

基于主成分分析的古树土壤肥力等级评价

刘家雄¹, 汤珧华^{2,3}

(1. 上海电力学院数理学院, 上海 200093; 2. 上海城市树木生态应用工程技术研究中心, 上海 200020; 3. 上海市绿化管理指导站, 上海 200020)

摘要 土壤的性质直接影响树木的生长, 因而对它们进行分类研究有利于进一步保护古树。对古树生长点的土壤进行取样测试, 对测试指标进行主成分分析和聚类分析。结果表明: 由主成分分析划分的 5 个主成分可全面概括 14 项土壤肥力指标, 采用聚类分析将古树生长样点划为 4 种不同的肥力类型, 并对各土壤类型提出了相应的改良措施。

关键词 土壤性质; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号 S158.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)03-0104-03

Evaluation of Soil Fertility Grade for Old Trees Based on Principal Component Analysis

LIU Jia-xiong¹, TANG Yao-hua^{2,3} (1. Mathematical College, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200093; 2. Shanghai Engineering Technology Research Center of Urban Trees Ecological Application, Shanghai 200020; 3. Shanghai Guidelines Station of Greening Management, Shanghai 200020)

Abstract The nature of soil impacts on the growth of trees directly, classified research of them is very important for the further protection of old trees. By the investigation and testing on soil of old trees growing sites, the indicators were analyzed by principal component analysis and cluster analysis. The results showed that: sprincipal components divided by the principal component analysis can be a comprehensive summary of 14 indicators of soil fertility, using cluster analysis the trees growing sites soil were dilided into 4 different types of fertility, and the corresponding improvement measures of different soil types were proposed.

Key words Soil properties; Principal component analysis; Cluster analysis

古树是指树龄百年以上的树木。古树是活的文物和人类极其珍贵的历史遗产, 是历史的见证和重要自然资源^[1-2]。古树保护的研究对了解地区的历史、文化、气象、水文、地质、地理、植被以及空气污染等自然演变具有一定的作用, 特别是对植物进化与变异、树木生态学具有很高的研究价值^[3-4]。上海地处长江口冲积平原, 城市历史较短, 古树资源稀少, 目前古树有 1 600 余株, 主要分布在历史较长的松江、青浦、徐汇、嘉定等区域, 因而, 古树的保护更重要。

古树保护的重要方面是维护和改善古树的生态环境。在影响古树生长的诸多生态因子中, 土壤是树木赖以生存的物质基础^[5-9]。目前, 人们对古树的保护, 较多考虑树本身, 对古树的地下生长环境, 尤其是土壤, 考虑得较少, 而古树生长所需的水分和养分由其生长的土壤提供。近年来, 上海由于城市建设速度加快, 许多古树的周边环境发生了巨大的变化, 尤其是古树的土壤因建设而受到严重的破坏, 严重影响古树生长。因此, 对上海古树土壤的性质进行系统研究与分类, 对加强古树的保护具有极其重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 研究材料 根据上海各区古树的分布情况, 选用 34 个生长点, 每个生长点分东、南、西、北 4 个方向取 0~40 cm 土壤, 共取 100 多份土壤指标作研究对象。测试指标为 pH、电导率、通气孔隙度、总孔隙度、有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷和金属元素钙、镁、铁、锌、铜 14 个指标。

1.2 研究方法

1.2.1 测试方法。 pH: 采用电位法; 电导率: 采用 DDS 型电导; 毛管孔隙度: 采用常规法测定; 通气孔隙度: 通气孔隙度

= 总孔隙度 - 毛管孔隙度; 有机质: 采用重铬酸钾法; 速效氮: 采用扩散吸收法; 有效磷: 采用碳酸氢钠法; 速效钾: 采用火焰光度法; 金属元素: 称取土样 0.2 g, 加入硝酸 10 mL、氢氟酸 5 mL、高氯酸 2 mL, 在电热板上加热至沸腾, 静置一夜, 第 2 天加热至澄清, 然后将酸蒸干, 转移至 50 mL 容量瓶并定容待测。

