

香港土壤研究^{*}

· 基于改进层次分析法的土壤肥力质量综合评价

章海波^{1,3} 骆永明^{1,3†} 赵其国^{1,3} 张甘霖^{1,3} 黄铭洪²

(1 中国科学院南京土壤研究所与香港浸会大学土壤与环境联合开放研究实验室,土壤与环境生物修复研究中心,
土壤与农业可持续发展国家重点实验室,南京 210008)

(2 香港浸会大学裘槎环境科学研究所,香港九龙塘)

(3 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要 采用改进层次分析法(AHP),并结合覆盖整个香港地区的 51 个典型土壤剖面样品分析得到的 pH(H₂O)、有机质、质地等包含土壤物理和土壤化学的 10 项指标进行综合评价。评价结果表明:香港地区的土壤肥力质量总体不高,有 1/2 以上调查样点属中等以下水平。在不同生态景观类型中,农业土壤的肥力质量相对较高。土壤过酸和磷素水平(包括全磷和速效磷含量)过低是香港土壤肥力质量低下的主要原因。此外,山火焚烧和侵蚀在一定程度上加剧了土壤肥力的退化,因此需要加强地表植被和水土的保育工作。

关键词 香港地区;土壤肥力质量;层次分析法(AHP);综合评价

中图分类号 X825 **文献标识码** A

土壤肥力质量是土壤系统的化学、生物和物理组分之间复杂相互作用的综合体现,它可以用几个关联的特征来指示,当将土壤看作生态系统的一部分来检验时,土壤肥力质量评价提供了一种评价人类管理决策对环境直接和间接影响的有效方法^[1]。但是单一的土壤性质指标无法定量地表达土壤肥力的状况,近来,越来越多的研究采用综合系统的评价方法,比如运用聚类分析、因子分析、主成份分析和模糊综合评判等^[2]。在进行综合评价中,确定各个评价指标的权重系数的精确度和科学性将直接影响评价的结果。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是从定性分析到定量分析综合集成的一种系统工程方法,将人的主观判断为主的定性分析进行定量化,将各种判断要素之间的差异数值化,帮助人们保持思维过程的一致性,适用于复杂的模糊综合评价系统,是目前一种被广泛应用的确定权重的方法^[3,4]。运用 AHP 法在构建判断矩阵时,会因为对指标之间相对重要程度的判断因专家不同而异,具有一定的主观性,同时对已有的定量信息应用不够充分也是它的一个明显不足之处^[5]。因此,本研究充分利用实测数据提供的定量信息来构建判断矩阵,提高了 AHP 法确定权重的准确性和科学性。

此外,在评价尺度上,既适合较大尺度,如赵玉国等对海南岛土壤肥力质量的系统评价^[6];也适合小范围区间的评价,如张华等对热带地区农场尺度土壤肥力质量现状的综合评价^[7],本研究的尺度则介于两者之间。

香港地处珠江三角洲的东岸,属于典型的热带亚热带过渡区域,气候上有明显的干湿季节之分。其城区面积只占 1/4 左右,其余为山地丘陵^[8],由于农业极度萎缩,这些山地丘陵大都已经圈定为郊野公园或特别保护区。Jim^[9,10]对香港郊野公园和风水林土壤的基本性质和肥力状况作过较为系统的调查研究,但主要还是体现在对单一土壤性质的比较上,没有进行综合评价。本研究利用改进 AHP 方法对香港地区的土壤肥力质量进行了综合评价,并探讨影响香港土壤肥力现状的主要限制因子,以期对香港地区的城市绿化和生态环境保护工作提供土壤学方面的科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集与分析

研究区的概况以及样品的采集见参考文献

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810/09)和中国科学院知识创新工程重点项目(KZCX3-SW-429-2)资助

