

水库生态系统调节小气候及净化空气 细菌的服务功能

——以深圳梅林水库和西丽水库为例

韩慧丽¹, 靖元孝^{1,*}, 杨丹菁², 肖 林¹, 李国梁¹, 詹重贵¹, 王安利¹, 孙儒泳¹

(1. 华南师范大学生命科学学院, 广东省高等学校生态与环境科学重点实验室, 广州 510631; 2. 广州市环境保护科学研究院, 广州 510620)

摘要: 生态系统服务功能已成为生态研究的热点, 但水库生态系统服务功能的研究较少。对深圳市梅林水库和西丽水库调节小气候和净化空气细菌的服务功能进行了实地研究, 并对调节小气候的服务功能进行了价值评估。结果表明水库生态系统有一定的降温、增湿和净化空气细菌效应。在炎热的夏季, 梅林水库和西丽水库的平均温度和最高温度比市区别降低 1.59、2.35℃ 和 2.56、4.10℃。在干燥的冬季, 梅林水库和西丽水库相对湿度的平均值和最大值较市区别提高了 6.01%、11.10% 和 7.38%、7.80%。梅林水库、西丽水库和市区空气细菌数量分别为 9、10cfu/皿·5min 和 107cfu/皿·5min, 库区空气细菌数量远远少于市区。梅林水库和西丽水库调节小气候的服务价值分别为 1249.13×10^4 元·a⁻¹ 和 5441.83×10^4 元·a⁻¹。

关键词: 水库; 小气候; 空气细菌; 生态系统服务功能; 价值评估

文章编号: 1000-0933(2008)08-3553-10 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Microclimate regulation and airborne bacteria purification services of reservoir ecosystem: a case study of Meilin Reservoir and Xili Reservoir in Shenzhen

HAN Hui-Li¹, JING Yuan-Xiao^{1,*}, YANG Dan-Jing², XIAO Lin¹, LI Guo-Liang¹, ZHAN Chong-Gui¹, WANG An-Li¹, SUN Ru-Yong¹

1 Key Laboratory of Ecology and Environmental Science in Guangdong Higher Education, College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2 Guangzhou Research Academy of Environmental Protection, Guangzhou 510620, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3553 ~ 3562.

Abstract: Ecosystem services are a hot spot in modern ecological research, but few studies on reservoir ecosystem services have been conducted. Microclimate regulation and airborne bacteria purification were investigated in Meilin Reservoir and Xili Reservoir, Shenzhen, China. Results showed that reservoir ecosystems may help lower air temperature, increase humidity and purify airborne bacteria. In summer, the mean and maximum air temperatures in Meilin Reservoir and Xili Reservoir were 1.59℃, 2.35℃ and 2.56℃, 4.10℃ lower than those in the urban area, respectively. In winter, compared with the urban area, the mean and maximum relative humidity in Meilin Reservoir and Xili Reservoir increased by

基金项目: 华南师范大学 211 工程院士重大专项基金资助项目(2004120801); 广东省攻关资助项目(2005B33302014)

收稿日期: 2007-09-18; 修订日期: 2008-03-25

作者简介: 韩慧丽(1981~), 女, 河南人, 硕士, 主要从事植物生态和环境生态研究. E-mail: hanhuili2003@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jingyx@senu.edu.cn

致谢: 在研究过程中得到深圳市水务局、深圳市西丽水库管理处、深圳市梅林水库管理处等单位的大力支持, 在此深表感谢。

Foundation item: The project was financially supported by Special foundation of "211" project for academician in South China Normal University(No. 2004120801), Guangdong key problems project (No. 2005B33302014)

Received date: 2007-09-18; **Accepted date:** 2008-03-25

Biography: HAN Hui-Li, Master, engaged in mainly plant ecology and environmental ecology. E-mail: hanhuili2003@163.com

6.01%, 11.10% and 7.38%, 7.80%, respectively. The number of airborne bacteria (9 and 10 cfu/plate 5min) in Meilin Reservoir, Xili Reservoir was considerably lower than that (107 cfu/plate 5min) in the urban area. The values of microclimate regulation service in Meilin Reservoir and Xili Reservoir were estimated as 1249.13×10^4 yuan a^{-1} and 5441.83×10^4 yuan a^{-1} , respectively.

Key Words: reservoir; microclimate; airborne bacteria; ecosystem services; value evaluation

20 世纪 90 年代,美国生态学会以 Daily 负责的研究小组对生态服务功能进行了系统研究,该小组主编了《Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem》一书,提供了一个详尽的对生态系统服务功能的描述、测算及评估的纲要^[1]。1997 年,Costanza^[2]等人对全球生态系统服务及其自然资本的价值进行了评估。随后,国外许多学者^[3~7]从不同角度对生态系统的服务功能及其价值评估进行了研究。1998 年和 2002 年,《Ecological Economics》杂志以论坛或专题形式汇集了有关生态系统服务功能及其价值评估的研究成果。至此,掀起了生态系统服务功能价值评估的研究热潮。国内比较系统的生态服务功能价值的研究工作起步较晚,是在 1997 年 Daily^[1]和 Constanza^[2]等的著作发表后,目前已开展了以全国范围为尺度的生态系统服务功能的价值评估^[8~10]、区域性生态系统服务功能的计算^[11~15]以及生态系统单项服务价值的评估研究^[16]。在生态系统服务功能及其价值评估研究领域,生态系统服务功能的理论研究对相关价值评估工作是至关重要的,生态功能分析是价值评估的基础,然而国内这方面的研究比较薄弱^[17]。调节小气候和净化空气细菌是生态系统的基本服务功能,它们对维持城市可持续发展发挥了巨大的作用^[18~20]。但是,以生态系统服务功能价值评估为背景的调节小气候和净化空气细菌的研究较少,这两项服务功能也未被列入中国森林生态系统服务评估指标体系中^[21]。