1.2.2 数据处理方法。 利用 Microsoft Excel 2000 建立土壤养分和古树生长数据库, 用 SPSS 16.0 软件进行主成分分析和聚类分析^[10-12]。

主成分分析是模式识别中的一种降维映射方法, 该法将多维空间的信息在低维空间表现出来, 以消除众多信息中相互重叠部分。它将原始变量进行转换, 使少数几个新变量为原变量的线性组合, 同时又使这些变量尽可能多地表征原变量的数据结构特征而不丢失信息。

系统聚类分析是先将需要聚类的样品各自看成一类, 然后确定类与类之间的相似性统计量, 并选择最接近的 2 类或若干类合并成一个新类, 计算新类与其他各类之间的相似性统计量, 再选择最接近的 2 类或若干类合并成一个新类, 直到所有样品都合成一类为止。

2 结果与分析

2.1 土壤养分主成分分析 为有效分析古树生长点的土壤肥力水平, 对土壤进行主成分分析, 结果如表 1 和 2。

从表 1 可知, 在上层土中, 第一主成分的特征值为 4.834, 贡献率为 34.526%, 第二主成分的特征值为 2.550, 贡献率为 18.215%, 第三主成分的特征值为 1.792, 贡献率为 12.802%, 第四主成分的特征值为 1.145, 贡献率为 8.177%, 第五主成分的特征值为 1.112, 贡献率为 7.943%, 五者的累积贡献率为 81.662%, 因此可以用 5 个因子代替 14 个原始变量, 即用这 5 个因子来反映土壤的肥力水平。

表 1 上层土壤主成分的累积贡献率和特征值

Table 1 Accumulated contribution rates of eigenvalues and principal components in the supper soil

| 序号 No. | 养分指标 Nutrient index | 因子最初解 Initial solution | | | 提取解 Extraction solution | | |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------|--|
| | | 特征值 Eigenvalue | 贡献率 Contribution rate // % | 累积贡献率 Accumulated contribution rates // % | 特征值 Eigenvalue | 贡献率 Contribution rate // % | 累积贡献率 Accumulated contribution rates // % |
| 1 | 通气孔隙度 | 4.834 | 34.526 | 34.526 | 4.834 | 34.526 | 34.526 |
| 2 | 容重 | 2.550 | 18.215 | 52.741 | 2.550 | 18.215 | 52.741 |
| 3 | pH | 1.792 | 12.802 | 65.543 | 1.792 | 12.802 | 65.543 |
| 4 | 电导率 | 1.145 | 8.177 | 73.719 | 1.145 | 8.177 | 73.719 |
| 5 | 有机质 | 1.112 | 7.943 | 81.662 | 1.112 | 7.943 | 81.662 |
| 6 | 全氮 | 0.672 | 4.798 | 86.460 | | | |
| 7 | 速效氮 | 0.576 | 4.116 | 90.577 | | | |
| 8 | 全磷 | 0.428 | 3.059 | 93.636 | | | |
| 9 | 速效磷 | 0.268 | 1.916 | 95.552 | | | |
| 10 | Ca | 0.228 | 1.629 | 97.181 | | | |
| 11 | Mg | 0.152 | 1.082 | 98.263 | | | |
| 12 | Fe | 0.124 | 0.883 | 99.146 | | | |
| 13 | Zn | 0.074 | 0.531 | 99.678 | | | |
| 14 | Cu | 0.045 | 0.322 | 100.000 | | | |

根据因子载荷矩阵(表 2)。5 个因子的主成分表达式为:

(1) 主成分 1 = -0.739X₁ + 0.691X₂ + 0.705X₃ + 0.651X₄ - 0.607X₅ - 0.690X₆ - 0.672X₇ - 0.332X₈ - 0.612X₉ + 0.637X₁₀ + 0.662X₁₁ + 0.512X₁₂ + 0.039X₁₃ + 0.003X₁₄