[†] 通讯作者: E-mail: ymluo@mail.issas.ac.cn

作者简介:章海波(1977~),男,浙江临安人,博士研究生,主要从事区域土壤污染与环境质量评价研究

收稿日期:2005-06-13;收到修改稿日期:2006-01-23

[11], 主要依据成土母质、发生类型和土壤利用方式等方面采集了 51 个土壤剖面 and 44 个表层样品, 共计 271 个土壤样品, 选择其中的 51 个典型剖面样品分析其土壤肥力质量指标, 包括土壤 pH、质地、有机质 (SOM)、全氮、全磷、全钾、铵态氮、速效磷、速效钾和阳离子交换量 (CEC)。上述土壤肥力质量指标的分析主要参考了《土壤农业化学分析方法》^[12]。数据分析采用 Excel 和 DPS 3.11 (Data Processing System for Practical Statistics)。

1.2 基于改进层次分析法的综合评价模型

对于土壤肥力质量参评指标的选择和分级方法, 过去有过一些探讨^[13], 但是仍然没有一个统一的标准。我们根据香港地区的实际情况, 选择包括

土壤物理和土壤化学性质的上述 10 项指标。但由于各项指标对土壤肥力质量的贡献并不完全相同, 并且实测值之间量纲有很大的差别, 所以不能对这些指标等同对待, 而需要运用综合评价模型。

1.2.1 建立土壤肥力质量评价的隶属度矩阵

根据在一定范围内评价指标与作物效应的关系函数, 即隶属度函数, 计算各个评价指标的隶属度值。隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x - x_1) / (x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, x_1 和 x_2 分别为评价指标的上限值和下限值。表 1 为本研究涉及的评价指标 x_1 和 x_2 对应值。

表 1 S型隶属函数对应的上下限值

Table 1 Upper and lower limit values of corresponding S-shaped membership functions

指标 Indicators	临界值 Critical values		指标 Indicators	临界值 Critical values	
	x_1	x_2		x_1	x_2
pH (H ₂ O)	4.5	6.0	铵态氮 Ammonium N (mg kg ⁻¹)	60	120
有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	10	30	速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	5	20
全氮 Total N (g kg ⁻¹)	0.75	1.5	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	50	150
全磷 Total P (g kg ⁻¹)	0.9	1.5	阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	5	15
全钾 Total K (g kg ⁻¹)	9.0	20			

对于描述性指标如土壤质地, 根据实际情况对其进行赋值化处理, 从粘土到砂土分别赋予 -2、-1、0、1 和 2 这 5 个值, 其中壤土为 0, 利用 -1 和 1 这两个临界值结合式 (1) 进行标准化处理。经过上述步骤的数据处理, 消除了各个评价指标之间的量纲差异, 建立了土壤肥力质量评价的隶属度矩阵 $A_m \times n = \{ a_{ik} | k = 1 \sim m, i = 1 \sim n \}$, a_{ik} 的值均在 0.1 ~ 1.0 之间, 大小反映了各评价指标的隶属程度。

1.2.2 各评价指标权重的确定 权重的确定首先需要隶属度矩阵的值, 这就消除了采用专家打分的办法来确定指标之间相对重要性的缺陷, 从而确定的权重更符合研究地区的实际情况。从综合评价的角度看, 某一评价指标内部的变化程度越大, 则其传递的综合评价的信息就越丰富^[14]。因此可以采用各评价指标的样本标准差 $S(i) (i = 1 \sim n)$ 来反映各评价指标对综合评价的影响程度, 并用于构造判断矩阵 $B_n \times n$, 这也是我们对传统层次分析法的改进之处。式 (2) 是利用评价指标的样本标准差构建的判断矩阵 $B_n \times n$ 内部的值 b_{ij} ^[15]。

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{S(i) - S(j)}{S_{\max} - S_{\min}} (b_m - 1) + 1, & S(i) > S(j) \\ 1 / \left[\frac{S(j) - S(i)}{S_{\max} - S_{\min}} (b_m - 1) + 1 \right], & S(i) < S(j) \end{cases} \quad (2)$$

