

城市森林绿地和环境质量 定量评价的研究*

孙翠玲 李重和 顾万春

(中国林业科学研究院林业研究所)

摘要 本文以国家统计局公开发表的资料为基础, 选用全国11个大城市的有关16个因子进行评价分析。用标准复回归方法量定各因素对环境的影响, 并采用聚类分析和主成分分析方法, 以验证定量评定的可信性, 其结果与环境评价模型基本一致。

关键词 城市环境效应值; 环境质量定量评价; 绿化综合指数; 污染综合指数

城市森林绿地环境效益是森林综合效益的重要组成部分, 也是城市生态的主要研究内容之一。近年来, 国外十分重视城市环境质量的评价和环境规划, 日本、美国、英国、捷克和斯洛伐克等国分别提出城市环境的评价与规划标准或模式。英国 R. F. Reekie 提出, 根据环境调查、监测与环境评价以筛选出环境问题, 对不同环境问题, 用规划的方法解决^[1]; 美国的 Donald May 提出, 根据目前环境质量与经济发展带来的可能影响, 作出分析预测^[2], 进行环境规划, 解决今后的环境问题。但是, 各种提法的基础都建筑在目前环境评价之上。

从整体来看, 城市间可比性较小, 城市内因子评价难度较大。因此, 目前城市森林绿地环境多在绿地面积、绿地率、人均绿地、乔林绿地等项目上评比, 几乎说不清楚森林绿地在城市中的定量效能究竟如何^[1]。

本文摆脱人们常用的城市森林绿地环境效益评价方法, 对全国11个大城市30个环境因子进行系统分析, 用标准复回归方法量定各因素对环境的影响, 并用城市污染综合指数与绿化综合指数参加评定。在城市环境质量衡量标准方面, 采用两个指数的同时, 将人口自然死亡率、呼吸病发病率和癌病发生率等健康状况指标作为直接评定标准。在城市生态质量评定时, 采用聚类分析和主成分分析方法^[3, 4], 验证定量评定的可信性。

1 用于评价的城市与生态环境因子的选择

城市生态环境涉及面很广, 机理十分复杂, 存在着多因素多层次的交互作用。不同经济基础与发展模型、不同的环境背景、人群体特征、环境指标与质量都可能存在不同的环境效果。本研究从实际出发, 以国家统计局或公开发表的资料为基础, 地方部门数据做补充, 使用全国观测比较完整的1978~1983年生态环境数据, 在众多的环境因素中参照已有分析资料而选用主导因素, 力求简化分析过程使其更接近于实际。

本文于1990年10月16日收到。

*本文为《2000年中国森林发展与环境效益预测的研究》项目的一部分, 课题负责人蒋有绪先生。

1.1 用于评价的城市

在全国一百多个大中城市中,根据地理位置、绿化水平、环境污染状况、社会人文、城市类型、经济地位和已有资料完整程度等,选择出长春、沈阳、天津、北京、郑州、武汉、成都、重庆、南京、上海、广州等11个城市为代表,进行城市森林绿地环境质量评定。

被选用的11个大城市,在地理分布上代表了全国大部分地区。这些城市虽然在城市性质上存在差异,但都是“大而全”,都有大城市的属性。大城市人口多,是遗传组成的杂合群体。当然也存在地理差异,但比中小城市的社会人文的可比性要大得多。而且,这11个大城市的生态环境因子数据可靠性较高。