(2) 主成分 2 = -0.472X₁ + 0.462X₂ + 0.098X₃ + 0.274X₄ + 0.213X₅ + 0.358X₆ + 0.293X₇ + 0.606X₈ + 0.3872X₉ + 0.514X₁₀ - 0.033X₁₁ - 0.458X₁₂ + 0.584X₁₃ + 0.660X₁₄

(3) 主成分 3 = 0.140X₁ - 0.205X₂ - 0.134X₃ + 0.543X₄ + 0.424X₅ + 0.476X₆ + 0.185X₇ + 0.030X₈ + 0.273X₉ + 0.319X₁₀ + 638X₁₁ + 0.501X₁₂ - 0.203X₁₃ - 0.317X₁₄

(4) 主成分 4 = -0.006X₁ + 0.058X₂ - 0.279X₃ + 0.134X₄ + 0.259X₅ + 0.271X₆ + 0.050X₇ - 0.614X₈ - 0.4695X₉ - 0.171X₁₀ + 0.038X₁₁ + 0.037X₁₂ + 0.403X₁₃ + 0.333X₁₄

(5) 主成分 5 = 0.383X₁ - 0.399X₂ + 0.385X₃ - 0.164X₄ - 0.172X₅ - 0.028X₆ - 0.143X₇ + 0.057X₈ + 0.190X₉ + 0.011X₁₀ + 0.131X₁₁ + 0.378X₁₂ + 0.518X₁₃ + 0.337X₁₄

表 2 因子荷载量

Table 2 Load of the principal components

| 养分指标 Nutrient index | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 通气孔隙度 Porosity | -0.739 | -0.472 | 0.140 | -0.006 | 0.383 |
| 容重 Bulk density | 0.691 | 0.462 | -0.205 | 0.058 | -0.399 |
| pH | 0.705 | 0.098 | -0.134 | -0.279 | 0.385 |
| 电导率 Conductivity | 0.651 | 0.274 | 0.543 | 0.134 | -0.164 |
| 有机质 Organic matter | -0.607 | 0.213 | 0.424 | 0.259 | -0.172 |
| 全氮 Total N | -0.690 | 0.358 | 0.476 | 0.271 | -0.028 |
| 速效氮 Available N | -0.672 | 0.293 | 0.185 | 0.050 | -0.143 |
| 全磷 Total P | -0.332 | 0.606 | 0.030 | -0.614 | 0.057 |
| 速效磷 Available p | -0.612 | 0.387 | 0.273 | -0.469 | 0.190 |
| Ca | 0.637 | 0.514 | 0.319 | -0.171 | 0.011 |
| Mg | 0.662 | -0.033 | 0.638 | 0.038 | 0.131 |
| Fe | 0.512 | -0.458 | 0.501 | 0.037 | 0.378 |
| Zn | 0.039 | 0.584 | -0.203 | 0.403 | 0.518 |
| Cu | 0.003 | 0.660 | -0.317 | 0.333 | 0.337 |

由表 2 的因子载荷绝对值可知,因子一基本反映了通气孔隙度和容重;因子二基本反映了有机质、全氮和速效氮,因

子三基本反映了全磷和速效磷,因子四基本反映了 pH 和电导率,因子五基本反映了铁、镁和铜。即因子一反映了以通气孔隙度为代表的土壤通气状况;因子二反映了以有机质为代表的肥力综合性状;因子三反映了磷在土壤中的利用状况;因子四反映了以 pH 为代表的土壤化学性状,因子五反映了以铁为代表的土壤金属元素。