式中, S_{\max} 和 S_{\min} 分别为 $\{ S(i) | i = 1 \sim n \}$ 的最大值和最小值; 相对重要性程度参数值 $b_m = \min \{ 9, \text{int} [S_{\max} / S_{\min} + 0.5] \}$, min 和 int 分别为取最小和取整函数。根据矩阵 $B_n \times n$, 求出最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素重要性排序, 即权数分配, 此处采用方根法求解, 即: 首先计算每一行元素的乘积 M_i ,

$$M_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

然后计算 M_i 的 n 次方根 \overline{W}_i , 然后对向量 $\overline{W} = (\overline{W}_1 \ \overline{W}_2 \ \overline{W}_3 \ \dots \ \overline{W}_n)^T$, 作归一化处理, 即:

$$W_i = \overline{W}_i / \left(\sum_{i=1}^n \overline{W}_i \right) \quad (4)$$

则, $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)^T$ 即为所求的特征向量。

1.2.3 判断矩阵 $B_n \times n$ 的一致性检验 理论上,

判断矩阵 $B_{n \times n}$ 需要满足单位性、互反性和一致性, 其中一致性又是前两个性质的充分条件, 它是表示相互关系可以定量传递^[14]。判断矩阵 $B_{n \times n}$ 的一致性的检验公式为:

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

其中, RI 为平均随机一致性指标, 取值决定于矩阵的阶数, 参见表 2。

表 2 1~10 阶判断矩阵的 RI 值

Table 2 RI values of discriminant matrix from exponent of 1 to 10

判断矩阵阶数 Exponent of discriminant matrix	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

式(6)中的 λ_{\max} 为最大特征根, 其计算方法为:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (BW)_i}{n \sum_{i=1}^n W_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (BW)_i}{n \sum_{i=1}^n W_i} \quad (7)$$

式(7)中, $(BW)_i$ 表示向量 BW 的第 i 个元素。

CR 为一致性指标, 如果 $CR < 0.10$, 则认为判断矩阵具有满意的一致性, 也说明权数分配是合理的, 否则就需调整判断矩阵, 直至取得满意的一致性。

1.2.4 综合评价模型 隶属度函数得到的各个指标在不同采样点的标准化转换值, 并结合权重, 即可建立土壤肥力质量的综合评价模型, 则某一采样点的土壤肥力质量指数为:

$$FI = \sum_{i=1}^n ikW_i \quad (k = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (9)$$

表 3 香港地区土壤肥力质量的评价定量指标测定结果

Table 3 Values of quantitative indicators for assessment of Hong Kong soil quality ($k = 51$)

指标 Indicators	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 S. D.
pH (H ₂ O)	5.1	4.4	7.3	0.8
有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	20.1	2.44	82.9	16.5
全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0.76	0.1	3.29	0.73
全磷 Total phosphorus (g kg ⁻¹)	0.4	0.01	2.7	0.73
全钾 Total potassium (g kg ⁻¹)	13.1	1.54	32.7	8.43
铵态氮 Ammonium N (mg kg ⁻¹)	65.8	15.2	153.8	27.8
速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	16.9	0	164.5	38.4
速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	200.5	21	2314	537.7
阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	8.38	2.97	21	3.92

2.2 香港地区土壤肥力质量综合评价

利用改进层次分析法对香港地区的土壤肥力质

量进行综合评价。利用式(2)求得的判断矩阵为 $B_{10 \times 10}$ 为:

2 结果与讨论

2.1 香港地区土壤肥力质量评价指标测定结果

表 3 是评价香港土壤肥力质量的定量指标实测数据, 此外, 还有描述性指标(土壤质地)。香港地区的土壤质地从粘土到砂质壤土都有分布, 其中以壤土和砂质壤土为主。以单个指标的平均值来看, 香港土壤中全磷含量较低, 并且从标准差相对较小可以看出, 这在香港地区属于比较普遍的现象, 与全磷相对应的是速效磷的含量, 虽然从平均值来看并不低, 但个别地区的速效磷含量几乎不能够检测到, 且不同的采样点也有很大的差别。

