

济南市城市绿地土壤肥力综合评价及管理

刘 毓¹,赵凤莲²,刘红权¹,吕 娟¹,占习林¹

1. 济南市园林花卉苗木培育中心, 山东 济南 250002

2. 济南百合园林集团有限公司, 山东 济南 250102

摘要: 本文对 147 个土壤样品的 10 项土壤肥力指标进行主成分分析, 按照累计贡献率大于 85% 的原则提取 6 个主成分, 并求得土壤样品 6 个主成分得分和综合得分。以主成分综合得分为聚类指标, 采用等间距法将 147 个样品分为四个肥力质量等级。其中, 第 I 等级为养分丰富型土壤, 其各项养分指标最高, 综合得分在 0.90~2.18 之间, 所占比例 14.96%; 第 II 等级为养分较丰富型土壤, 其综合得分在 0.16~0.70 之间, 所占比例 17.01%; 第 III 等级土壤肥力一般, 其综合得分在 -0.24~0.10 之间, 所占比例 23.81%; 第 IV 等级土壤各养分因子均缺乏, 为养分缺乏型绿地土壤, 其综合得分在 -1.04~-0.27 之间, 所占比例 44.22%。根据济南市城市绿地土壤肥力质量状况提出了加强济南市城市绿地土壤科学管理的措施和建议。

关键词: 城市绿地; 土壤肥力; 综合评价; 管理

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2016)03-0366-06

Comprehensive Evaluation for the Soil Fertility Quality of Urban Green Land in Jinan City and and Management

LIU Yu¹, ZHAO Feng-lian², LIU Hong-quan¹, LU Juan¹, ZHAN Xi-lin¹

1. Jinan Municipal Garden and Plant Cultivation Center, Jinan 250002, China

2. Jinan Lily Landscape Group, Jinan 250102, China

Abstract: Based on principal component analysis and cluster analysis, the comprehensive evaluation for soil fertility quality of green land in Jinan was conducted. Ten soil fertility indexes of 147 soil samples were analyzed by principal component analysis and six principal components with accumulative contribution rate over 85% were obtained. The scores of the six principal components and comprehensive scores were also obtained. The 147 samples were clustered with comprehensive scores as a measurement and they were divided into 4 ranks by regularly spaced distinct method. Bank 1 was nutrient-richest samples with general scores range of 0.90~2.18 and occupied the position of the highest soil nutrient status and took up 14.91% of the total soil sample; Bank 2 was the nutrient richer with the composite score range of 0.16~0.70 and proportion of 17.01%. Soil nutrient status of Bank 3 was general, the composite score was range of -0.24~0.10 and proportion of 23.81%. Bank 4 was the nutrient deficiency type, the comprehensive score range of -1.04~-0.27 and proportion of 44.22%. According to soil quality situation of urban green space in Jinan city, some measures and suggestions were put forward for soil scientific management.

Keywords: Urban green land; soil fertility; comprehensive evaluation; management measures

城市土壤是指城市和城郊地区, 受多种方式人为活动的强烈影响, 原有继承特性被强烈改变的土壤的总称^[1]。城市绿地土壤是城市土壤系统的重要组成部分, 也是城市生态环境系统的重要组成部分, 它一方面为绿地植物生长提供重要的物质基础和环境条件, 另一方面是城市环境污染主要的净化器^[2]。土壤肥力质量是土壤的本质属性, 它的高低直接影响着作物生长、生产的结构、布局和效益等方面^[3]。济南市位于北纬 36°40', 东经 117°00', 年平均气温 13.8 °C, 年平均降水量 685 mm, 属于暖温带半湿润季风型气候。济南城市绿地总面积从 2003 年的 27.438 km² 到 2005 年的 31.94 km², 再到 2010 的 42.8 km²^[4], 济南市的绿地面积明显增多, 与此同时, 绿地土壤肥力质量变得尤为重要。国内外在土壤质量评价方面已开展了大量的研究^[5-10], 综合定量化研究已成为土壤养分管理与评价的趋势^[11-14]。应用主成分分析方法, 可在复杂的土壤肥力指标体系中筛选出若干个彼此不相关的综合性指标, 且能反映出原来全部指标所提供的大量信息^[15]。利用聚类分析的方法对土壤养分状况分类, 更能尊重事实, 把土壤养分状况相同或相似的单元归为一类^[16]。目前, 在广州^[17,18]、深圳^[19]、重庆^[20]、沈阳^[21]等地对绿地土壤肥力质量评价已有所报到, 但对济南城市绿地土壤肥力质量评价的报到较少。