1.2 调查资料与因子筛选

1.2.1 社会人文经济情况 ①人口与人口组成,②城市面积,③建筑面积,④住房面积,⑤人均住房面积,⑥工业产值,⑦人均工业产值,⑧燃料消耗量。

1.2.2 地理、气象因子^[6] ⑨地理坐标,⑩海拔,⑪地形,⑫气温,⑬1月均温,⑭7月均温,⑮湿度与干燥度,⑯风。

1.2.3 森林绿地状况 ⑰绿地面积,⑱绿地覆被率,⑲乔林绿地率,⑳人均绿地面积。

1.2.4 城市大气污染状况^[4] ㉑SO₂含量,㉒NO_x含量,㉓降尘量,㉔颗粒物含量。

1.2.5 居民健康状况 ㉕门诊人数及比率,㉖呼吸道发病率,㉗癌病率,㉘人口自然死亡率。

1.2.6 环保投资 ㉙“三废”治理投资,㉚绿地建设投资。

根据对环境质量评价的重要程度,对上述30个因子,用逐步回归方法选出14个对人健康影响较大的因子(表1),同时将绿地与污染两项分别综合表达成绿化综合指数(Q)与污染综合指数(P)两个因子,共16个因子用于评价分析。

表1 全国11个城市16项指标三年均值统计

城市名	纬度(N°)	7月均温(°C)	人口(万人)	工业总产值(亿元)	人均产值(万元/万人)	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	颗粒物(mg/m ³)	降尘(t/km ² ·月)	污染综合指数P	自然死亡率(‰)	呼吸病比例(‰)	癌症比例(‰)	绿地覆被率(%)	人均绿地面积(m ² /人)	绿化综合指数Q
北京	40.0	26.0	532	222	0.4173	0.12	0.06	0.87	26.1	4.86	5.32	7.13	17.06	20.8	5.1	2.23
上海	31.7	27.9	614	580	0.9446	0.11	0.17	0.30	31.8	4.08	6.72	11.10	26.70	7.7	0.5	0.50
天津	38.5	25.9	347	200	0.5764	0.20	0.08	0.66	50.0	5.38	5.81	5.28	16.98	8.1	1.5	1.40
长春	43.9	21.5	131	36	0.2748	0.04	0.05	0.45	53.1	3.44	4.96	5.50	19.85	24.6	23.7	6.60
沈阳	42.1	24.6	282	100	0.3546	0.14	0.08	0.79	49.4	5.36	4.96	5.77	22.03	11.2	2.5	1.20
南京	32.3	28.2	169	71	0.4201	0.06	0.07	0.24	24.2	2.42	7.27	12.86	21.72	30.0	3.5	2.40
重庆	29.3	28.3	190	68	0.3579	0.42	0.07	0.71	181.4	9.80	10.44	8.05	22.50	14.3	0.8	0.90
广州	23.4	28.3	234	92	0.3932	0.08	0.04	0.27	15.7	2.14	5.63	12.88	20.55	25.5	6.5	2.80
成都	30.8	25.8	124	47	0.3790	0.11	0.24	0.24	11.9	3.36	5.80	7.33	15.38	10.2	1.0	0.80
郑州	34.8	27.4	86	32	0.3721	0.08	0.43	0.43	41.3	3.45	(缺)	(缺)	(缺)	32.4	2.2	2.20
武汉	31.0	29.0	264	103	0.3902	0.05	0.36	0.36	23.6	6.51	6.35	6.96	18.77	22.8	1.8	1.60
平均值										4.1636	6.3263			18.873	4.464	2.0573
标准差										2.2210	1.6239			8.936	6.644	1.6756

1.3 两个指数的计算

1.3.1 绿化综合指数(Q)

$$Q = \sum_{i=1}^t \frac{D_i}{M_i}$$

式中 D_i 是 i 个绿化指标观测值, $i=1, 2, \dots, t$ 。本分析 $t=2$, 即城市绿化覆被率 (D_1), 人均绿地面积 (D_2)。 M_i 是指绿化指标的经验值, 本分析暂用11个城市均值表达。绿化综合指数 Q 值, 凡在2.0以上者为良好, 在2.0以下者为差。

1.3.2 环境污染综合指数 (P)

$$P = \sum_{i=1}^r \frac{C_i}{S_i}$$

式中 C_i 是 i 个大气污染项目实测值, $i=1, 2, \dots, r$ 。本文 $r=4$ 。 S_i 是 i 种污染项目国家颁发环境质量的指标。环境污染综合指数 P 值, 凡大于4.0为超标。