量进行综合评价。利用式(2)求得的判断矩阵为 $B_{10 \times 10}$ 为:

$B_{10 \times 10} =$	质地	全磷	速效磷	全钾	全氮	速效氮	CEC	有机质	速效钾	pH
	1.00	2.91	3.86	5.21	5.91	6.05	6.12	6.37	6.89	9.00
	0.34	1.00	1.95	3.30	4.00	4.14	4.21	4.46	4.98	7.09
	0.26	0.51	1.00	2.35	3.05	3.18	3.26	3.51	4.02	6.14
	0.19	0.30	0.43	1.00	1.68	1.83	1.91	2.16	2.67	4.78
	0.17	0.25	0.33	0.59	1.00	1.14	1.21	1.46	1.98	4.09
	0.17	0.24	0.31	0.55	0.88	1.00	1.08	1.32	1.84	3.95
	0.16	0.24	0.31	0.52	0.82	0.93	1.00	1.25	1.76	3.88
	0.16	0.22	0.29	0.46	0.68	0.76	0.80	1.00	1.52	3.63
	0.15	0.20	0.25	0.37	0.51	0.54	0.57	0.66	1.00	3.11
0.11	0.14	0.16	0.21	0.24	0.25	0.26	0.28	0.32	1.00	

利用式 (3) 和式 (4) 求得特征向量 $W = (0.319, 0.193, 0.138, 0.081, 0.058, 0.053, 0.051, 0.045, 0.035, 0.017)^T$; 利用式 (7) 和式 (8) 得到 $\lambda_{\max} = 11.17$ 。将 λ_{\max} 代入式 (6) 得到 CI 为 0.130, 查表 2 并结合式 (5) 得到 $CR = 0.087 < 0.10$, 满足判断矩阵的一致性要求。表明上面得到的特征向量 W 即可作为这 10 个评价指标的权重值, 参见表 4。

表 4 香港土壤肥力质量评价指标权重值

Table 4 Weight of indicators for assessment of Hong Kong soil quality

指标 Indicators	权重 Weight
pH (H ₂ O)	0.017
有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	0.045
全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0.058
全磷 Total phosphorus (g kg ⁻¹)	0.193
全钾 Total potassium (g kg ⁻¹)	0.081
铵态氮 Ammonium N (mg kg ⁻¹)	0.053
速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	0.138
速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	0.035
阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	0.051
土壤质地 Soil texture	0.329

根据式 (9) 和表 4 的评价指标的权重值计算香港各采样点的土壤肥力质量指数 FI 值, 结果见图 1。如果按照五级分类法^[2], 则 $FI \geq 0.8$ 为土壤肥力质量好, $0.6 \leq FI < 0.8$ 为较好, $0.4 \leq FI < 0.6$ 为中等, $0.2 \leq FI < 0.4$ 为较差, $FI < 0.2$ 为差。则从图 1 可以看出, 在香港全境采集的 51 个典型土壤剖面中, 有 1/2 以上的土壤肥力质量处于中等以下水平, 质量较好的土壤只占了 13.7%, 30% 左右的采样点土壤的质量为中等。依此来看, 香港地区的土壤肥力质量情况总体上来说较差, 在一定程度上会成为香港地区城市绿化的其中一个限制因子之一。

2.3 影响香港地区土壤肥力质量的主要因素

2.3.1 土壤酸碱度 相关分析显示土壤的 pH 值与计算得到的土壤肥力质量综合指数呈现极显著的相关性 ($R^2 = 0.531, p < 0.01$) (图 2a)。这表明了香港土壤的质量明显地受到土壤酸碱度的影响。香港地区绝大多数土壤呈酸性, pH(H₂O) 在 4.4 ~ 7.3 之间, 平均为 5.1, 山地丘陵土壤由于未受到耕垦地影