2.2 聚类分析 按通气孔隙度、容重、有机质、全氮 4 个主因子聚类,聚类结果如图 1 所示,图中的序号为样点号。

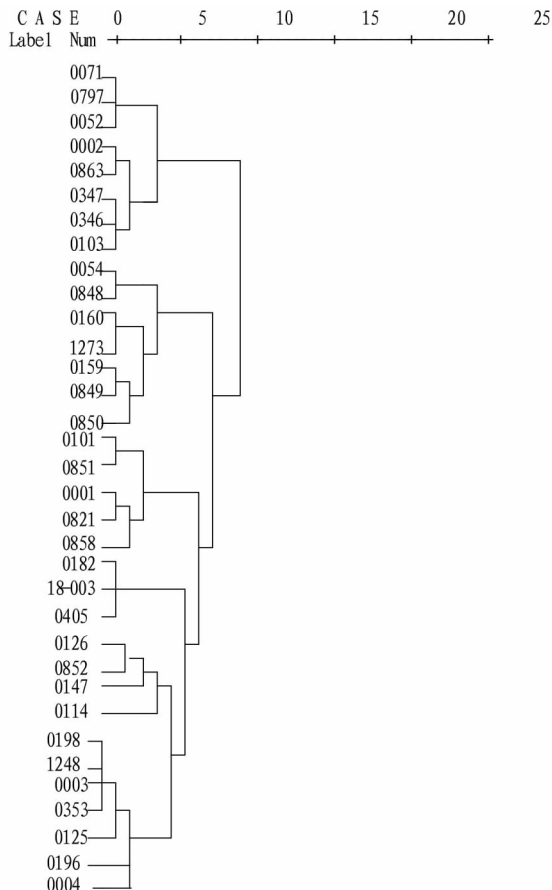


图 1 古树生长点土壤聚类结果

Fig.1 Cluster results of growing point for old trees

在图1中重标距离5处划分水平,可将34个生长点的上层土壤划分为4种肥力类型。同时,根据聚类结果计算4种肥力类型土壤指标的平均值与标准差(表3)。

表3 4种肥力类型土壤指标的平均值与标准差

Table 3 Means and standard deviation of soil indexes for 4 fertilizer types

| 肥力类型 Fertilizer type | 样地数 Sample plots | 通气孔隙度 Soil porosity | 容重 Soil specific gravity | 土壤有机质 Soil organic matter g/kg | 土壤全氮 Soil total nitrogen g/kg |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 1 | 7 | 8.23 ± 0.02 | 1.30 ± 0.02 | 35.2 ± 2.0 | 17.8 ± 1.9 |
| 2 | 5 | 7.82 ± 0.20 | 1.35 ± 0.02 | 22.7 ± 1.6 | 15.3 ± 1.4 |
| 3 | 14 | 6.34 ± 0.18 | 1.46 ± 0.06 | 18.0 ± 0.1 | 12.6 ± 1.2 |
| 4 | 8 | 4.64 ± 0.22 | 1.52 ± 0.02 | 12.9 ± 1.1 | 9.7 ± 0.8 |

根据土壤肥力情况,这4个肥力类型情况如下。第1类型:综合肥力良好型,包含7个采样点,古树编号分别为:0054、0848、0160、1273、0159、0849、0850;第2类型:综合肥力较好型,包含5个采样点,古树编号分别为:0101、0851、0001、0821、0858;第3类型:综合肥力较差型,包含14个采样点,古树编号分别为:0182、18-003、0405、0126、0852、0147、0114、0198、1248、0003、0353、0125、0196、0004;第4类型:综合肥力差型,包含8个采样点,古树编号分别为:0071、0797、0052、0002、0863、0347、0346、0103。

根据聚类结果把所测试的34个生长点划分为4类。第1、2类土壤的综合肥力较好,尤其是第1类土壤,基本保持了古树的原生态环境,此处人为活动很少,周围有河或渠等活水流动,枯枝落叶归还四周土壤,形成原始生态环境。第3、4类土壤的综合肥力较差,这些生长点人为干扰较大,造成土壤容重大,养分低,不利于古树的生长。对生长在第1、2类土壤的古树,应尽量维持古树土壤现状,对第3、4类土壤,可以通过定期松土,增施有机肥,甚至是个别点采取部分换土的方法来改善土壤的结构与养分状况,尽量恢复到古树的原生态环境。

3 讨论

(1)土壤的主成分分析结果表明,影响土壤肥力的主要因素为全氮、有效氮、速效磷、速效钾、容重和总孔隙度。说明土壤肥力的好坏,不能用单一的指标来评价,而应综合考虑各因素,着重考虑土壤的结构与养分。

