

西安咸阳国际机场绿地土壤养分分析与评价

赵 军¹, 尚 杰¹, 耿 荣¹, 张 帆², 林 云¹, 耿增超^{1*}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨陵 712100;

2. 陕西省宝鸡市辛家山林业局, 陕西 宝鸡 721700)

摘 要:采用野外调查及室内分析的方法,对西安咸阳国际机场4个主要功能区绿地土壤的有机质、pH值、全钾、全磷、全氮、速效钾、有效磷、碱解氮8项养分指标进行了测定分析,并运用模糊评价方法进行了综合评价。结果表明:8项养分指标的权重系数分别为有机质9.79%、pH9.32%、全钾17.48%、全磷8.43%、全氮14.13%、速效钾12.99%、有效磷14.20%、碱解氮13.65%;西安咸阳国际机场的4个功能区的绿地土壤肥力综合性指标值(*IFI*)分别为东进场0.410 2、一号桥0.493 7、广场区0.478 9、西进场0.509 4,均处于3级水平。总体来看西安咸阳国际机场绿地土壤的养分含量处于中等水平,存在的主要问题是有机质含量严重缺乏、全氮和碱解氮含量偏低、pH值偏高等。建议应在使用化肥的同时增加有机肥的施用量,以实现机场绿地土壤的养分平衡。

关键词:绿地;土壤养分;西安咸阳机场;模糊数学;综合评价

中图分类号:S714.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)01-0257-06

Analysis and Evaluation of Green Land Soil Nutrients in Xi'an Xianyang International Airport

ZHAO Jun¹, SHANG Jie¹, GENG Rong¹, ZHANG Fan², LIN Yun¹, GENG Zeng-chao^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University / Key Laboratory for Plant Nutrient and Agricultural Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Forestry Bureau of Xinjiashan, Baoji, Shaanxi 721700, China)

Abstract:Field investigation and laboratory analysis of soil nutrients were carried out with eight indexes in the soils of the green lands in four major functional areas of Xi'an-Xianyang International Airport. The indexes included organic matter, pH, total potassium, total phosphorus, total nitrogen, available potassium, available phosphorus and alkali-hydrolyzable nitrogen. A comprehensive evaluation on soil nutrients was conducted with the method of fuzzy evaluation. The results showed that the weight coefficients of eight indicators of nutrients were organic matter 9.79%, pH 9.32%, total K 17.48%, total P 8.43%, total nitrogen 14.13%, readily available K 12.99%, available P 14.20%, and available N 13.65%, respectively. Integrated soil fertility index (*IFI*) of four functional areas of Xi'an-Xianyang International Airport were east approach 0.410 2, No. 1 Bridge 0.493 7, plaza area 0.478 9, west approach 0.509 4, and all of these were in level III. Overallly, soil nutrients belonged to medium levels, problems were the sever shortage of organic matter, low levels of total and available N, and higher pH value than normal soil. It was suggested that while applying inorganic fertilizers, the application of organic fertilizer must be increased to realize the balance of soil nutrients.

Key words:green land; soil nutrient; Xi'an-Xianyang International Airport; Fuzzy mathematics; comprehensive evaluation