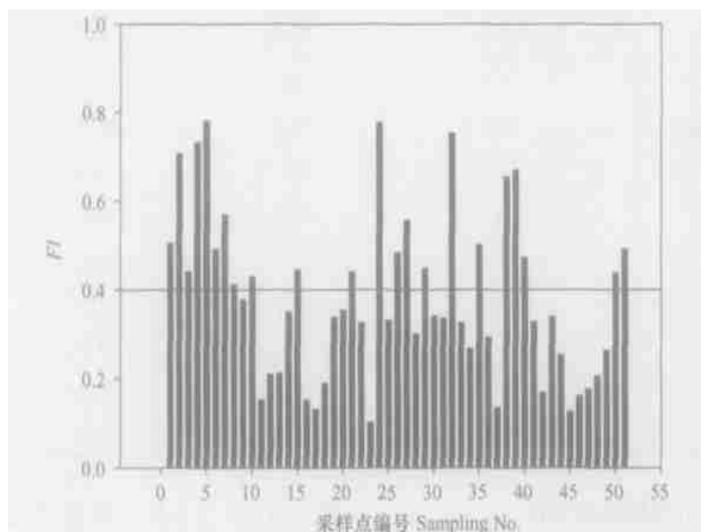


图 1 香港地区所有采样点的土壤肥力质量指数 (FI)

Fig. 1 Values of soil fertility quality indicators (FI) at all the soil sampling sites in Hong Kong

响而普遍呈现酸性至强酸性。从分析数据可以看出,土壤肥力质量为中等以下(即 $FI < 0.4$)的采样点土壤 $pH(H_2O)$ 均在 5.0 以下,例如采自大屿山地区的土壤, FI 值为 0.169,土壤肥力质量属于差这一级,其整个剖面的 $pH(H_2O)$ 都在 5.0 以下,而表层最低,只有 4.2。因此可以认为,香港土壤普遍偏酸的

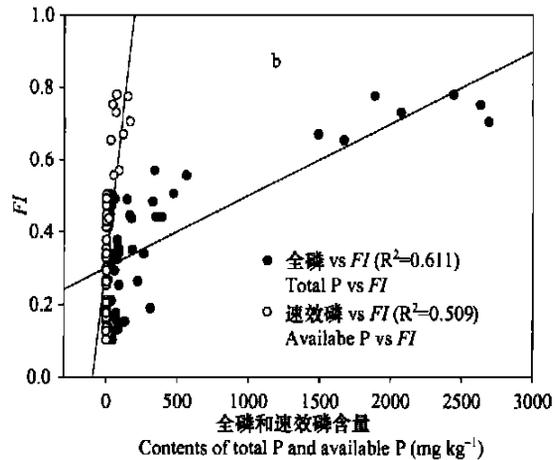
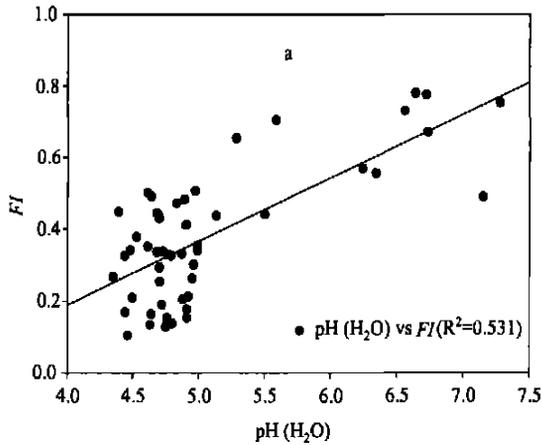


图2 $pH(H_2O)$ 、全磷和速效磷与土壤肥力质量指数 (FI) 的相关性

Fig. 2 Correlations of the FI values with $pH(H_2O)$, total P and rapidly available P