收稿日期: 2014-05-10

修回日期: 2014-06-16

基金项目: 济南市科技发展计划项目(201302137)

作者简介: 刘 毓(1978-),女,硕士研究生,工程师,主要从事园林植物引种选育、土壤肥力方面的研究。E-mail:lilyliuyu@126.com

本文在对济南市城市绿地土壤养分总体状况进行分析的基础上,进一步通过系统聚类对济南市城市绿地土壤肥力进行分类,提出了加强济南市城市绿地土壤科学管理的措施和建议,为园林绿地科学施肥及合理规划利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集与处理

在济南市绕城高速内选取公园绿地、广场绿地、道路绿地、居住区绿地、工业区绿地五类绿地进行土壤样品采集,在研究区域内选取有代表性的绿地进行土壤样品的采集,采样深度为0~20 cm,每个样品由3~5钻土混合而成,共采集样品147个(详细取样地点见表1)。取回土壤样品带回实验室自然风干后,用“四分法”取部分土样,分别过1 mm和0.15 mm筛备用。

表 1 取样点汇总
Table 1 The locations of samples

绿地分类 Areas	采样点 Sampling locations				
公园	百花公园	趵突泉公园	大明湖公园	中山公园	千佛山公园
	泉城公园	华山公园	药山公园	森林公园	动物园
广场	历下广场	赤霞广场	嘉华广场	洪楼广场	槐荫广场
	幸福柳广场	七贤广场			
道路	经十东路	经十路	旅游路	二环南路	英雄山路
	工业北路	工业南路	绕城公路		
	燕山小区	鸿建花园	阳光 100	王官庄小区	依山新居
居住区	领秀城	玉函南区	华洋名苑	名士豪庭	友谊苑小区
	窑头小区	百花小区	新龙家园	舜玉小区南区	伟东新都
	河苑新区	公安局宿舍	翡翠郡小区	工人新村南村	洛都花园
	济南第四机床厂	炼油厂	山东省交通动力机厂	济南合成纤维厂	济南造纸机械厂
工业区	将军卷烟厂旧址	黄台电厂	济南长城炼油责任有限公司	济南鑫星空压机厂	市锻压机械厂
	济南时代试金仪器有限公司	省建筑机械厂	济南西郊低压锅炉厂	济南市压力容器厂	山东国源电力石化设备有限公司
	济南华安伟胜电	中国中铁十局工			
	容设备有限公司	业物资有限公司			
		电器器材厂			

1.2 测定方法

土壤容重,用环刀法测定;土水比1:5,电位法测pH值;土水比1:5,电导法测EC值;采用半微量开氏法($K_2SO_4-CuSO_4-Se$ 蒸馏法)测全氮;碱解扩散法测碱解氮;碳酸钠熔融法测全磷;0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃法测有效磷;氢氧化钠熔融法测全钾;1 mol·L⁻¹ NH₄OAc浸提,火焰光度法测速效钾;重铬酸钾容量法—稀释热法测有机质^[22]。

1.3 数据处理

首先依据公式 $X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - X_j}{S_j}$ (X_{ij}^* 为标准化后的数据, X_{ij} 为原始数据, X_j 为平均值, S_j 为

标准差)对原始数据进行标准化处理,消除指标间数量级差别对综合评价造成的不良影响。然后利用SPSS数据处理系统进行主成分分析,以各样本的主成分综合得分为聚类指标进行等间距聚类分析。