收稿日期:2014-04-07 修回日期:2014-07-01

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2010JM5004)。

作者简介:赵军,男,硕士研究生,研究方向:土壤生态及土壤养分。E-mail:zhaojun610@163.com

* 通信作者:耿增超,男,教授,研究方向:森林土壤及农业废弃物转化。E-mail:gengzengchao@126.com

机场是现代城市的门户和窗口,机场的绿化是机场整体环境和空间形象的最直接体现,不仅可以反映其所在城市的特征、文化底蕴,还能体现时代的风貌和塑造城市的良好形象^[1]。机场绿地作为机场土壤的主要存在方式,是机场生态系统的重要组成部分,其具有的植物、微生物生长功能和污染物过滤、缓冲及转化功能对美化和净化环境有着重要的意义,其性质和规律不同于一般的自然土壤(如农业和森林土壤)。良好的机场绿化不仅能美化环境、丰富机场景观,还能降低飞机噪音和减少大气污染,而且还可以通过机场的绿化建设补偿在机场建设期间对环境的破坏和污染,对恢复原生态的建设有着十分重要的功能和作用^[2]。机场绿化是城市绿化的重要组成部分,具有城市公共绿化的基本特征,尽管频繁的城市化过程不会使土壤的六大功能^[3-5]完全转变或者彻底丧失,但会使其功能的发挥受到不同程度限制。近年来我国城市绿地土壤质量越来越受到关注,并有一些研究报道^[6-12],土壤养分含量是评价土壤肥力质量的重要属性指标之一,而土壤肥力质量直接影响到绿地的生物量。

西安咸阳国际机场于 1984 年开工建设,启用于 1991 年 9 月,占地面积 564 hm²,位于中国内陆中心,具有“承接东西,联结南北”的区域优势,是中国西北地区最大的空中交通枢纽,中国第八大机场,西部第三大机场,但是由于机场绿地土壤肥力不均衡、养分贫瘠、利用不合理等原因导致绿化质量不高,因此科学合理地评价机场绿地土壤养分,对指导机场绿化具有重要意义。以往的评价均侧重于对土壤养分的定性评价和单因素评价,但是近年来随着数值化评价方法^[13-16]的提出和进一步的实践应用,越来越多的研究学者把黑箱方法、模糊数学评价法、聚类分析法、因子分析法和多元统计分析方法等现代研究方法逐渐应用于土壤养分的综合评价中,从而使土壤养分评价逐渐转变为重视定量评价和多因素综合评价的应用。为了促进机场绿化建设和保证生态良好,本研究对机场绿地土壤的养分状况进行测定、分析,并运用模糊数学评价的基本原理对土壤肥力进行综合评价,目的是为机场绿化和景观规划提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西安咸阳国际机场位于陕西省咸阳市底张镇,西安市西北、咸阳市东北方向,距西安市中心 47 km,距离咸阳市 13 km,34°26′50″N,108°45′06″E,

海拔高度约 479 m,属于暖温带大陆性半干旱季风性气候,四季冷暖分明。机场绿化植被种类繁多,主要有大叶女贞(*Ligustrum lucidum*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、樱花(*Prunus serrulata*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、雪松(*Cedrus deodara*)、桂花(*Osmanthus fragrans*)、红叶李(*Prunus cerasifera*)、国槐(*Sophora japonica*)、五角枫(*Acer mono*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、栎树(*Koelreuteria paniculata*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、南天竹(*Nandina domestica*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、月季(*Rosa chinensis*)、龙柏(*Sabina chinensis*)、青桐(*Firmiana simplex*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)、大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)、红叶石楠(*Photinia serrulata*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、七叶树(*Aesculus chinensis*)、腊梅(*Chimonanthus praecox*)、夹竹桃(*Nerium indicum*)、玉兰(*Magnolia denudata*)、柿树(*Diospyros kaki*)等。

1.2 土样采集与处理

根据土地利用性状、人类活动强度、地域面积和植被生长等状况,在西安咸阳国际机场的东进场、西进场、广场区、一号桥共 4 个主要功能区设置具有代表性的采样点 161 处,分别采集 0~25 cm 的表层土壤样品混合均匀,用四分法各取土样约 1 kg。土样在自然风干后混匀、磨碎、过筛、装瓶备用。

1.3 测定指标和方法

土壤 pH 值采用水土比为 2.5 : 1 水浸提 pH 计法测定;有机质含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定;碱解氮用碱解扩散法测定;全钾含量采用氢氧化钠熔融-火焰光度法测定;速效钾含量采用 NH₄OAC 浸提-火焰光度法测定;全磷含量采用氢氧化钠熔融法-钼锑抗比色法测定;有效磷采用 0.5 mol · L⁻¹ NaHCO₃ 法测定^[17]。

1.4 数据处理

利用 Microsoft Excel 统计分析和 SPSS Statistics 17.0 统计软件对机场 4 个主要功能区的 161 个土壤样品的 8 项养分指标进行处理,并进行相关分析和综合评价。