2 城市森林绿地环境定量评价

根据已有数据分析和他人资料^[1,2], 反映城市生态环境质量以及城市森林绿地质量的重要标志是城市人口的平均健康状况, 而在健康状况诸标志中城市人口自然死亡率是主要体现因子。根据这一结论把生态环境的直接反映标志定为城市人口自然死亡率, 建立因果数学关系^[3]。

2.1 影响生态环境质量的大环境因子和城市内环境因子

影响生态环境质量的大环境因子: 城市坐标纬度(北纬 x_1), 7月份平均气温(x_2); 城市内环境因子: 污染综合指数(x_3), 绿化综合指数(x_4)等4个。自变量数据标准化, 再与城市人口自然死亡率标准化数据(y')建立标准化复回归关系, 得到:

$$y' = -0.9557 x_1' + 1.8697 x_2' + 0.7368 x_3' - 0.6991 x_4' \dots \dots (\text{模型 I})$$

模型 I 中, 各变量复回归系数意味着自变量对应变量的贡献程度, 复回归系数前正负号表示与应变量作用的方向。趋势是: 纬度越低, 7月份温度越高, 污染指数越高, 绿化指数越低, 人口自然死亡率越高。而且, 大环境因子的作用是主要的, x_1 与 x_2 标准回归系数的绝对值和为2.8254, 占总贡献66%。城市内环境因子贡献较小, x_3 与 x_4 的标准回归系数绝对值和达1.4539, 占总贡献34%。即宏观上影响城市人体健康的大环境因子主要是地理位置和气候因子, 而气候因子更重要。污染与绿化建设是第二位的因子, 而污染比绿化的作用更大些。

为了验证模型 I 的正确性, 将人均绿地面积(x_1)、绿地覆被率(x_2)、绿地总面积(x_3)、工业总产值(x_4)、 SO_2 浓度(x_5)、颗粒物含量(x_6)、呼吸病发病率(x_7)与人口自然死亡率(y)建立复回归方程式:

$$y = 4.15303 - 0.00045 x_1 - 0.10490 x_2 - 0.06437 x_3 - 0.00004 x_4 + 0.68853 x_5 + 0.30422 x_6 + 0.18947 x_7$$

偏相关系数: $-0.45983, -0.49733, -0.49952, -0.00814, +0.36175, +0.12336, +0.48991$ 。复相关系数: $R=0.78343$ 。分析结果与模型 I 基本一致。

2.2 城市内环境因子对人体健康影响程度

在模型 I 中影响城市环境内部因子的污染综合指数与绿化综合指数相对重要性相似, 前者略大些, 方向相反。单独比较这两个变量对人口自然死亡率的影响又将如何? 将污染综合

指数(x_1)、绿化综合指数(x_2)与人口自然死亡率(y)建立标准化复回归方程:

$$y' = 0.55985 x_1' - 0.22046 x_2' \dots \dots (\text{模型 II})$$

结果表明, 影响城市内环境质量程度, 环境污染占 7 成, 绿地占 3 成。再将污染综合指数(x_1)、绿化综合指数(x_2)、人均工业总产值(x_3)与人口自然死亡率(y)建立标准复回归方程:

$$y' = 0.58985 x_1' - 0.24336 x_2' + 0.12703 x_3' \dots \dots (\text{模型 III})$$

考虑到工业化程度所得到的模型 III 与模型 II 大体一致。很显然, 污染综合指数的相对重要性约占 7 成与绿化综合指数约占 3 成这个比值, 是在地理与气象因子影响之下, 还未考虑地区性疾病和遗传等方面因子, 是有条件的估算值。

2.3 评价模型的建立(根据城市内主要环境因子)

利用模型 II 对全国 11 个城市环境效应定量评定, 其公式:

$$GA = \sum_{i=1}^2 W_i \cdot \frac{x_i - \bar{x}_i}{S_i} \dots \dots (\text{模型 IV})$$