2 结果与分析

2.1 济南市城市绿地土壤肥力指标值的描述统计

各项肥力指标值的统计分析结果见表2,济南市城市绿地土壤容重平均值为1.35 g·cm⁻³,变异系数为11.28%,土壤较紧实。参照中华人民共和国城镇建设行业标准—绿化种植土^[23]和全国第2次土壤普查土壤肥力状况分级标准^[24],济南市城市绿地土壤pH均值为8.06,变异系数较小,为4.89%,

均值在一般植物对酸碱度要求的范围内。电导率平均为 0.22 mS·cm⁻¹, 变异系数较大, 为 74.49%, 但土壤仍均处于无盐害的安全区。有机质含量达到园林绿化种植土要求 (大于 12 g/kg), 含量中等偏低, 平均为 14.68 g·kg⁻¹, 变异系数为 57.61%, 处于第二次土壤普查分级标准的四级 (10~20 g·kg⁻¹)。

碱解氮、有效磷、速效钾含量平均值均达到园林绿化种植土要求 (碱解氮含量大于 40 mg/kg, 有效磷含量大于 8 mg·kg⁻¹, 速效钾含量大于 60 mg·kg⁻¹, 分别为 59.01、20.56、169.55 mg·kg⁻¹, 有效磷变异系数较大, 为 121.29%, 碱解氮和速效钾变异系数不大, 分别为 47.43%、44.70%, 三者分别处于第二次土壤普查分级标准的五级 (30~60 mg·kg⁻¹)、四级 (5~10 mg·kg⁻¹) 和三级 (100~150 mg·kg⁻¹)。全氮、全磷、全钾含量平均值分别为 0.93、0.65、19.15 g·kg⁻¹, 变异系数均不大, 分别为 44.53%、42.31%和 15.20%, 分别处于第二次土壤普查分级标准的四级 (0.75~1 g·kg⁻¹)、三级 (0.6~0.8 g·kg⁻¹) 和三级 (15~20 g·kg⁻¹)。

表 2 土壤肥力指标的描述统计
Table 2 Descriptive statistics of soil fertility indexes

指标 Indexes	容重 g·cm ⁻³ BD	pH	电导率 mS·cm ⁻¹ EC	有机质 g·kg ⁻¹ OM	碱解氮 mg·kg ⁻¹ Avail. N	有效磷 mg·kg ⁻¹ Avail. P	速效钾 mg·kg ⁻¹ Avail. K	全氮 g·kg ⁻¹ Total N	全磷 g·kg ⁻¹ Total P	全钾 g·kg ⁻¹ Total K
最小值	0.89	6.91	0.06	1.40	8.12	0.25	46.53	0.25	0.29	11.07
最大值	1.78	8.64	0.93	46.08	166.88	161.03	377.74	2.32	1.94	26.60
平均值	1.35	8.06	0.22	14.68	59.01	20.56	169.55	0.93	0.65	19.15
中位值	1.34	8.17	0.15	12.77	52.92	12.34	156.5	0.84	0.58	19.18
标准差	0.15	0.39	0.16	8.46	27.99	24.94	75.79	0.41	0.27	2.91
变异系数%	11.28	4.89	74.79	57.61	47.43	121.29	44.70	44.53	42.31	15.20
偏度	0.0017	-1.04	2.43	1.14	1.06	2.83	1.01	1.15	2.07	0.08
峰度	-0.02	0.21	6.30	1.37	1.38	9.81	0.62	1.68	5.26	0.08

2.2 济南市城市绿地土壤肥力指标的相关分析

土壤肥力指标的相关系数见表 3, 指标间存在着不同程度的相关关系。pH 值与有机质、碱解氮、有效磷、全氮呈极显著负相关, 与容重、速效钾呈显著正相关, 与电导率呈显著负相关; 有机质与碱解氮、速效钾、全磷呈极显著正相关, 与 pH 和全钾呈极显著负相关; 碱解氮与有效磷、速效钾、全氮、全磷、有机质呈极显著正相关, 与 pH 和容重呈极显著负相关; 有效磷与电导率、碱解氮、速效钾、全氮呈极显著正相关, 与有机质、全钾呈显著正相关, 与 pH 值呈极显著负相关; 全氮与有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全磷呈极显著正相关, 与 pH 和容重呈极显著负相关; 全磷与容重、有机质、碱解氮、速效钾、全磷呈极显著正相关。