1.5 方法

土壤养分评价的等级指标一般采用模糊线性隶属度函数来确定,常用的隶属函数主要有 2 类,即抛物线型隶属度函数和 S 型(正相关型)隶属度函数。

1.5.1 抛物线型隶属度函数 抛物线型,即指标有一个最佳范围,在此范围之外,偏离程度越大,评价

对象质量越差,属于这种类型的评价指标有 pH 值等。根据陕西省土壤肥力状况,参照全国农业地力

等级的划分标准^[18]及其他相关土壤养分的研究资料,pH 值的隶属度函数 $f(x)$ 如下式:

$$f(x)=\begin{cases} 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3)+0.1, & x_3<x\leq x_4; \\ 1.0, & x_2<x\leq x_3; \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1, & x_1<x\leq x_2; \\ 0.1, & x\leq x_1 \text{ 或 } x>x_4 \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 为肥力指标在曲线中的转折点(表 1)。

表 1 抛物线型隶属度函数曲线中转折点的取值

Table 1 Values of turning point in parabola-type membership function

转折点	x_1	x_2	x_3	x_4
pH	4.5	5.5	6.5	8.5

1.5.2 S 型(正相关型)隶属度函数 由于土壤中的有机质、全氮、有效磷、全钾和速效钾等肥力指标的隶

属度函数均为 S 型函数,因此依据模糊数学原理,把 S 型曲线转化成相应的折线函数,以利于计算^[19]。根据西安咸阳国际机场土壤养分的实测数据,各养分指标的隶属度函数曲线转折点的取值见表 2。

$$f(x)=\begin{cases} 1.0, & x\geq x_2; \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1, & x_1\leq x<x_2; \\ 0.1, & x<x_1 \end{cases} \quad (2)$$

式中: x_1 和 x_2 为肥力指标在曲线中的拐点。

表 2 S 型隶属度函数曲线中不同肥力评价指标的转折点的取值

Table 2 Values of turning point in S-type membership function of different indexes

转折点	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全钾 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 /(mg·kg ⁻¹)
x_1	5.0	0.5	5.0	0.2	6.0	50.0	3.0
x_2	25.0	1.5	20.0	1.0	30.0	180.0	15.0

1.5.3 土壤肥力的综合评价指标值 根据模糊数学中的加乘法则,求出土壤肥力的综合性指标值(IFI)。

$$IFI=\sum W_iN_i \quad (3)$$

式中: W_i 表示第 i 种养分指标的权重系数, N_i 表示某采样点的各评价指标的隶属度。

综合评价指标值构成了评价单元土壤养分总的得分值,它综合反映了该评价对象的土壤养分状况,也是作为土壤养分等级划分的可靠依据^[20]。综合评价指标值一般为 0~1, IFI 其值越大,表明土壤肥力越高,其值越小,则表明土壤肥力越低。

2 结果与分析

2.1 机场土壤养分基本状况

从调查的 161 个土样来看,西安咸阳国际机场绿地土壤养分状况丰缺程度不一,差异比较大(表 3),其中变幅最大的为速效钾,其含量变幅为 77.00~216.01 mg·kg⁻¹,相差 2.81 倍,标准差为 26.65,变异程度中等,平均值为 134.70 mg·kg⁻¹,处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅲ级水平(含量范围为 100~150 mg·kg⁻¹);有机质含量的平均值为 5.99 g·kg⁻¹,变异程度中等,处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅵ级水平;pH 值的变幅为 8.00~8.96,平均值为 8.51,标准差为 0.20,变异程度弱;全钾含量的平均值为 16.20 g·kg⁻¹,标准差

为 0.739,变异程度弱,处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅲ级水平;全磷和有效磷的含量均处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅳ级水平,平均含量分别为 0.598 g·kg⁻¹、7.98 mg·kg⁻¹,标准差分别为 0.403、5.63,变异程度均强;全氮平均值为 0.699 g·kg⁻¹,标准差为 0.488,变异程度强,处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅴ级水平;碱解氮平均值为 16.57 mg·kg⁻¹,标准差为 5.95,变异程度中等,处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅵ级水平。