水库生态系统主要由水体、水生生物、库岸(大坝)、库区的植被和相关建筑物五大部分构成,是一种水陆复合的生态系统。水库属于人工湖泊,天然湖泊生态系统服务功能价值评估的研究较多^[22~24],而水库生态系统服务功能价值评估的研究很少,只有李景保等^[25]对湖南省 19 座大型水库的部分服务功能价值进行了评估。本文对深圳市梅林水库和西丽水库生态系统调节小气候和净化空气细菌的服务功能进行了现场的具体研究,并对调节小气候服务功能进行了评价,为进一步丰富和完善生态系统服务功能指标体系提供依据。

1 研究区域简介

深圳市现有水库、坑塘 251 座,其中,中型水库 9 座,小型水库 182 座,小型塘坝 58 宗,蓄水总库容 56179 万 m^3 ,控制流域面积 590.9 km^2 ,占全市总面积的 29.2%。梅林水库是一座小型水库(图 1),位于深圳市福田区下梅村西北,新洲河上游,水库集雨面积 5.10 km^2 ,正常水位 46m,最低水位 32m。西丽水库(图 1)是深圳经济特区的第二供水水源,位于深圳特区西部南山区的大沙河上游,地处南山区北部山区,水库流域面积 28.6 km^2 ,正常库容 2650 万 m^3 ,水库平均深度 6.5m,最深处达 12.6m。梅林水库和西丽水库主要功能是提供饮用水,主要通过东江取水,水位受季节影响较小,常年保持较高水位,2006 年梅林水库和西丽水库水位分别为 26.50~27.83m 和 48.52~52.22m。

梅林水库和西丽水库地处华南热带季风雨林带与亚热带季风常绿林带的交接地区,植被类型相似,主要有亚热带常绿阔叶林性质的次生人工林、亚热带常绿灌丛及亚热带山坡草地等。

2 研究方法

2.1 水库小气候监测

选择温度、湿度、风速作为小气候的监测指标,并根据距离水库水体的远近和周边的环境因素在每个水库选择了 4 个监测点,1[#]监测点:水边;2[#]监测点:有植被的岸坡;3[#]监测点:大坝;4[#]监测点:水库健身场,离大坝约 300m。另外在远离水库的市区选择一个 5[#]监测点作为对照点。这 5 个监测点可以分为 3 个监测范围:水库区内(1[#]和 2[#]监测点),库区周围(4[#]监测点)和市区(5[#]监测点),其中 3[#]监测点作为库区内外的分界点。监

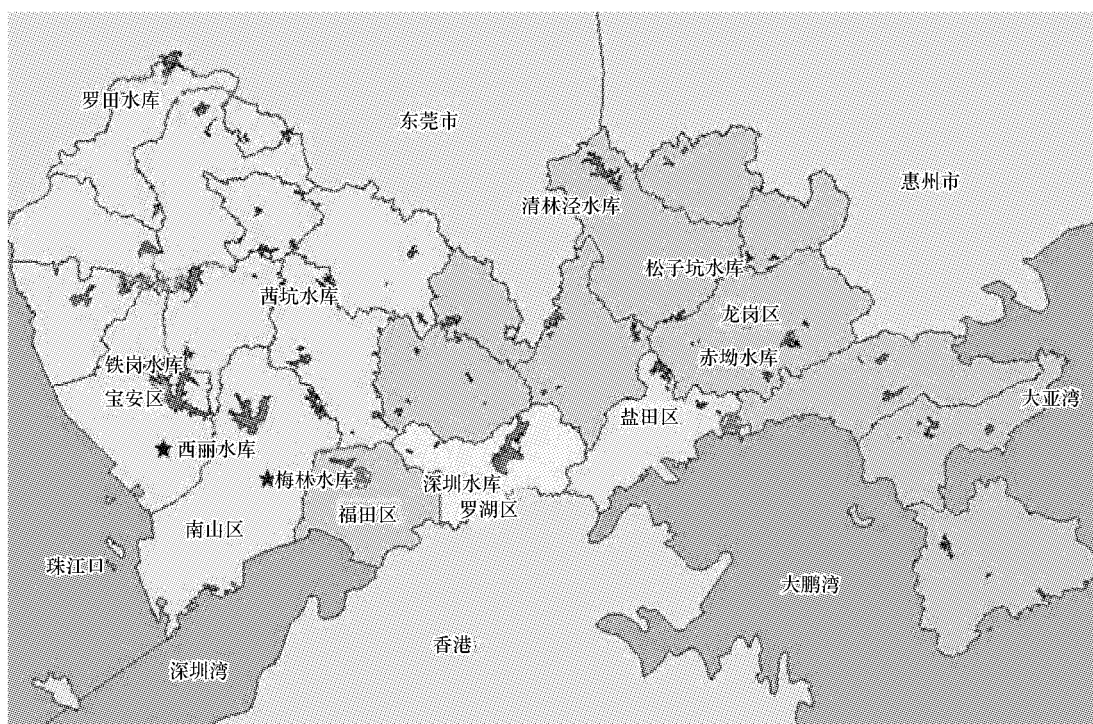


图1 深圳市水库分布

Fig. 1 Distribution of reservoirs in Shenzhen

测仪器选用 N962 型风速温湿度计(北京国星机电技术公司)。在 2006 年 3 月至 2007 年 3 月期间,每月 20 号左右连续监测 3d,每天分别在 9:00、13:00 和 16:00 监测 3 次。在距地面 1.5m 处采取同步测定的方法,测定温度、湿度和风速,为排除气象因素干扰,测定时间均安排在晴朗、静风的天气进行。