壤的磷素普遍缺乏。土壤全磷含量平均只有 0.4 g kg^{-1} ,且不同的采样点之间的差异较小。这与成土母质和亚热带地区土壤强烈风化的特点有密切联系,香港地区的成土母质主要为花岗岩和凝灰岩,过去的研究认为:这两种成土母岩发育的土壤,全磷含量都较低,并且在全磷含量偏低的情况下,又有大部分的磷素与土壤中的 Fe、Al 结合形成闭蓄态,导致速效磷含量也大大降低^[17]。相关分析显示(图 2b),香港土壤全磷和速效磷含量与土壤肥力质量评价的综合指数都呈极显著的正相关,其相关系数平方值分别达到了 0.611 ($p < 0.01$) 和 0.509 ($p < 0.01$),表明香港土壤的磷素水平成为影响土壤肥力质量的又一主要因素。而其他土壤性质,如有机质含量和 CEC 等都没有发现与 FI 有如此显著的相关关系。

2.3.3 其他因素 其他影响香港土壤肥力质量的因素包括,土壤侵蚀、火烧和历史上的农业耕作。将不同景观类型下的土壤性质及其综合质量比较(表 5)可以发现:农业用地的土壤肥力质量相对较高, FI 值平均为 0.59,而大于 0.7 的又都是在农业

性质是导致其质量普遍不高的主要因素之一。针对这种情况,在进行城市绿化时,一方面需要通过适当的途径来调控土壤的酸性,比如配合施肥有目的地施用一些生理碱性肥料;另一方面也可以选择一些相对耐酸性的植物品种来种植^[16]。

2.3.2 土壤磷素水平 从表 3 可以看出,香港土

耕地上,如嘉道理农场和慈康农场。但是,香港的自然林地却与火烧迹地和侵蚀地土壤一样,质量都较低, FI 值只有 0.27 左右。表明香港土壤的自然肥力并不高,这与前面分析的情况一致,即由于土壤本身较强的酸性和较低的磷素水平引起。而对于火烧迹地和侵蚀地来说,除了上述两个因素外,土壤有机质的缺失也成为引起土壤肥力质量低下的主要原因。从表 5 可以看出,这两种景观下的土壤有机质平均含量要比自然土壤低 $5 \sim 9 \text{ g kg}^{-1}$ 。因此,从这一角度来说,山火焚烧和侵蚀加剧了香港土壤肥力质量的恶化。据土木工程署统计,香港地区土地坡度为 $15 \sim 30$ 的面积占 33.5%,坡度大于 30 的占 29.3%^[18],因此在一些花岗岩地区尤其容易发生土壤侵蚀,同时年降雨量较大,平均每年在 2 200 mm 以上,并且雨量主要集中在 4~9 月(占全年雨量的 80% 以上)^[19],从而加剧了土壤侵蚀,其中尤以新界西部的屯门、大榄一带的山地侵蚀情况最为严重⁽¹⁾。此外,由于祭祀和野外烧烤等造成的山火焚烧导致地表植被破坏后形成的土壤侵蚀在香港地区也较为

(1) Fung H. Effects of acacias on the physical and chemical properties of Granitic soils in Hong Kong. M. Phil. Thesis, Geography Department, the Chinese University of Hong Kong, 1995

普遍^[20]。因此在这些地区需要加强植被保育工作,并且要尽可能选择一些防火树种,同时还要避免引起土壤的进一步酸化,从而加强对土壤的保护和有机的积累。据此,可以考虑选择一些先锋树种如

台湾相思 (*Acacia contusa*)、马占相思 (*Acacia mangium*) 等金合欢属树种 (*Acacia* sp.), 其不仅具有保持水土作用, 并且大多已经在香港有过种植的历史, 适应香港地区的环境^[16]。

表5 不同景观类型土壤肥力质量指数及其基本性质的比较¹⁾

Table 5 FI values and basic properties of soils under different types of landscape