(2)用聚类分析方法把所测试的古树生长点划为4类,基本符合实际情况。第1、2类土壤的综合肥力较好,这些古树生长在人为干扰较少的地方,尤其是第1类土壤,基本维持古树的原生态环境,即古树生长在高处,此处人为活动很少,周围有河或渠等活水流动,枯枝落叶归还四周土壤,形成原始的生态环境。第3、4类土壤的综合肥力较差,这些古树生长在人为干扰较大的地方,造成土壤的容重大,养分低,不利于古树的生长。

(3)对古树、土壤的保护非常重要,适合古树生长的土壤环境是容重轻、土壤的有效养分高。对生长在第1、2类土壤的古树,在保护古树时,应维持古树土壤现状,对第3、4类土壤,可以通过定期松土,增施有机肥的方法,甚至可以采取工程措施的方式来改善土壤的结构与养分状况,使土壤恢复到古树的原生态环境。

(4)用聚类分析方法对古树的土壤进行综合分类研究,旨在因地制宜地进行土壤管理和古树日常养护,为古树提供适生的外界条件,延缓古树的衰老期。因古树周围的土壤人为干扰非常大,因而此类分类只是一个比较切合实际的模拟,通过分类可以大致了解古树生长点土壤目前所处的状况。

参考文献

- [1] 姚剑飞,吴俊,叶要清,等. 影响黄山古树名木生长的因素及对策[J]. 安徽农学通报,2013,19(9):114-115.
- [2] 尤扬,张晓云,刘晓杰,等. 卫辉市区古树名木现状调查及保护探讨[J]. 河南科技学院学报,2012,40(5):13-18.
- [3] KELSEY P, HOOTMAN R. Soil resource evaluation for a group of sidewalk street tree planters[J]. Journal of arboriculture, 1990,16(5):113-117.
- [4] JIM C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats[J]. Environmental conservation, 1993,20(1):35-49.
- [5] 侯传庆. 上海土壤[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992.
- [6] 张树民. 古树名木衰弱诊断及抢救技术[J]. 中国城市林业,2012,10(5):40-43.
- [7] 刘瑜,徐程扬. 古树健康评价研究进展[J]. 世界林业研究,2013,26(1):37-42.
- [8] JIM C Y. Massive tree-planting failures due to multiple soil problems[J]. Arboricultural journal, 1993,17(3):309-311.
- [9] CRAUL P J. The nature of urban soils: Their problems and future[J]. Arboricultural journal, 1994,18(3):275-287.
- [10] 李方敏,艾天成,周治安,等. 用主成分分析法评价渍害土壤肥力[J]. 地域研究与开发,2001,20(4):65-67.
- [11] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [12] 李跃林,李志辉,李志安,等. 桉树人工林地土壤肥力灰色关联分析[J]. 土壤与环境,2001,10(3):198-202.
- [13] 王政权. 地质统计学及其生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:1-149.
- [14] 史舟,李艳. 地统计学在土壤学中的应用[M]. 北京:中国农业科技出版社,2006:1-190.
- [15] MUELLER T, PUSULURI N B, MATHIAS K K, et al. Map quality for ordinary kriging and inverse distance weighted interpolation[J]. Soil science society of America journal, 2004,68(6):2042-2047.
- [16] 吴立新,史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京:科学出版社,2003:184.

(上接第101页)

- [4] 蒋文婷. 莱州湾南岸地质环境脆弱性分析与评价[D]. 青岛:国家海洋局第一海洋研究所,2008.
- [5] 刘恩峰,张祖陆,沈吉,等. 莱州湾南岸潍河下游地区咸水入侵灾害成因及特征[J]. 地球科学与环境学报,2004,26(3):78-82,87.
- [6] 刘衍君,曹建荣,高岩,等. 莱州湾南岸海水入侵区土壤盐渍化驱动力分析与生态对策[J]. 中国农学通报,2012,28(2):209-213.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 南京:河海大学出版社,2000.