2.2 空气细菌监测

空气中细菌的监测采用自然沉降法,与小气候监测同步进行,采样高度为人群呼吸带,距离地面 1.5m 处,每次 3 个重复,采样时间为 5min。采样用直径 9cm 的玻璃平皿,灭菌后在无菌条件下加入 20ml 的牛肉膏蛋白胨培养基,采集的样品带回实验室在 37℃ 下培养 3d,然后进行菌落数(cfu)记数,单位为 cfu/皿·5min。

2.3 数据处理

采用 SPSS 统计软件计算各个指标的平均值和标准差,采用 Student-Newman-Keuls 多项比较法检验差异的显著性。

3 结果与分析

3.1 小气候

3.1.1 温度

(1) 整个实验期水库各监测点的平均温度

整个实验期梅林水库和西丽水库各监测点的平均气温结果分别见图 2(A)和图 3(A)。结果表明两水库不同监测点的平均温度均呈现监测点 1 < 监测点 2 < 监测点 3 < 监测点 4 < 监测点 5 的变化规律,表明库区内(监测点 1 和 2)温度 < 库区周围(监测点 4)温度 < 市区温度。另外,监测数据统计结果表明:梅林水库库区内最高、最低温度分别为 38.3℃ 和 13.05℃,变化范围为 25.25℃,西丽水库库区内的最高、最低温度分别为 36.55℃ 和 11.50℃,变化范围为 25.05℃,而对照点深圳市区的最高、最低温度分别为 40.65℃ 和 11.40℃,变化范围为 29.25℃,可见库区内的最高温度较对照点低,最低温度较对照点高,温度变化范围小于对照点,水库具有调节温度的作用。

(2) 不同季度水库各监测点的平均温度

不同季度梅林水库和西丽水库各监测点的平均气温结果分别见图 2(B) 和图 3(B)。结果表明在四个季度中,各监测点的平均温度变化均呈现对照点 > 库区周边 > 库区内的趋势,说明离水体越近温度越低。另外,统计结果表明,在夏季对照点平均温度和最高温度分别为 34.48℃ 和 40.65℃,梅林水库库区内的平均温度和最高温度分别为 32.89℃ 和 38.3℃,比对照点分别降低 1.59℃ 和 2.35℃;西丽水库库区内的平均温度和最高温度分别为 31.92℃ 和 36.55℃,比对照点分别降低 2.56℃ 和 4.1℃。由此可见,在炎热的夏季,库区内的平均温度和最高温度均比市区的低,因此库区内要比市区凉爽。

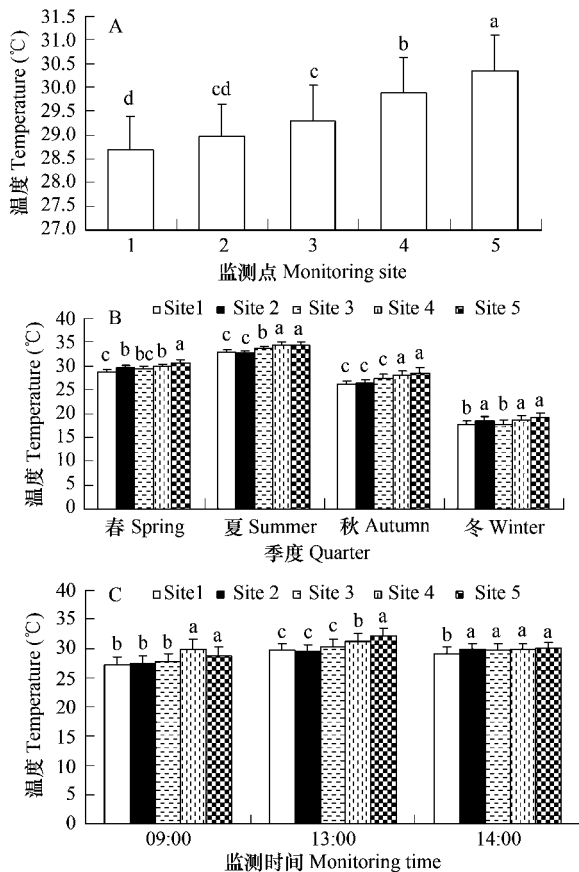


图2 梅林水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均温度

Fig. 2 Average temperature in Meilin Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C)

同一季节或监测时间不同字母表示在 5% 水平上有差异显著性

The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $p=0.05$ level

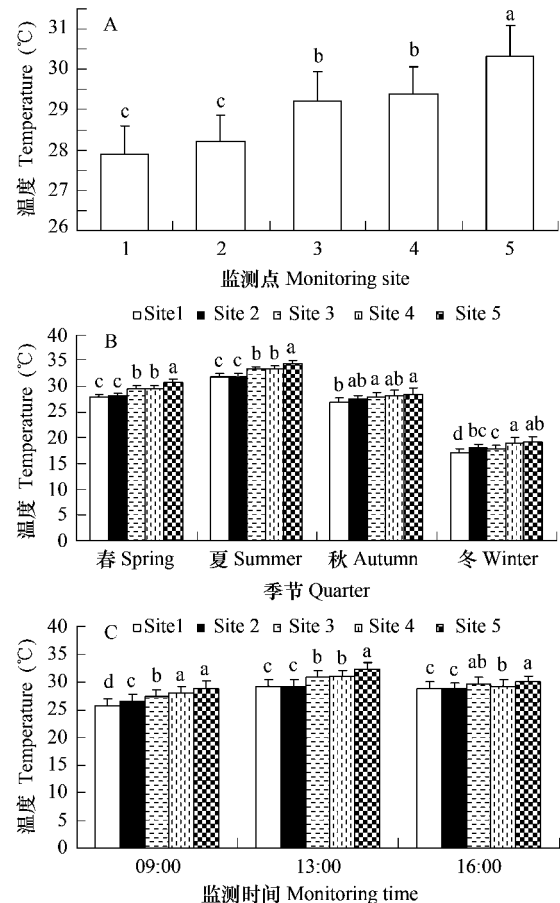


图3 西丽水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均温度

Fig. 3 Average temperature in Xili Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C)