表 3 土壤肥力指标相关系数
Table 3 Correlation coefficient of soil fertility indexes

指标 Indexes	容重 BD	pH	电导率 EC	有机质 OM	碱解氮 Avail.N	有效磷 Avail.P	速效钾 Avail.K	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
容重	1									
pH	0.137*	1								
电导率	0.078	-0.154*	1							
有机质	-0.133	-0.27**	0.014	1						
碱解氮	-0.253**	-0.255**	0.052	0.640**	1					
有效磷	0.079	-0.288**	0.223**	0.152*	0.249**	1				
速效钾	-0.012	0.151*	0.167*	0.383**	0.509**	0.221**	1			
全氮	-0.194**	-0.348**	0.012	0.789**	0.781**	0.258**	0.48**	1		
全磷	0.290**	0.049	0.105	0.322**	0.321**	0.114	0.481**	0.353**	1	
全钾	-0.063	-0.034	-0.116	-0.238**	-0.103	0.166*	-0.103	-0.088	-0.298**	1

备注: **显著性水平 $P < 0.01$, 即极显著水平; *显著性水平 $P < 0.05$, 即显著水平。

Note: **Very significance level $P < 0.01$; *significance level $P < 0.05$.

由于这些相关性的存在,直接利用各养分指标对土壤养分状况进行综合评价时,可能会出现信息重叠,致使评价结果产生偏差。上述相关系数通过 Bartlett 球度检验所得出的相伴概率为 0.00,小于显著性水平 0.05,因此认为适合进行主成分分析。因此,本文利用主成分分析法对复杂的养分指标体系进行信息提取。

2.3 济南市城市绿地土壤肥力指标的主成分分析

由表 4 可见,前 6 个特征值的累积贡献率达到了 87.48%,表明这 6 个主成分从 10 项指标中提取的信息量,已达到原始数据提供信息总量的绝大部分 ($\geq 85\%$) [25]。根据因子载荷矩阵求得前 6 个特征值的特征向量列于表 5。

由表 4、表 5 可见,第 1 主成分的贡献率为 33.16%,其中有机质、碱解氮、全氮的系数明显大于其他养分指标,说明第 1 主成分是有有机质、碱解氮、全氮养分状况的综合反映;第 2 主成分的贡献率为 15.98%,是全磷和容重状况的综合反映;第 3 主成分的贡献率为 13.30%,其中有效磷有较大的正系数,表明其反映的主要是有效磷养分状况;第 4 主成分的贡献率为 10.52%,反映的主要是土壤酸碱度和速效钾状况;第 5 主成分的贡献率为 8.96%,反映的主要是电导率状况;第 6 主成分的贡献率为 5.56%,其中全钾有较大的正系数,表明其反映的主要是全钾养分状况。

根据土壤肥力指标的得分系数矩阵(特征向量)计算 6 个主成分得分 F_i ($i=1, 2, 3, 4, 5, 6$),主成分得分 F_i 等于 10 个土壤肥力指标的主成分得分系数(特征向量)与相对应的标准化变量 (X_{ij}^*) 之积的加和。然后再根据 6 个主成分的贡献率和得分,建立土壤肥力综合得分 (F) 的数学模型: $F=F_1 \times 33.16\% + F_2 \times 15.98\% + F_3 \times 13.30\% + F_4 \times 10.52\% + F_5 \times 8.96\% + F_6 \times 5.56\%$,并计算综合得分 [25,26]。

表 4 土壤肥力指标的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvalue, contribution ratio and accumulated contribution ratio of soil fertility indexes