指标 Indicators	景观类型 Landscape types			
	自然林地 Woodland	农业用地 Farmland	火烧迹地 Burned land	侵蚀地 Eroded land
pH (H ₂ O)	4.7 ±0.2	6.2 ±0.8	4.7 ±0.1	4.7 ±0.2
有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	17.6 ±7.8	13.8 ±7.3	12.3 ±1.0	8.1 ±4.2
全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	0.55 ±0.23	0.70 ±0.45	0.32 ±0.17	0.45 ±0.08
全磷 Total phosphorus (g kg ⁻¹)	0.067 ±0.055	0.99 ±1.02	0.087 ±0.103	0.066 ±0.025
全钾 Total potassium (g kg ⁻¹)	7.7 ±5.1	12.7 ±5.9	17.7 ±9.7	17.2 ±7.5
铵态氮 Ammonium N (mg kg ⁻¹)	77.4 ±27.9	59.6 ±30.6	64.9 ±26.1	61.5 ±20.1
速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	0.76 ±0.29	61.8 ±50.3	0.73 ±0.55	0.60 ±0.23
速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	86.1 ±39.7	127.4 ±70.9	65.7 ±41.1	63.8 ±28.1
阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	7.9 ±1.5	6.6 ±3.0	5.8 ±2.8	8.5 ±2.0
FI	0.27 ±0.10	0.59 ±0.15	0.29 ±0.13	0.28 ±0.09

1) 平均值 ±标准差 Mean ±S. D.

3 结论

运用改进层次分析法(AHP)对香港土壤肥力质量进行的综合评价表明:在采集的土壤样品中,有1/2以上的土壤肥力质量综合评价指数在中等以下,只有农业土壤的质量相对较高,自然林地土壤的基础肥力较差,土壤过酸以及土壤全磷和速效磷含量偏低是其主要限制因子。此外,山火焚烧和侵蚀加剧了香港土壤肥力质量的恶化。因此,提高香港土壤肥力质量需要加强地表植被和水土的保育工作。

致谢 香港浸会大学基金的资助;中国科学院南京土壤研究所吴胜春助理研究员、南京大学城市与资源学系的周生路副教授和原香港浸会大学生物系的叶志鸿博士、马英博士和 Fung Ka Fai 先生协同采集香港土壤样品,在此深表谢意。

参考文献

- [1] Karlen DL, Mausbach MJ, Doran J W, et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 1997, 61:4~10
- [2] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 1999, 25(4):378~382. Lu X N, Lu Y F, Wang R C. Preliminary studies on the integrated eval-

uation of soil nutrient fertility (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 1999, 25(4):378~382

- [3] 比晓丽, 洪伟. 生态环境综合评价方法的研究进展. *农业系统科学与综合研究*, 2001, 17(2):122~124, 126. Bi X L, Hong W. Advances of composite evaluation in ecological environment (In Chinese). *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2001, 17(2):122~124, 126
- [4] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学. 上海: 上海科技教育出版社, 2000. Xu G Z, Gu J F, Che H A. *System Science* (In Chinese). Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House, 2000
- [5] 吴殿廷, 李东方. 层次分析法的不足及其改进的途径. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(2):264~268. Wu D T, Li D F. Shortcomings of analytical hierarchy process and the path to improve the method (In Chinese). *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2004, 40(2):264~268
- [6] 赵玉国, 张甘霖, 张华, 等. 海南岛土壤肥力质量系统评价与区域特征探析. *中国生态农业学报*, 2004, 12(3):13~15. Zhao Y G, Zhang GL, Zhang H, et al. Systematic assessment and regional features of soil quality in Hainan Island (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3):13~15
- [7] 张华, 张甘霖, 漆智平, 等. 热带地区农场尺度土壤肥力质量现状的系统评价. *土壤学报*, 2003, 40(2):186~193. Zhang H, Zhang GL, Qi Z P, et al. Systematic assessment of soil quality at farm level in tropical area of China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2):186~193
- [8] Census & Statistics Department, Hong Kong SAR. *Hong Kong Statistics Reports on 2001~2002*. 2002