同一季节或监测时间不同字母表示在 5% 水平上有差异显著性

The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $p=0.05$ level

(3) 不同时间水库各监测点的平均温度

不同时间梅林水库和西丽水库各监测点的平均气温结果分别见图 2(C) 和图 3(C)。结果表明在 3 个监测时间,库区内的平均温度均低于对照点,且差异显著($P<0.05$)。其中,9:00、13:00 和 16:00 梅林水库区内和西丽水库区内的平均温度比对照点分别低 1.3℃ 和 2.54℃、2.66℃ 和 3.08℃、0.59℃ 和 1.23℃。

3.1.2 湿度

(1) 整个实验期水库各监测点的平均相对湿度

整个实验期梅林水库和西丽水库各监测点的平均相对湿度结果分别见图 4(A) 和图 5(A)。结果表明:

两水库库区内监测点的相对湿度较大,大坝上和水库周边健身场的相对湿度较小,而对照点市区的相对湿度最小,水库对空气湿度具有调节作用,而且随着离水库区内水体距离的增加,调节作用就越小,相对湿度也越低。

(2) 不同季度水库各监测点的平均相对湿度

不同季度梅林水库和西丽水库各监测点的平均相对湿度结果分别见图 4(B) 和图 5(B)。结果表明在四个季节库区内监测点的平均相对湿度均要高于对照点,且差异显著($P < 0.05$)。其中,在冬季对照点、梅林水库内和西丽水库内的平均相对湿度分别为 40.89%、46.9% 和 48.27%,水库对湿度的调节作用尤为显著。而在干燥的冬季,库区内相对较大的空气湿度会让人感到更为舒服。

(3) 不同时间水库各监测点的平均相对湿度

不同时间梅林水库和西丽水库各监测点的平均相对湿度结果分别见图 4(C) 和图 5(C)。结果表明,在 3 个监测时间,库区内平均相对湿度与对照点之间均具有显著差异。其中,上午、中午、下午梅林水库区内和西丽水库内的平均相对湿度分别比对照点高 5.70% 和 8.26%、7.42% 和 8.61%、4.16% 和 6.42%,说明水库在不同时间对相对湿度调节作用的大小为中午 > 上午 > 下午。

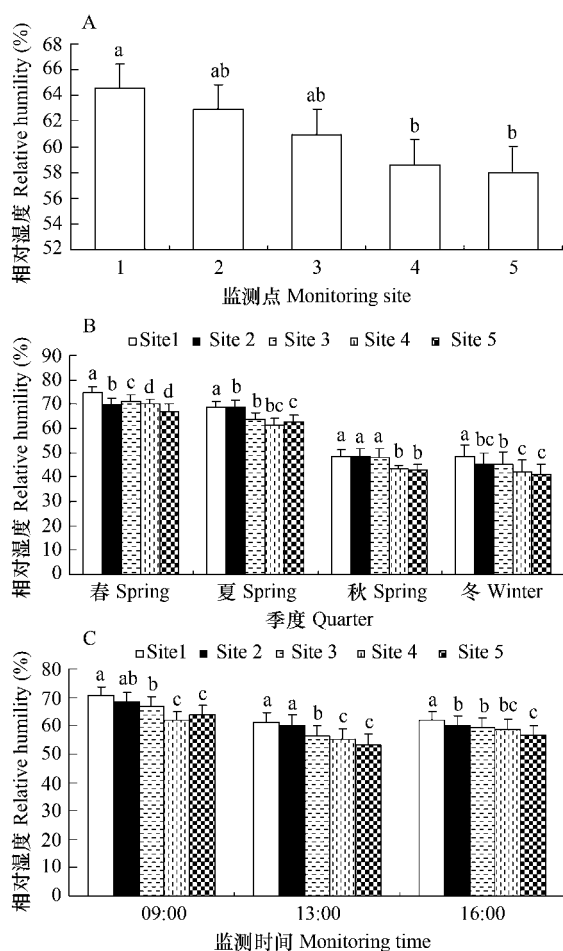


图4 梅林水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均相对湿度

Fig. 4 Average relative humidity in Meilin Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C) 同一季节或监测时间不同字母表示在 5% 水平上有差异显著性 The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $P = 0.05$ level