统计量 Statistics	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
特征值	3.32	1.6	1.33	1.05	0.9	0.56	0.47	0.33	0.3	0.15
贡献率 %	33.16	15.98	13.30	10.52	8.96	5.56	4.71	3.32	3	1.49
累计贡献率 %	33.16	49.14	62.44	72.96	81.92	87.48	92.19	95.51	98.51	100

表 5 土壤肥力指标前 6 个特征值对应的特征向量

Table 5 Eigenvectors corresponding to the first 6 eigenvalue of soil fertility indexes

指标 Indexes	1	2	3	4	5	6
容重	-0.081	0.493	0.361	0.028	-0.556	0.241
pH	-0.184	0.451	-0.313	0.432	0.311	-0.154
EC	0.091	0.124	0.545	-0.344	0.612	0.355
有机质	0.453	-0.066	-0.177	-0.133	-0.167	0.114
碱解氮	0.471	-0.126	-0.114	0.088	0.066	0.037
有效磷	0.205	-0.136	0.606	0.248	-0.074	-0.382
速效钾	0.363	0.292	-0.008	0.382	0.349	-0.011
全氮	0.496	-0.145	-0.101	0.037	-0.124	0.146
全磷	0.295	0.503	0.047	0.032	-0.193	0.091
全钾	-0.126	-0.372	0.226	0.379	-0.059	0.527

2.4 济南市城市绿地土壤肥力等级的划分

将计算出的土壤肥力综合指标值,按一定的方法即可划分土壤肥力等级。常用的划分方法有等间距法 [27]、灰色关联聚类法 [28]、系统聚类分析法 [29] 等,本研究采用等间距法,以土壤肥力综合得分为划分指标,将土壤肥力划分为 4 个等级。从表 6 可以看出,第 I 等级为养分丰富型土壤,其各项养分指标高,综合得分在 0.90~2.18 之间,占样品总数的 14.96%;第 II 等级为养分较丰富型土壤,其综合得分在 0.16~0.70 之间,所占比例 17.01%;第 III 等级土壤肥力一般,其综合得分在 -0.24~0.10 之间,占样品总数的 23.81%;第 IV 等级土壤各养分因子均缺乏,为养分缺乏型绿地土壤,其综合得

分在-1.04~-0.27 之间, 所占比例 44.22%。

表 6 不同等级绿地养分类型及综合得分

Table 6 The nutrient type and comprehensive score of different grade green lands

肥力质量等级 Fertility grade	绿地养分类型 Nutrient type	综合得分 Comprehensive scores
第 I 等级	丰富型	0.90~2.18
第 II 等级	较丰富型	0.16~0.70
第 III 等级	肥力一般型	-0.24~0.10
第 IV 等级	缺乏型	-1.04~-0.27

表 7 为各等级绿地 10 个指标含量差异性状况。第 I 等级土壤整体养分水平最高, 其有机质、碱解氮、有效磷含量均显著高于其它 3 类, 电导率、全氮、全磷含量也显著高于第 III 等级和第 IV 等级土壤; 第 II 等级土壤整体养分含量处于较高水平, 除有机质、碱解氮、有效磷含量显著低于第 I 等级外, 其它养分含量与第 I 等级差异不显著; 第 III 等级土壤养分含量水平一般, 各养分中速效钾、全氮、全磷含量显著低于第 II 等级土壤, 有机质、碱解氮、有效磷含量显著高于第 IV 等级土壤; 第 IV 类土壤整体养分水平较低, 除全钾外所有养分因子含量均小于总体平均水平。

表 7 不同等级绿地土壤各指标平均值

Table 7 The average of soil fertility indexes of different grade green lands

肥力质量等级 Fertility grade	容重 g·cm ⁻³ BD	pH	电导率 mS·cm ⁻¹ EC	有机质 g·kg ⁻¹ OM	碱解氮 mg·kg ⁻¹ Avail. N	有效磷 mg·kg ⁻¹ Avail. P	速效钾 mg·kg ⁻¹ Avail. K	全氮 g·kg ⁻¹ Total N	全磷 g·kg ⁻¹ Total P	全钾 g·kg ⁻¹ Total K
第 I 等级	1.39a	7.90a	0.32a	24.34a	99.09a	40.82a	280.49a	1.49a	1.05a	18.37a
第 II 等级	1.36a	8.14a	0.30a	17.47b	65.35b	26.26b	216.67a	1.04a	0.75a	18.22a
第 III 等级	1.33a	8.03a	0.18b	16.01b	59.68b	20.98b	154.13b	0.95b	0.55b	20.13a
第 IV 等级	1.35a	8.10a	0.17b	9.61c	42.49c	10.46c	120.70b	0.67b	0.53b	19.18a

