门市日照时数各相关要素的分析

Table 2 Analysis on relative influence factors of sunshine duration in Xiamen City

项目 Item	年平均总云量 Annual average total cloud amount		年平均低云量 Annual average low cloud amount		年雾日数 Annual fog days		年轻雾日数 Annual light fog days		年霾日数 Annual haze days	
	厦门站 Xiamen Station	同安站 Tongan Station	厦门站 Xiamen Station	同安站 Tongan Station	厦门站 Xiamen Station	同安站 Tongan Station	厦门站 Xiamen Station	同安站 Tongan Station	厦门站 Xiamen Station	同安站 Tongan Station
	气候变化趋势系数	-0.21	-0.31	0.61	0.13	0.54	-0.32	0.94	0.80	0.62
和年日照时数相关系数	-0.30	-0.56	-0.84	-0.63	-0.74	-0.09	-0.86	-0.61	-0.43	-0.26

3.3 轻雾日的变化与日照时数相关分析 分析厦门市的轻雾日的变化与年日照时数的相关性(表 2)可以看出,厦门市的两个站轻雾日数都呈明显增加的趋势,趋势系数分别为 0.94 和 0.80。分析年轻雾日数与年日照时数的相关性发现,两站的年轻雾日数与年日照时数都呈明显的负相关,相关系数分别为 -0.86 和 -0.61,说明轻雾的增加是造成厦门市日照时数减少的主要原因之一。分析年轻雾日数的逐年距平累积曲线可以看出,岛内的厦门站和岛外的同安站在 20 世纪 80 年代初都存在轻雾日数明显增多的突变。

3.4 霾日的变化与日照时数相关分析 分析厦门市霾日的变化与年日照时数的相关性(表 2),与轻雾日相类似,年霾日数厦门市两站也都呈明显增加的趋势,趋势系数分别为 0.62 和 0.86;分析年霾日与年日照时数的相关性可以发现,两站都呈负相关,相关系数分别为 -0.43 和 -0.26,厦门站负相关比同安站明显。说明霾日的增加是造成厦门市日照时数减少的原因之一。分析年霾日数的逐年距平累积曲线可以看出,岛内的厦门站是在 21 世纪初即 2002 ~ 2003 年存在霾日明显增多的突变,而同安站是在 20 世纪 90 年代初存在霾日明显增多的突变。

4 小结

(1) 近 55 年来厦门市年、季、月日照时数均呈减少变化

的趋势,主城区比郊区明显,春夏季比秋冬减少明显,其中夏季为四季中日照时数减少最明显的季节,冬季日照时数减少最慢。各月来看,主城区 8 月、郊区 7 月日照时数减少最快。

(2) 通过距平累积曲线检验,厦门市日照时数在 20 世纪 80 年代初发生明显的突变现象,2003 ~ 2004 年日照时数有所增多,但近几年又呈明显减少的趋势。

(3) 低云量的增加、雾、轻雾、霾等影响日照时数的天气现象的日数的增多,是造成厦门市主城区日照时数减少的主要原因,而郊区日照时数减少的主要原因是轻雾和霾天气日数的增多。

参考文献

- [1] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近 50 年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-952.
- [2] 王华,牛清明.阿克苏市日照时数的突变检验分析[J].新疆气象,2002,25(3):14-15.
- [3] 施能,陈家其,屠其璞.中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J].气象学报,1995,53(4):431-439.
- [4] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.
- [5] 贾峥嵘.南宁日照时数减少的气候特征及成因分析[J].广西气象,1999,20(2):38-40.
- [6] 李跃清.近 40 年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日较差的统计[J].高原气象,2002,21(3):327-332.

(上接第 12065 页)

- [9] FISCHEROVÁ Z, TLUSTOŠ P, SZÁKOVÁ J, et al. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements [J]. Environmental Pollution, 2006, 144: 93-100.
- [10] BAUDOIN E, BENIZRI E, GUCKERT A. Impact of growth stage on the bacterial community structure along maize roots, as determined by metabolic and genetic fingerprinting [J]. Applied Soil Ecology, 2002, 19: 135-145.
- [11] NELSON D W, SOMMERS L E. Total carbon, organic carbon and organic matter [M]//PAGE A L. Methods of soil analysis. Madison, WI: ASA and SSSA, 1982: 539-579.
- [12] STOLTZ E, GREGER M. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings [J]. Environmental and Experimental Botany, 2002, 47: 271-280.
- [13] ZIMMERMANN S, FREY B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34: 1727-1737.
- [14] PULFORD I D, WATSON C. Phytoremediation of heavy metal contaminated land by trees - a review [J]. Environmental International, 2003, 29: 529-540.
- [15] DREW M C. Root function, development, growth and mineral nutrition [M]//LYNCH J M, ed. The rhizosphere. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 1990: 35-57.
- [16] REMON E, BOUCHARDON J L, CORNIER B, et al. Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical

landfill: Implications in risk assessment and site restoration [J]. Environmental Pollution, 2005, 137: 316-323.

- [17] BAKER A J M, REEVES R D, HAJAR A S M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J & C. Presl (Brassicaceae) [J]. New Phytologist, 1994, 127: 61-68.
- [18] PRATAS J, PRASAD M N V, FREITAS H, et al. Plants growing in abandoned mines of Portugal are useful for biogeochemical exploration of arsenic, antimony, tungsten and mine reclamation [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2005, 85: 99-107.
- [19] XIMÉNEZ-EMBUN P, RODRÁGUEZ-SANZ B, MADRID-ALBARRÁN Y, et al. Uptake of heavy metals by lupin plants in artificially contaminated sand: preliminary results [J]. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2002, 82: 805-813.
- [20] SALT D E, PICKERING I J, PRINCE R C, et al. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard [J]. Environmental Science & Technology, 1997, 31: 1636-1644.
- [21] 崔爽, 周启星, 晁雷. 某冶炼厂周围 8 种植物对重金属的吸收与富集作用 [J]. 应用生态学报, 2006(3): 512-515.
- [22] DAHMANI - MULLER H, VAN OORT F, GÉLIE B, et al. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter [J]. Environmental Pollution, 2000, 109: 231-238.
- [23] EBBS S D, KOCHIAN L. Phytoextraction of zinc by oat (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*) and Indian mustard (*Brassica juncea*) [J]. Environmental Science and Technology, 1998, 32: 802-806.