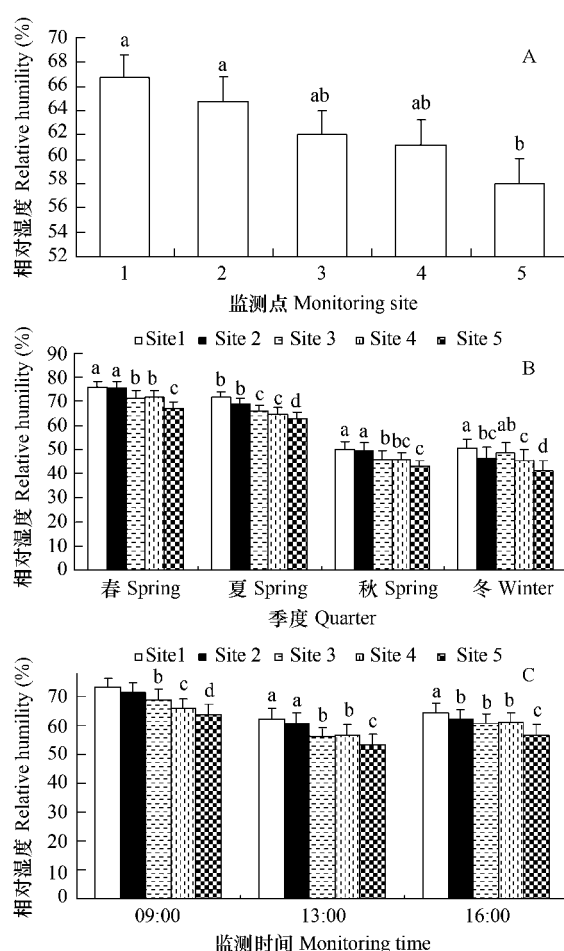


图5 西丽水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均相对湿度

Fig. 5 Average relative humidity in Xili Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C) 同一季节或监测时间不同字母表示在 5% 水平上有差异显著性 The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $P = 0.05$ level

3.1.3 风速

整个实验期梅林水库和西丽水库各监测点的平均风速结果分别见图 6(A) 和图 6(B)。结果表明,大坝上的风速最大,且与其余各个监测点之间都具有差异显著性。从分析结果得出,对照点市区、梅林水库内和西丽水库内监测期间的风速平均值、最大值和最小值分别为 0.52 、 $1.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0.69 、 $2.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 0.63 、 $2.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。可见库区内的风速较市区大,所以水库对风速具有一定的调节作用。

3.2 空气细菌数量分析

(1) 整个实验期水库各监测点空气中细菌平均数量

整个实验期梅林水库和西丽水库各监测点的空气细菌平均数量结果分别见图 7(A) 和图 8(A)。结果表明,库区内和库区周围各监测点空气中细菌数量明显低于对照点市区。梅林水库内、西丽水库内和市区空气中细菌数量($\text{cfu}/\text{皿}\cdot 5\text{min}$)的最大值、最小值和平均值分别为 32、1 和 9, 45、0 和 10, 344、12 和 107, 说明水库生态系统对空气细菌有显著的净化作用。

(2) 不同季度水库各监测点空气中细菌平均数量

不同季度梅林水库和西丽水库各监测点的空气细菌平均数量结果分别见图 7(B) 和图 8(B)。结果表明,空气细菌的平均数量呈现库区内 < 库区周围 < 对照点的趋势。另外,从图中可以看出,对照点市区细菌数量春季最多,夏季次之,秋季再次之,冬季最少,而库区内则夏季的细菌数量最少。

(3) 不同时间水库各监测点空气中细菌平均数量

不同时间梅林水库和西丽水库各监测点的空气细菌平均数量结果分别见图 7(C) 和图 8(C)。结果表明每个监测时间,均为对照点空气中细菌的平均含量最高,且对照点与各监测点之间均具有差异显著性。上午,中午和下午对照点、梅林水库内和西丽水库内平均细菌数量($\text{cfu}/\text{皿}\cdot 5\text{min}$)分别为 92、10 和 10, 99、7 和 8, 130、9 和 13。另外,从图中可以看出,对照点下午细菌的平均数量最高,中午次之,上午最低;而库区中午细菌的平均数量低于上午和下午。

3.3 调节小气候价值评估

本研究测定了水库调节温度、湿度和风速的作用,但由于评价方法的局限,本文只估算水库调节气温的服务价值。水库生态系统调节温度的服务功能主要表现为夏季的降温作用,其服务价值估算方法如下:

水库生态系统好象一个巨大的空调房,其温度调节作用降低了城市运转空调来调节室内温度的电能。已知 1.5 匹的普通空调的制冷面积为 18m^2 ,房子的高度按 3m 计算,则一台 1.5 匹的普通空调的制冷空间为 $18 \times 3 = 54\text{m}^3$ 。测得梅林水库植被的平均高度为 5m,西丽水库为 7m。植被调节温度的总容量 = 植被的平均高度 $\times$ 植被的面积,假设 30% 的总容量可被转化利用。

本实验可计算出水库夏季对温度调节作用,已知一台 1.5 匹的空调降低 1°C , 1h 内耗电 0.06 度,一天按 24h 计,深圳市生活用电价格为 0.65 元/度,以夏季的 7、8、9 月 3 个月份来计算,每个月按 30d,共 90d。经计算梅林水库和西丽水库生态系统调节小气候的价值分别为 $1249.13 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $5441.83 \text{ 万元}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

4 讨论

4.1 水库生态系统调节小气候及净化空气细菌的服务功能

调节小气候和净化空气细菌是生态系统的基本服务功能,对维持城市可持续发展发挥了巨大的作

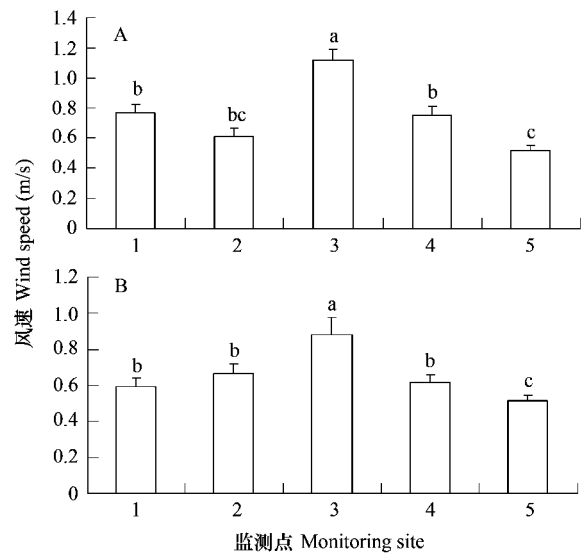


图 6 梅林水库(A)和西丽水库(B)各监测点的平均风速
Fig. 6 Average wind speed in Meilin Reservoir (A) and Xili Reservoir (B)
不同字母表示在 5% 水平上有差异显著性 The different letter indicated significant difference at $P=0.05$ level