3 结论与讨论

通过主成分分析和等间距聚类分析将 147 个土壤样品分为了 4 个肥力质量等级, 第 I 等级为养分丰富型土壤, 其各项养分指标最高, 第 II 等级为养分较丰富型土壤, 与第 I 等级相比, 有机质、碱解氮、有效磷含量相对较低, 第 III 等级土壤肥力一般, 与第 II 等级相比, 速效钾、全氮、全磷含量相对缺乏, 第 IV 等级为养分缺乏型绿地土壤, 各指标均偏低。其中养分丰富型土壤和养分较丰富型土壤样品占样本总数的 31.97%, 土壤肥力一般的样品占样本总数的 23.81%, 养分缺乏型的样品占样本总数的 44.22%, 说明济南市城市绿地土壤肥力质量整体属于中等偏低水平。

目前, 对土壤肥力进行综合评价的方法较多, 评价时选用的养分指标也不尽相同, 因此, 评价结果会有所差异。土壤肥力综合评价的结果仅代表一种潜在的生产能力, 在实际生产中, 还要结合园林植物的品种、生长特点、需肥规律以及土壤养分的有效性等统筹考虑。本研究在主成分分析的基础上, 以土壤肥力综合得分为指标, 通过等间距聚类实现了土壤肥力质量等级的划分, 对济南市城市绿地土壤肥力质量进行了初步评价, 其可靠性需接受实践的检验。

4 管理对策

首先, 应适量施用有机与无机肥料, 进行科学培肥。由于济南市城市绿地土壤有机质含量偏低, 而绿地植物的枯枝落叶、修剪的枝、叶和草都被运走, 土壤中有有机质含量不断减少, 因此, 必须重视城市绿地土壤中有机质的补充, 多施有机肥。还应针对不同等级的土壤进行施肥, 第 I 等级土壤应少施肥, 保持其均衡肥力; 第 II 和第 III 等级土壤应适量施用氮、磷肥以增加土壤养分含量; 而第 IV 等级土壤应多施肥来改善土壤养分状况, 使园林植物处于营养均衡的土壤环境中, 健康生长。

其次, 应采取有效措施, 防止机械、人群对城市绿地过度的压实和践踏, 避免让各种有害物质进入土壤, 降低土壤容重, 增加土壤孔隙度和通气、透水性能, 促进园林植物生长发育, 增强城市绿地土壤涵养水源功能。如警示牌、碎石、铁栏等。另外, 为减少城市构筑物对植物生长的不利影

响,对植物有限营养面积内的土壤进行分期分段深翻改良和进行根系修剪,选浅根地被植物和改进植物配置,以减少共生矛盾。

再次,应科学规划和种植园林植物。济南市城市绿地土壤 pH 值偏高,主要为碱性土壤。因此,在进行园林植物的种植时,必须根据土壤类型选择栽植适宜植物,力求做到适地适树、适地适花(草)。在坚实的土壤上,应选择适应性强的树种栽植,在养分较贫瘠的土壤上,不宜种植喜肥的树种,在盐碱绿地上要选择耐盐碱树种栽植;在桥下、楼北绿地上,要选耐阴、萌动晚的树种栽植。

最后,应进一步加强园林土壤肥力质量管理,制定适合绿地的施肥技术规程,提高绿地土壤养护水平。建立绿地土壤质量的动态数据库及管理信息系统,预测土壤肥力质量的变化趋势,实现绿地质量管理的标准化、模拟化和网络化。