表 3 咸阳国际机场土壤养分含量测定结果

Table 3 The determination results of soil nutrient of international airport in Xianyang

指标	变幅	平均值	标准差 SD	变异 系数 SV
有机质/(g·kg ⁻¹)	3.74~10.53	5.99	1.04	17.29
pH	8.00~8.96	8.51	0.20	2.34
全钾/(g·kg ⁻¹)	14.39~19.33	16.20	0.74	4.56
全磷/(g·kg ⁻¹)	0.37~0.56	0.60	0.40	67.49
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.21~3.98	0.70	0.49	69.81
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	77.00~216.01	134.70	26.65	19.78
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	10.91~44.55	16.57	5.95	35.91
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	1.07~46.06	7.98	5.63	70.48

2.2 机场土壤养分之间的相关性

西安咸阳国际机场土壤养分之间简单相关系数(表 4)看出,某一养分指标均与其他各指标间存在着不同程度的相关性。其中,有机质含量与全钾、全磷、全氮含量存在着极显著的正相关($p<0.01$),与

速效钾存在着显著的正相关($p<0.05$),这与徐秋芳^[21]等人的研究观点是一致的;pH 值与全磷、全氮、有效磷、碱解氮含量呈极显著或显著的负相关,而与全钾、速效钾含量呈极显著的正相关;全钾含量与全磷、有效磷、碱解氮含量存在着极显著的负相关,与全氮含量呈极显著的正相关,与速效钾呈显著

的正相关关系;全磷含量与全氮、有效磷含量呈极显著的正相关,而与速效钾、碱解氮含量呈极显著的负相关;全氮含量与速效钾、有效磷含量呈极显著的负相关,与碱解氮含量呈极显著的正相关;速效钾含量与有效磷、碱解氮含量呈极显著的正相关;有效磷含量与碱解氮含量呈极显著的正相关。

表 4 土壤养分指标之间的相关关系

Table 4 Correlationship of the soil nutrient indexes

指标	有机质	pH	全钾	全磷	全氮	速效钾	有效磷
pH	-0.826**						
全钾	0.599**	0.348**					
全磷	0.468**	-0.103*	-0.634**				
全氮	0.11**	-0.165**	0.854**	0.596**			
速效钾	0.037*	0.157**	0.774*	-0.342**	-0.857**		
有效磷	-0.65**	-0.71**	-0.837**	0.156**	-0.547**	0.584**	
碱解氮	-0.023**	-0.273*	-0.796**	-0.606**	0.787**	0.848**	0.45**

注: * 表示显著相关, $p<0.05$; ** 表示极显著相关, $p<0.01$ 。

2.3 机场土壤肥力综合评价

2.3.1 各养分指标的权重确定 采用相关分析法确定权重,即采用各指标间的相关系数的绝对值来确定权重系数^[22]。应用统计软件 SPSS17.0 求出各养分指标的相关系数,以某项养分指标与其他养分指标间的相关系数绝对值的平均值占所有养分指标相关系数绝对值的平均值总和的比值,作为该项养分指标在表征土壤养分的权重(表 5)。

表 5 土壤肥力指标的相关系数平均值和权重值

Table 5 Average correlation coefficients and weight values of soil fertility indexes

肥力指标	相关系数平均值	权重系数/%	肥力指标	相关系数平均值	权重系数/%
有机质	0.387 6	9.79	全氮	0.559 4	14.13
pH	0.368 9	9.32	速效钾	0.514 1	12.99
全钾	0.691 7	17.48	有效磷	0.562 0	14.20
全磷	0.333 6	8.43	碱解氮	0.540 4	13.65

2.3.2 土壤养分肥力综合评价结果与分析 根据公式(1)和公式(2)隶属度函数,计算出西安咸阳机场东进场、西进场、广场区、一号桥 4 个主要功能区的各养分指标的隶属度值。同时结合表 5 的各养分指标的权重系数,运用公式(3)计算得到四个区域的土壤肥力综合性指标值 IFI (表 6)。