式中 GA ——城市环境质量评价数值, 负值为优, 零为合格, 正值越大环境质量越差(表 2)。 W_i —— i 个变量的权重值, 本文 $i=1, 2$ 。 W_1 为污染综合指数权重, W_2 为绿化综合指数权重, $W_i = b_i'$ (标准化复回归系数), x_1 为污染指数变量, x_2 为绿化指数变量, S_i 为标准差。计算结果见表 2。11 个城市 GA 值在 $-0.80600 \sim 1.58001$, 平均值为 0.00535 , 标准误($S\bar{a}$)约等于 0.3 。依据标准误与均值分为: -0.5 以下, $-0.5 \sim -0.15$, $-0.15 \sim 0.15$, $0.15 \sim 0.5$, 0.5 以上, 共分 5 级。I 级是长春、广州; II 级是南京、武汉、成都、郑州; III 级是北京; IV 级是上海、沈阳; V 级是重庆。

表 2 与表 1 数值对比看来, 我国的三大火炉重庆、武汉和南京人口自然死亡率都高。重庆环境质量最差, 容易解释, 而武汉与南京, 还有上海等长江中下游城市除受夏季高温影响之外, 是否是流域污染严重所致? 留待进一步研究。

表 2 我国 11 个大城市环境效应定量评定

城市名	城市环境效应值 (GA)	城市环境效应等级与等级值			
		等级	评语		GA 值区间
			污 染	绿 化	
长 春	-0.80600	I	轻	好	-0.50 以下
广 州	-0.61218	I	轻	好	-0.50 以下
南 京	-0.48667	II	较轻	较好	-0.50 ~ -0.15
武 汉	-0.35417	II	较轻	较好	-0.50 ~ -0.15
成 都	-0.28218	II	较轻	较好	-0.50 ~ -0.15
郑 州	-0.19952	II	较轻	较好	-0.50 ~ -0.15
北 京	+0.15188	III	中度	尚可	-0.15 ~ +0.15
上 海	+0.25140	IV	较重	较差	+0.15 ~ +0.50
天 津	+0.39693	IV	较重	较差	+0.15 ~ +0.50
沈 阳	+0.41934	IV	较重	较差	+0.15 ~ +0.50
重 庆	+1.58001	V	重	差	+0.50 以上

3 城市生态环境的多变量排序

以上分析已经肯定了影响城市生态的污染因素和绿地因素实际意义和定量数值。下面将

有关变量与健康因素等12个变量进行多变量分析，作为城市生态评价与分类的验证。用于分析的变量包括园林绿地面积、覆被率、人均绿地面积、工业总产值、SO₂、NO_x、颗粒物、降尘、人口自然死亡率、呼吸病发病比例、门诊率等，分析方法和数据组成如下：

(1) 欧氏距离(离差平方和)聚类分析，11个城市，每城市1980~1982年数据， $n = 33$ 。

(2) 主成分分析排序，10个城市1980年至1982年数据， $n = 30$ 。聚类分析(表3)有甲、乙两种方法；主成分分析，第一、第二、第三主成分累计贡献率分别为66.118%、85.62%、99.354%，取前两个主成分为坐标画图1^[6]。从图中看到每个城市3年的点子很集中，依坐标空间可以分成五组(图虚线所示)，其结果与表3乙分类的五个组级完全吻合。

上边两种方法的分类结果，都反映了城市生态质量的分类与环境效应等级相一致。从而进一步认可了GA值评定(模型IV)的合理性，提出了更灵活的城市生态分类评价方法及其数学依据。

表3 聚类分析的两种分类结果与距离

(甲) 分类		(乙) 分类	
2组及城市名	甲 距离	5组及城市名	乙 距离
(1)长春 广州		(1)重庆	1.994 65
南京 武汉	111.392 00	(2)上海 天津	35.846 65
成都 郑州		沈阳	
(2)北京 天津		(3)北京	42.976 45
沈阳 上海	125.761 64	(4)成都 郑州	44.049 15
重庆		南京 武汉	
		(5)长春 广州	71.350 98