参考文献

- [1] 张甘霖,朱永官,傅伯杰.城市土壤质量演变及其生态环境效应[J].生态学报,2003,23(3):539-546
- [2] 陈洪.重庆市主城区城市绿地土壤质量评价研究[D].重庆:西南大学,2013:1-2
- [3] 颜雄,张杨珠,刘晶.土壤肥力质量评价的研究进展[J].湖南农业科学,2008(5):82-85
- [4] 张伦.基于地学信息图谱的济南城市绿地时空变化及预测研究[D].济南:山东师范大学,2012:12-13
- [5] 赵其国,孙波,张桃林.土壤质量与持续环境 I:土壤质量的定义及评价方法[J].土壤,1997(3):113-120
- [6] 曹志洪.解译土壤质量演变规律,确保土壤资源持续利用[J].世界科技研究与发展,2001,23(3):28-32
- [7] 李新举,刘宁,张雯雯,等.黄河三角洲土壤质量自动化评价及指标体系研究[J].中国生态农业学报,2007,15(1):145-148
- [8] Andrews SS, Mitchell JP, Mancinelli R, *et al.* On-farm assessment of soil quality in California's central valley[J]. *Agronomy Journal*, 2002,94(1):12-23
- [9] Carter MR. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interaction that maintain soil function[J]. *Agronomy Journal*, 2002,94(1):38-48
- [10] 赵玉国,张甘霖,张华,等.海南岛土壤质量系统评价与区域特征探析[J].中国生态农业学报,2004,12(3):13-15
- [11] Curt T, Bouchaud M, Agrech G. Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France[J]. *Forest Ecology and Management*, 2001,149(1-3):61-74
- [12] Wilson SM, Pyatt DG, Malcolm DC, *et al.* The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site Classification of British forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2001(2/3):101-116
- [13] Rahman S. Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: an analysis of farmers' perceptions and their determinants[J]. *Journal of Environmental Management*, 2003,68(2):183-191
- [14] 林毅,梁炳杰,朱其清,等.福建烟区植烟土壤养分分类的研究[J].中国烟草科学,2003(1):46-48
- [15] 李方敏.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):66-67
- [16] 肖秋生,聂俊华,陈红艳.系统聚类分析在区域性土壤养分管理中的应用[J].山东科技大学学报:自然科学版,2003,22(3):109-111
- [17] 管东生,何坤志,陈玉娟.广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响[J].环境科学研究,1998,11(4):51-54
- [18] 卢瑛,冯宏,甘海华.广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J].水土保持学报,2007,21(1):160-163
- [19] 卢瑛,甘海华,史正军,等.深圳城市绿地土壤质量评价及管理对策[J].水土保持学报,2005,19(1):153-156
- [20] 王建,白雪梅,武玲珍,等.城市绿地土壤综合质量评价——以重庆市北碚区为例[J].中国高新技术企业,2009(14):124-125
- [21] 边振兴,王秋兵.沈阳市公园绿地土壤养分特征的研究[J].土壤通报,2003,34(4):284-290
- [22] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:14-187
- [23] 中华人民共和国住房和城乡建设部.CJ/T 340-2011, 中华人民共和国城镇建设行业标准中绿化种植土[S].2011:4
- [24] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998:860-934
- [25] 赵华富,周国兰,刘晓霞,等.贵州茶区土壤养分状况综合评价[J].中国土壤与肥,2012(3):30-34
- [26] 闫铁军,吴风光,毛福利,等.襄樊烟区土壤养分状况的综合评价[J].华北农学报,2010,25(增刊):200-203
- [27] 邵惠芳,郑聪,苏永士,等.三门峡烟区土壤养分状况的综合评价[J].西南农业学报,2009,22(4):1011-1015
- [28] 李东亮,许自成.烤烟化学成分指标的灰色关联聚类分析[J].农业系统科学与综合研究,2007,23(4):411-414,420
- [29] 李国栋,胡建军,周冀衡,等.基于主成分和聚类分析的烤烟化学品质综合评价[J].烟草科技,2008(12):5-9,13