土壤肥力水平是诸多肥力因素综合作用结果的反映,有研究表明^[23]综合评价不仅可以用数字直观的表达复杂多变的土壤肥力,而且其评价结果还能够较好地反映该参评区土壤养分水平的基本状况。由表 6 可以看出西安咸阳机场的 4 个主要功能区的绿地土壤养分贫瘠化程度严重程度依次为东进场>广场区>一号桥>西进场。本研究中采用等间距法^[24]将研究区域的土壤肥力划分为“极高、高、中等、低等和极低”共 5 级水平,即 1 级($IFI\geq 0.8$)、2

级($0.6\leq IFI<0.8$)、3 级($0.4\leq IFI<0.6$)、4 级($0.2\leq IFI<0.4$)、5 级($IFI<0.2$)。结果显示,西安咸阳机场的 4 个区域的土壤肥力的综合性指标值均处于 3 级水平。总体来看西安咸阳机场绿地土壤的养分含量处于中等水平,存在的主要问题是有机质含量严重缺乏、全氮和碱解氮含量偏低、pH 值偏高。

表 6 各采样区土壤肥力的综合性指标值

Table 6 Comprehensive index of soil fertility

采样点位置	IFI	土样数	所占比例	累计比例
东进场	0.410 2	22	13.66	13.66
一号桥	0.493 7	48	29.82	43.48
广场区	0.478 9	46	28.57	72.05
西进场	0.509 4	45	27.95	100.00

3 结论与讨论

植物的生长需要适量的营养元素,其含量的缺乏或比例的失调都会使植物的生长发生一定的异常变化,使植物的生理代谢等受到不同程度的阻碍,从而影响植物的长势。本研究对西安咸阳国际机场的绿地土壤调查测定结果显示,西安咸阳国际机场的绿地土壤养分丰缺程度不一,差异比较大。土壤中速效钾和全钾含量较丰富,均处于全国第二次土壤普查分级标准Ⅲ级水平,其含量变幅分别为 77.00~216.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、14.39~19.33 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均含量分别为 134.70 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、16.20 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,变异系数分别为 19.78%、4.56%,这一方面可能与机场在绿化过程中管理人员向土壤中施用了钾肥,另一方面,机场绿地成土黄土母质富含钾素;全磷和有效磷含量均处于Ⅳ级水平;pH 值较高,其变幅为 8.00~8.96,平均值为 8.51,标准差为 0.20,变异系

数为 2.34%，呈弱碱性到碱性，这主要可能是由于黄土母质富含碳酸钙，再加之频繁的城市化过程中城市土壤中常常混有建筑废弃物、水泥、砖块和其他碱性混合物等，其所含的钙不断的向土壤中释放及大量的含碳酸盐灰尘的沉降等均会使土壤的 pH 值表现为偏碱性^[25-26]。另外，这些城市建筑废料中的碱性物质往往可以与土壤发生碱性反应，并成为一个持久性的化学物质遗留在土壤剖面中^[27]，然后再经过长时间的雨水冲刷则逐渐使这些碱性材料也污染了相邻的土壤。土壤 pH 值升高会影响土壤养分的形态及其有效性，最终导致植物营养不平衡、缺乏，严重的则出现植物萎黄症状^[7]。土壤有机质的含量极低，这主要与机场的建设和绿地的管理措施等密切相关，一方面机场在建设过程中，一般都将表土和地表植物去除，致使含有较少有机质的地下土壤被挖翻于表面，从而降低了土壤中有有机质的含量；另一方面，机场绿化的主要目的是为了美化环境，由于环保工人频繁的清除枯枝落叶、剪草及其他有机残留废弃物，从而进一步的减少了土壤有机质的输入，有机质的变幅为 3.74~10.53，平均含量为 5.99 g·kg⁻¹，变异系数为 17.29%，处于分级标准的 5 级水平，因为土壤有机质是反应土壤肥力的重要指标之一，它对土壤的理化性质及生物学特性都能产生直接的影响^[28-29]，所以有机质的贫瘠化成为该评价区的主要限制因子。目前国内外还没有具体的绿地土壤养分评价标准，该研究的养分等级水平是依据相关研究资料和全国第 2 次土壤普查的养分分级标准划分的，由于我国第 2 次土壤普查的养分分级标准划分主要是针对农田土壤，所以评价分析还会存在一定的缺陷，更加合理地确定绿地土壤养分分级评价标准还有待进一步的深入研究。