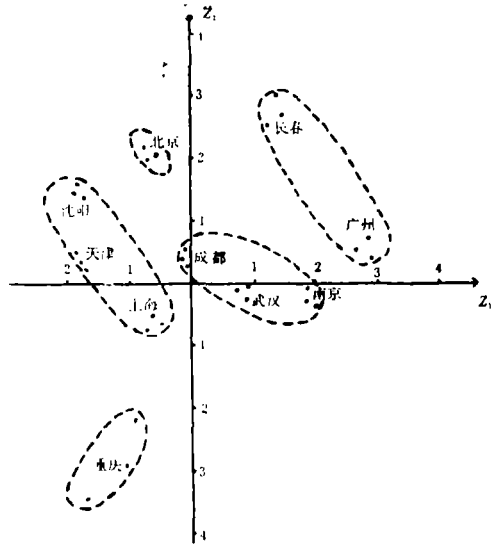


图1 10个城市3年8个变量主成分分析的二维坐标图

4 结论与讨论

(1) 当前，随着城市化过程的发展，一方面因其现代化能够使环境质量得到改善和提高；另一方面，因城市发展的某些盲目性可能使城市机能失调，带来环境污染^[4]，森林绿地质量与数量下降，城市生态恶化加剧，出现了一系列的“城市病”。就我国11个大城市环境质量的定量评定结果，按城市环境效应值(GA)可分为五类城市：I类良好，有长春、广州；II类较好，有南京、武汉、成都、郑州；III类中等，有北京；IV类较差，有上海、天津、沈阳；V类最差，有重庆。

(2) 在城市环境质量的宏观评定中，影响生态环境的大环境因子(包括地理与气象)重要程度占66%，城市内的环境因子(包括污染与绿地)重要程度占34%。

(3) 在城市内各种环境因子中，对人民健康影响程度，就污染与森林绿地而言，环境污染综合指数占7成，绿地综合指数占3成。在当前我国城市污染较重、城市环境质量不高的时期，治理污染改善环境质量是首要任务，但也不可忽视森林绿地对城市环境质量的改善作用。随着城市污染治理水平的提高，城市森林绿地对城市环境质量的贡献将逐步增大。

(4) 通过城市生态因子多变量排序，聚类分析和主成分分析，其结论与环境定量评价模

型基本一致，更证实了城市环境质量评价的合理性。

(5) 本研究是一次尝试，其变量选择、数学方法以及资料准备方面仍有待进一步深化和提高。而且随着城市治理环境污染和绿化水平的提高，对于城市生态环境定量评价的研究工作应定期进行，以便及时掌握城市环境质量，加速城市森林绿地的建设。

参 考 文 献

- [1] 夏廉博, 1986, 人类生物气象学, 气象出版社。
- [2] 中国科技情报所, 1975, 国外公害情况, 人民出版社。
- [3] 张尧庭等, 1982, 多元统计分析引论, 科学出版社。
- [4] Debauer, L. I. et al., 1990, Summary of observational study on its air quality and effects on vegetation, *Environment Pollution*, 65(2): 109~119.
- [5] 北京气象中心资料室, 1984, 中国地面气候资料(1978~1984), 气象出版社。
- [6] Falkenhagen, E. R. et al., 1978, Multivariate classification in provenance research, *Silvae Genetica*, 21(1): 14~23.

Study on the Quantitative Evaluation of Afforestation City and Environmental Quality

Sun Cuiling Li Chonghe Gu Wanchun

(The Research Institute of Forestry CAF)

Abstract Based on the statistical data published in China, 16 factors selected from 11 big Chinese cities were evaluated. The influence of each factor to the environment was analyzed by means of standard complex regression. Using principal component analysis and cluster analysis, the result obtained after the dependency of quantitative evaluation coincides with the model of environmental quantitative evaluation.

Key words city environment efficiency value; quantitative evaluation of environmental quality; afforestation integrated index; pollution integrated index