- [9] Jim C Y. Conservation of soils in culturally protected woodlands in rural Hong Kong. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175 (1/3): 339 ~ 353
- [10] Jim C Y. Camping impacts on vegetation and soil in a Hong Kong country park. *Applied Geography*, 1987, 7:317 ~ 332
- [11] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 . 土壤硒的含量、分布及其影响因素. *土壤学报*, 2005, 42 (3): 404 ~ 410. Zhang H B, Luo Y M, Wu L H, *et al.* Hong Kong soil researches . Distribution and content of selenium in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (3): 404 ~ 410
- [12] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. ed. *Analytical Methods of Soil and Agricultural Chemistry* (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [13] 郑昭佩, 刘作新. 土壤肥力质量及其评价. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 131 ~ 134. Zheng Z P, Liu Z X. Soil quality and its evaluation (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(1): 131 ~ 134
- [14] 翟立林, 张庆洪. 应用决策分析. 上海: 同济大学出版社, 1994. Zai L L, Zhang Q H. *Analyses for Application Strategy* (In Chinese). Shanghai: Tongji University Press, 1994
- [15] 汪应洛. 系统工程. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2001. Wang Y L. *System Engineering* (In Chinese). 2nd Ed. Beijing: Mechanical Industrial Press, 2001
- [16] Corlett R T. Environmental forestry in Hong Kong: 1871 ~ 1997. *Forest Ecology and Management*, 1999, 11: 693 ~ 705
- [17] 席承藩主编. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. Xi C F. ed. *Chinese Soils* (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998
- [18] Geotechnical Control Office. *Geotechnical Manual for Slopes*. Hong Kong: Hong Kong Government Printer, 1994
- [19] Hong Kong Observatory. *Summary of Meteorological Observations in Hong Kong 2000*. Hong Kong: Hong Kong Observatory, 2001
- [20] Lawal M M, Chau K C. Effect of hill fire on upland soil in Hong Kong. *Forest Ecology and Management*, 1999, 120: 97 ~ 104

HONG KONG SOIL RESEARCHES

. INTEGRATED EVALUATION OF SOIL FERTILITY QUALITY BASED ON THE IMPROVED ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Zhang Haibo^{1,3} Luo Yongming^{1,3†} Zhao Qiguo^{1,3} Zhang Canlin^{1,3} Wong Minghung²

(1 *Soil and Environmental Bioremediation Center of Institute of Soil Science, CAS, Soil and Environment Joint Open Laboratory, State Key Laboratory of Soil and Agricultural Sustainable Development, Nanjing 210008, China*)

(2 *Croucher Institute for Environmental Science, Hong Kong Baptist University, Kowloon Tong, Hong Kong*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract Assessment of soil fertility quality was an effective way to evaluate direct or indirect impacts of artificial land managements on the soils. This paper attempted to present an integrated evaluation of Hong Kong soil fertility quality with improved analytic hierarchy process (AHP) since such study had never been carried out on the soils in Hong Kong before. Soil samples were collected from 51 representative soil profiles indicative of varied soil types throughout Hong Kong, and 10 items of soil properties, including pH, soil organic matter, soil texture etc., were determined. Results indicate that more than half of the soil samples were below the middle level in soil fertility, while those from farmlands was relatively better and higher than 0.7 in soil fertility quality index (FI), which was applied to quantify soil fertility in Hong Kong. The low soil fertility quality is attributed mainly to the strong acidity and low contents of total phosphorus and rapid available phosphorus of the soils. Besides, mountain fire and soil erosion contribute to a certain extent to degradation of the soil quality. Therefore, it is suggested more efforts be devoted to protection of vegetation and conservation of soil and water for the sake of improvement of soil quality.

Key words Hong Kong; Soil fertility quality; Analytic hierarchy process (AHP); Integrated evaluation