土壤肥力不仅受土壤养分含量变化的影响，而且还受到植物对养分的吸收能力的影响，但更取决于各因子的协调程度^[30]，是诸多肥力因素综合作用的反映。目前对土壤肥力进行评价的方法较多，评价时所选的养分指标也不尽相同，且肥力等级的划分以及权重系数的确定在国内还没有统一的标准。本研究利用相关分析法确定权重系数，并采用模糊数学中的加法模型对土壤肥力进行综合评价，从整体上反映了西安咸阳国际机场的绿地土壤养分状况。研究结果显示，试验采集的 161 个绿地土壤样品的 IFI 值的平均值为 0.473 1，东进场、西进场、广场区、一号桥 4 个区域的土壤肥力的综合性指标值分别为 0.410 2、0.493 7、0.478 9、0.509 4，均处于 3 级中等水平。本研究中关于各参评养分指标的选定还存在一定的不足，科学、合理的评价指标体系

还应该包括土壤的物理、化学和生物学特性等^[31]，综合各因素的评价才能更加准确的、真实地反映土壤的现实生产能力，有关其他因素对该区土壤肥力的影响尚待进一步的研究。

参考文献：

[1] 俞莉萍. 上海虹桥国际机场扩建工程景观设计[J]. 上海建设科技, 2010(5): 47-49.

[2] 杨太东, 张积洪. 机场运行指挥 [M]. 北京: 中国民航出版社 2008: 61-62 .

[3] 赵其国, 周建民. 为 21 世纪土壤科学的创新做出新的贡献——参加第 17 届国际壤学大会综述[J]. 土壤, 2002, 34(5): 237-256.

[4] 陈杰, 陈晶中, 檀满枝. 城市化对周边土壤资源与环境的影响[J]. 中国人口·资源与境, 2002, 12(2): 70-74 .
CHEN J, CHEN J Z, TAN M Z. Impact of urbanization on soil resource and environment of surrounding area[J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(2): 70-74. (in Chinese)

[5] 王秋兵. 土地资源学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.

[6] JIM C Y . Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong [J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 40: 235-249.

[7] JIM C Y . Soil characteristics and management in an urban park in Hong Kong [J] . Environmental Management, 1998, 22(5): 683-695.

[8] 管东生, 何坤志, 陈玉娟. 广州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.
GUAN D S , HE K Z , CHEN Y J. The soil characteristic of Guangzhou urban vegetation and its effects on tree growth [J]. Research of Environmental Sciences, 1998, 11(4): 51-54. (in Chinese)

[9] 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.
BIAN Z X, WANG Q B. Study on urban park soil nutrients in Shengyang City's green areas [J]. Journal of Soil Science, 2003, 34(4): 284-290. (in Chinese)

[10] 项建光, 方海兰, 杨意, 等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. 土壤, 2004, 36(4): 424-429.
XIANG J G, FANG H L, YANG Y, *et al.* Soil quality evaluation of some typical newly-established green belts in Shanghai [J]. Soils, 2004, 36(4): 424-429. (in Chinese)

[11] 陈立新. 城市土壤质量演变与有机肥改土培肥作用研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 36-39.
CHEN L X. Study on quality evolution of city soil and effect of soil amelioration by organic fertilizer application [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(3): 36-39 . (in Chinese)

[12] 王良睦, 王文卿, 林鹏. 城市土壤与城市绿化[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 180-181 .
WANG L M, WANG W Q, LIN P. Urban soil and its relationship to landscape planting[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 180-181. (in Chinese)