用^[18~20]。梅林水库和西丽水库位于深圳市区,是深圳城市生态系统的重要组成部分,水库生态系统小气候调节作用可为城市居民提供更舒适的生活和工作环境,空气细菌净化作用可为人们提供更加新鲜而健康的空气。

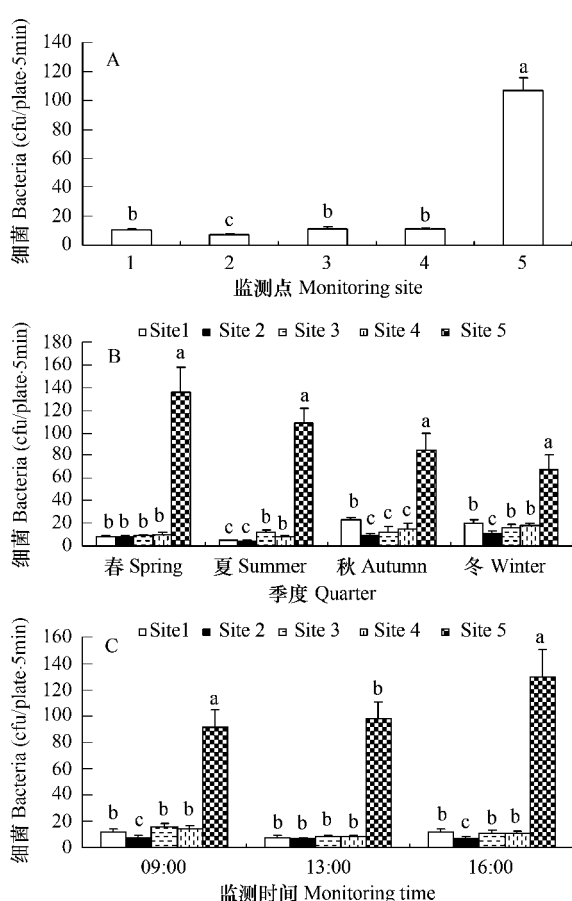


图7 梅林水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均细菌数量

Fig. 7 Average bacteria amount in Meilin Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C)

同一季节或监测时间不同字母表示在5%水平上有差异显著性

The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $P=0.05$ level

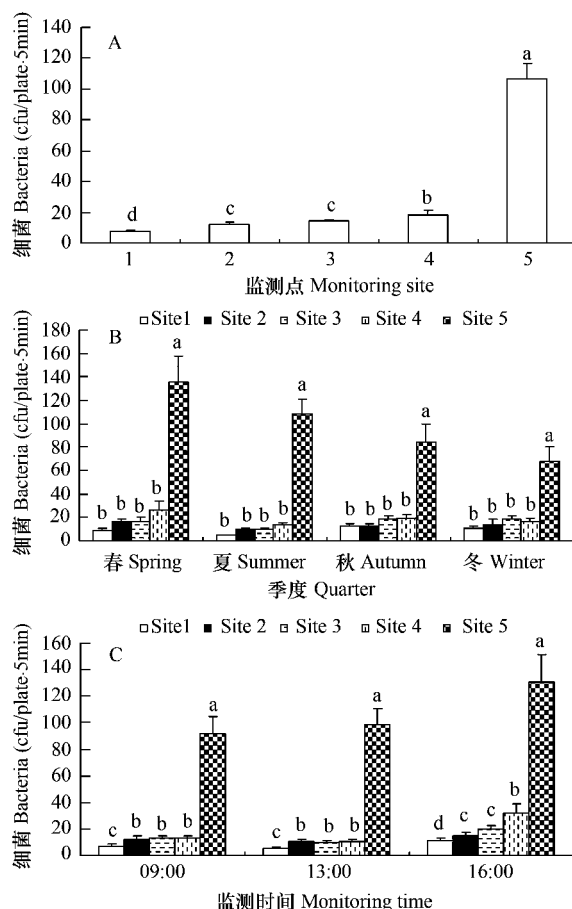


图8 西丽水库整个实验期(A)、不同季度(B)和不同时间(C)各监测点的平均细菌数量

Fig. 8 Average bacteria amount in Xili Reservoir at whole experimental period(A), different quarter(B) and different time(C)

同一季节或监测时间不同字母表示在5%水平上有差异显著性

The different letter at same quarter /monitoring time indicated significant difference at $P=0.05$ level

实验结果表明库区与市区相比,温度降低、相对湿度和风速增加,水库生态系统具有降温、增湿和提高风速的效应。一方面水库的水体吸收并储蓄热量,而且水体中水分的蒸发也要消耗热量,另一方面库区植被的覆盖可以减少太阳辐射;相比之下,城市地面直接接收太阳辐射,使热量不断地向近地面大气中辐射,使气温持续上升。此外,由于水体的比热是陆地的两倍,所以水体吸收热量和放出热量的速度比较慢,相对而言,城市地面吸热和放热均比较迅速,所以库区内温度的变化范围没有对照点市区大。与市区硬实裸露的水泥地面相比,库区水体中水分蒸发及植被蒸腾作用都会使湿度增加。另外,水库蓄水后,平滑的水面代替了起伏不平的陆面,粗糙率变小,所以库区内风速常大于市区。