- [13] 何同康. 土壤(土地)资源评价的主要方法及其特点比较 [J]. 土壤学进展, 1983(6): 1-12.
- [14] 曹承绵, 严长生, 张志明, 等. 关于土壤肥力数值化综合评价的探讨 [J]. 土壤通报, 1993, 27(4): 13-15 .
- [15] 张兴昌. 土壤肥力的数学评价初探 [J]. 陕西农业, 1993(4): 8-11 .
- [16] 耿兴元, 毛达如. 推荐施肥中土壤肥力模糊评判方法 [J]. 中国农业科学, 1994, 27(5): 51-62.
GENG X Y, MAO D R . A study on fuzzy evaluation approach to soil fertility in fertilizer recommendation [J] . Agricultural Sciences in China, 1994, 27(5): 51-62. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 309-1996 全国耕地类型区耕地地力等级划分[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 1-25 .
- [19] 沈思源. 土壤资源评价指标的研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 128-133.
- [20] 吕苏丹, 汪光宇, 邬亚浪, 等. 东阳万亩园区土壤养分综合评价研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(3): 272-276.
LV S D, WANG G Y, WU Y L , *et al.* Integrated evaluation of soil nutrients in modern agricultural demonstration garden of Dongyang county [J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2002, 28(3): 272-276. (in Chinese)
- [21] 徐秋芳, 俞益武, 姜培坤. 商品林地土壤养分贫瘠化评价[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 99-102 .
XU Q F, YU Y W, JIANG P K. Evaluation of soil nutrient depletion for commercial forest land [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(2): 99-102. (in Chinese)
- [22] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究 [J]. 土壤, 2004, 36(1): 104- 106 .
LUO B S, ZHONG J H, CHEN J J. Integrated digitization evaluation on soil fertility[J]. Soils, 2004, 36(1): 104-106. (in Chinese)
- [23] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究 [J]. 浙江大学学报, 1999, 25(4): 378- 382.
LV X N, LU Y F, WANG R C. Preliminary studies on the integrated evaluation of soil nutrient fertility [J]. Journal of Zhejiang University, 1999, 25(4): 378-382. (in Chinese)
- [24] 赵文田, 刘海伦, 吕家珑, 等. 陕西陇县烤烟种植区土壤养分的测定与肥力综合评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 123-128.
ZHAO W T, LIU H L, LV J L. Determination and comprehensive evaluation of soil fertility in Shaanxi Longxian tobacco-growing areas[J]. Journal of Northwest A & F University: Nat. Sci. Ed. , 2009, 37(9): 123-128. (in Chinese)
- [25] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究 [J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 93-96 .
- [26] 龙明杰, 曾繁森. 高聚合物土壤改良剂研究进展 [J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 199- 202 .
LONG M J, ZENG F S. Changes in organic carbon storage in aggregates of the surface horizon in a degraded Paleudlt upon vegetation recovery [J] . Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(5): 199- 202. (in Chinese)
- [27] 李志国, 张过师, 刘毅, 等. 湖北省主要城市园林绿地土壤养分评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2159-2165.
LI Z G, ZHANG G S, LIU Y, *et al.* Assessment of soil nutrient status in urban green space of main cities in Hubei Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(8): 2159-2165. (in Chinese)
- [28] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 206-209.
LU Y, GONG Z T, ZHANG G L. Characteristics and management of urban soil [J]. Soil and Environmental Science, 2002, 11(2): 206-209. (in Chinese)
- [29] CRAUL P J. The nature of urban soils: Their problems and future[J]. Arboricultural Journal, 1994, 18: 75-287. (in Chinese)
- [30] 黎妍妍, 许自成, 肖汉乾, 等. 湖南省主要植烟区土壤肥力状况综合评价 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(11): 179- 183 .
LI Y Y, XU Z C, XIAO H Q, *et al.* The comprehensive evaluation of soil fertility status for tobacco-growing areas in Hunan Province [J] . Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed. , 2006, 34(11): 179-183.
- [31] 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法[J]. 土壤, 2001, 33(6): 326-330, 333.