空气细菌是城市生态系统重要的生物组成部分,与城市空气污染、城市环境质量和人体健康密切相关,空气中细菌浓度过高会导致各种疾病的发生^[29]。城市空气中微生物状况是城市环境综合因素的集中体现,是评价城市空气环境质量的重要指标之一^[30]。空气含菌量受多种因素的影响,如气候条件、尘埃颗粒的粒

径、人为活动强度、土壤、化学污染物质、地面植被等,其中植物通过滞尘作用减少空气细菌数量或通过茎、叶分泌物杀死细菌对空气含菌量的影响很大^[31,32]。监测结果显示库区内空气中细菌的含量要比对照点市区少很多,表明水库生态系统具有较强的净化空气细菌的服务功能,这与水库生态系统的小气候调节作用以及库区的植被密切相关。

水库的形状、大小、水位、库容及周边植被等对水库生态系统调节小气候与净化空气细菌的服务功能与价值有深刻的影响,有待今后进一步探讨。

4.2 水库生态系统服务功能价值评估

韩慧丽^①等初步评价了水库生态系统服务功能的价值,结果表明梅林水库生态系统服务功能的总价值为 6147.13 万元·a⁻¹,主要为间接价值,西丽水库生态系统服务功能总价值为 50265.83 万元·a⁻¹,主要为直接的供水价值。水库生态系统服务功能价值评估研究很少,仅有李景保等^[25]对湖南省 19 座大型水库的供水、发电、水产养殖、灌溉、调蓄洪水和土壤持留进行了价值评估。另外,以生态系统服务功能价值评估为背景的调节小气候和净化空气细菌的研究较少,这些服务评估指标目前尚难以在全国范围上找到合适的评估方法及指标体系,它们未被列入生态系统服务评估指标体系中^[21]。但是,梅林水库和西丽水库地处深圳市区,研究结果表明水库生态系统调节小气候和净化空气细菌作用非常明显,有必要进行价值评估。生态系统对温湿度、风速的调节,改善了小气候,如果位于农业区域,可通过计算由此带来的农牧业净增产的效益即为改善小气候效益^[33]。本研究是通过梅林水库和西丽水库夏天的降温作用,降低了城市运转空调来调节室内温度的电能来体现水库生态系统调节小气候的经济价值。由于目前国内外均未有人能用“替代市场法”找到生态系统净化细菌服务功能的货币转换参数,即净化一定单位的细菌数折合成某种商品等于多少元,本文未能计算净化细菌的服务价值,有待今后进一步研究。

本文以生态系统服务功能价值评估为背景研究水库生态系统调节小气候和净化空气细菌的服务功能,在国内尚属首次,可进一步丰富生态系统服务功能评估指标体系。

5 结论

(1) 水库生态系统具有明显的调节小气候功能,主要表现在降温、增湿和增大风速三方面。库区的温度和相对湿度的变化范围均小于对照点市区。在炎热的夏季,库区内温度比市区温度要低,而在干燥的冬季,库区内湿度又较市区湿度大,库区内的小气候让人感到更为舒适。

(2) 水库生态系统具有明显的净化空气细菌的功能,库区内空气细菌含量远远小于对照点市区。

(3) 初步估算,梅林水库和西丽水库在炎热夏天的降温作用所提供的服务价值分别为 1249.13×10^4 元·a⁻¹ 和 5441.83×10^4 元·a⁻¹。

References:

- [1] Daily G C. Nature's Services; Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C; Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, d'Arge R, Rudolf de Groot, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253—260.
- [3] Farber S C, Costanza R, Wilson M A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 2002, 41: 375—392.
- [4] Geber U, Björklund J. The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment systems — A case study. *Ecological Engineering*, 2002, 19: 97—117.
- [5] Howarth R B, Farber S. Accounting for the value of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2002, 41: 421—429.
- [6] Holmes T P, Bergstrom J C, Huszar E, *et al.* Contingent valuation, net marginal benefits, and the scale of riparian ecosystem restoration. *Ecological Economics*, 2004, 49: 19—30.
- [7] Rudolf S, de Groot, Matthew A, *et al.* A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41: 393—408.

① 韩慧丽. 深圳市水库生态系统服务及其价值评估——以梅林水库和西丽水库为例. 华南师范大学硕士毕业论文, 2007.1~5.

- [8] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607—613.
- [9] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Wang X K, *et al.* Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(4): 443—452.
- [10] Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, *et al.* Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 47—53.
- [11] Yu X X, Qin Y S, Chen L H, *et al.* The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 783—786.
- [12] Zhang W G, Hu Y M, Zhang J, *et al.* Assessment of land use change and potential eco-service value in the upper reaches of Minjiang River, China. *Journal of Forestry Research*, 2007, 18(2): 97—102.
- [13] Liu M C, Li D Q, Wen Y M, *et al.* The ecological function analysis and evaluation of ecosystem in Sanjiangyuan region. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(9): 1280—1286.
- [14] Li X D, Chen S H, Chen Y Q, *et al.* Evaluation of the multi-cropping ecosystem services under conservation tillage paddy field in Sichuan basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3782—3788.
- [15] Min Q W, Liu S D, Yang X. Evaluation of the ecosystem services of the Inner Mongolia Steppe. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(3): 165—175.
- [16] Shi X Q, Zhao J Z, Wu G, *et al.* Purifying service of ecosystem and its value. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 908—912.
- [17] Zhao J, Yang K. Valuation of ecosystem services: characteristics, issues and prospects. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 0346—0356.
- [18] Qin Y M, Liu K, Wang Y J. Ecological functions of green land system in Xi'an. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(2): 135—139.
- [19] Zhu N, Li M, Chai Y X. Ecological functions of green land system in Harbin. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1117—1120.
- [20] Li W H, Chen Z H. Effect of green land on air quality in Xiaolan town, Zhongshan city. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(4): 362—366.
- [21] Jin F, Lu S W, Yu X X, *et al.* Preliminary study on evaluation index system of forest ecosystem services in China. *Science of Soil and Water Conservation*, 2005, 3(2): 5—9.
- [22] Zhang X F, Liu Z W, Xie Y F, *et al.* Evaluation on the changes of ecosystem service of urban lakes during the degradation process: a case study of Xiannti Lake in Zhaoqing, Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2349—2354.
- [23] Pan W B, Tang T, Deng H B, *et al.* Lake ecosystem services and their ecological valuation a case study of Bao an Lake in Hubei Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1315—1318.
- [24] Cui L J. Evaluation on functions of Poyang Lake ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 47—51.
- [25] Li J B, Liu C P, Wang K L, *et al.* Estimation of economic value of large reservoirs ecosystem services in Hunan Province. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(2): 163—166.
- [26] Editorial committee of state report on biodiversity of China committee. State report on biodiversity of China. Beijing: Environmental Science Press, 1998.
- [27] Zhu S W, Zhang L, Sun C L. Evaluation of scenic forest resource value and compensation for ecological and economic benefits in Badaling forest center. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003(25): 71—74.
- [28] Chen G Q, Kang X G. Valuation of eco-benefit value and adjustment in Wudaohe Forest Farm. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(3): 56—59.
- [29] Lacey J, Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. *Journal of Aerosol Science*, 1994, 25(8): 1371—1404.
- [30] Wright J, Greene V, Paulus H. Viable microorganisms in an urban atmosphere. *Journal of Air Pollution Control Associate*, 1969, 19: 337—339.
- [31] Qi J Z. A preliminary approach to gardening plants to clean the atmosphere from bacteria. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2000, 8: 36—38.
- [32] Li H J, Qi J Z. Development of research on bacteriostasis of plant in air. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2004, 28(6): 91—94.
- [33] Lang K J, Li C S, Yin Y, *et al.* The measurement theory and method of 10 forest ecological benefits for forestry ecological engineering, *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, 28(1): 1—7.

参考文献:

- [8] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607~613.
- [9] 赵同谦, 欧阳志云, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 443~452.
- [10] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47~53.
- [11] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究. *生态学报*, 2002, 22(5): 783~786.

- [13] 刘敏超,李迪强,温琰茂,等. 三江源地区生态系统生态功能分析及其价值评估. 环境科学学报,2005,25(9):1280~1286.
- [14] 李向东,陈尚洪,陈源泉,等. 四川盆地稻田多熟高效保护性耕作模式的生态系统服务价值评估. 生态学报,2006,26(11):3782~3788.
- [15] 闵庆东,刘寿东,杨霞. 内蒙古典型草原生态系统服务功能价值评估研究. 草地学报,2004,12(3):165~175.
- [16] 施晓清,赵景柱,吴钢,等. 生态系统的净化服务及其价值研究. 应用生态学报,2001,12(6):908~912.
- [17] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展. 生态学报,2007,27(1):0346~0356.
- [18] 秦耀民,刘康,王永军. 西安城市绿地生态功能研究. 生态学杂志,2006,25(2):135~139.
- [19] 祝宁,李敏,柴一新. 哈尔滨市绿地系统生态功能分析. 应用生态学报,2002,13(9):1117~1120.
- [20] 李伟华,陈章和. 城镇绿地对空气质量的影响——以中山市小榄镇为例. 应用与环境生物学报,2003,9(4):362~366.
- [21] 靳芳,鲁绍伟,余新晓,等. 中国森林生态系统服务价值评估指标体系初探. 中国水土保持科学,2005,3(2):5~9.
- [22] 张修峰,刘正文,谢贻发,等. 城市湖泊退化过程中水生态系统服务功能价值演变评估——以肇庆仙女湖为例. 生态学报,2007,27(6):2349~2354.
- [23] 潘文斌,唐涛,邓红兵,等. 湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例. 应用生态学报,2002,13(10):1315~1318.
- [24] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究. 生态学杂志,2004,23(4):47~51.
- [25] 李景保,刘春平,王克林,等. 湖南省大型水库服务功能的经济价值评估. 水土保持学报,2005,19(2):163~166.
- [26] 中国生物多样性国情研究报告编写组编. 中国生物多样性国情研究报告. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [27] 朱绍文,张立,孙春林. 八达岭林场森林资源价值评估及生态效益经济补偿的初步探讨. 北京林业大学学报,2003(25):71~74.
- [28] 陈光清,亢新刚. 五道河林场森林生态效益价值评估及调整. 北京林业大学学报,2001,23(3):56~59.
- [31] 戚继忠. 园林植物清除细菌能力的研究. 城市环境与城市生态,2000,8:36~38.
- [32] 李华娟,戚继忠. 植物抑制空气中细菌作用的研究进展. 南京林业大学学报,2004,28(6):91~94.
- [33] 郎奎建,李长胜,殷有,等. 林业生态工程10种森林生态效益计量理论和方法. 东北林业大学学报,2000,28(1):1~7.