

秦巴山区土壤信息系统的建设研究

申健, 常庆瑞, 俞方圆, 马廷刚, 李慧燕

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 土壤信息系统现已成为土壤学研究的前沿热点。秦巴山区地理环境的特殊性以及土壤资源与农业生产的矛盾, 使秦巴山区土壤信息系统的建立成为迫切需要。收集整理了陕西秦巴山区各种土壤数据及相关资料, 在 GIS 支持下建立了土壤数据库, 并在此基础上使用 C#.net + ArcEngine 开发了土壤信息系统, 实现了 GIS 基本查询分析功能以及土地评价等多种应用模块, 为秦巴山区防治水土流失, 合理发展农业生产及相关决策的制定提供了科学依据。

关键词: 土壤信息系统; 土壤数据库; GIS; 秦巴山区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)01-0155-05

中图分类号: S159, TP31

Construction of Soil Information System for Qinling — Bashan Mountainous Area

SHEN Jian, CHANG Qing-rui, YU Fang-yuan, MA Ting-gang, LI Hui-yan

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil information system(SIS) has become a hot topic in soil science. It is imperative to establish Qinling—Bashan SIS due to the special geographical characteristics and the conflicts between limited soil resources and demanding agricultural production in Qinling—Bashan Mountain. This study collected a variety of soil data and related information, and established the soil database with the support from GIS. On this basis, SIS was developed with using C#.net plus ArcEngine, which achieved GIS basic functions of query and analysis, application modules including land evaluation and so on. The system will provide scientific basis for the prevention and control of soil erosion, sustainable development of agricultural production and related decision-making in Qinling-Bashan Mountainous area.

Keywords: soil information system; soil database; GIS; Qinling — Bashan Mountainous area

土壤是地球陆地生态系统的核心^[1], 是人类生存发展的物质基础和历史文明产生的必要条件。土壤学是解决人口—资源—环境—粮食矛盾的重要学科之一^[2], 由于土壤信息海量复杂, 传统的纸质载体使土壤科研人员长期面对着查询困难, 精度低, 数据陈旧, 更新周期长, 纸质资料保护不力, 缺失严重等问题。随着土壤数据现状与科学研究、农业生产之间矛盾的日益加剧, 土壤学的数字化和信息化成为土壤科学研究的热点和必然趋势^[3-4]。

1986 年国际土壤学会提出建立全球和国家层次的土壤—地形数字化数据库 SOTER 计划^[1]。时至今日, 美国等发达国家对土壤信息系统的研究已经进入了高级发展阶段^[5]。1986 年由北京大学遥感研究中心及信息中心等主持的“土壤侵蚀信息系统研究”, 建立了区域土壤侵蚀信息系统^[6], 开创了我国土壤信

息系统研究的先河。90 年代末以来, 史舟^[7]、周斌^[8]、吴顺辉^[9]、林杰^[10]、刘京^[11]、吴克宁^[12]、赵明松^[13]等人分别进行了浙江、贵州、广东、江西、陕西、河南、安徽等省级土壤数据库及信息系统的建立和研究工作。潘剑君^[14]、马友华^[15]、王伟^[16]、罗明云^[17]、赵文君^[18]等也分别在余江、合肥、重庆、南充等地建立了市(县)级大比例尺的土壤信息系统, 取得了一定的成就和社会经济效益。

本研究选取秦巴山区作为研究区域。秦巴山区独特的气候、植被、水文等条件, 对土壤资源的分布和演变有着特殊的影响。该地区也属于生态环境脆弱的石山区, 水土流失严重, 自然灾害频繁, 农业生产效率低下。建立秦巴山区土壤数据库信息系统, 一方面可丰富我国中比例尺特殊自然地理区划的 SOTER, 另一方面可收集保护该地区的土壤信息资料, 对其进

收稿日期: 2010-07-01

修回日期: 2010-08-02

资助项目: 国家科技基础性专项重点项目“秦巴山区生态群落与生物种质资源调查”(2007FY110800-07)

作者简介: 申健(1985—), 男(汉族), 陕西省铜川市人, 在读硕士, 研究方向为资源环境遥感监测与评价。E-mail: jshen28@hotmail.com。

通信作者: 常庆瑞(1959—), 男(汉族), 陕西省子洲县人, 教授, 博导, 主要从事资源环境与 3S 技术研究。E-mail: chqr@nwsuaf.edu.cn。

行规范化、信息化管理,提高了土壤数据的利用效率,为农业技术推广和水土流失防治工作提供了现代化的基础数据平台,提高了农业资源管理和利用的信息化水平。

1 研究区概况

秦巴山区位于我国中部腹地,其中大部分位于陕西省境内,陕西段秦巴山区包括陕南三地市以及秦岭北坡关中区县的部分地区,东经 $105^{\circ}21' - 111^{\circ}15'$,北纬 $31^{\circ}42' - 34^{\circ}3'$,面积约 $83\ 743\ \text{km}^2$ 。以秦岭为界,北坡属于暖温带气候,年平均气温在 $11\ ^{\circ}\text{C}$ 左右,年降水量 $500 \sim 700\ \text{mm}$;秦岭以南地区属于亚热带气候,湿润温和,年平均气温在 $14\ ^{\circ}\text{C}$ 以上,年均降水量在 $800\ \text{mm}$ 以上,大巴山区则大于 $1\ 000\ \text{mm}$ 。

陕西段秦巴山区包括秦岭、汉江谷地和巴山山脉。其中秦岭西起嘉陵江,东接伏牛山,绵延 $800\ \text{km}$ 余,平均海拔 $1\ 000\ \text{m}$ 以上,最高峰太白山海拔 $3\ 767\ \text{m}$ 。秦岭介于渭河和汉江之间,是黄河与长江的分水岭,也是我国一条重要的地理分界线;汉江谷地位于秦岭和大巴山之间,有汉中盆地、西乡盆地、安康盆地等众多小盆地,这里土地肥沃,河流纵横,水热条件好,是陕南重要的农业产区;巴山山脉全长约 $300\ \text{km}$,西起嘉陵江谷,东至武当山,呈西北至东南走向,山高林密,是陕西省与四川省之间的一道天然屏障。

该区域海拔落差大,山势陡峭,人为破坏活动较少,加上温和的气候使得自然植被发育非常旺盛,土壤资源丰富,类型多样,主要包括棕壤、黄棕壤、粗骨土、石质土、水稻土、褐土、黄褐土等土壤类型,其中黄棕壤面积最大,主要分布在海拔 $900 \sim 1\ 500\ \text{m}$ 的中低山地。其次是棕壤,主要分布在海拔 $1\ 300 \sim 2\ 400\ \text{m}$ 的中山区,二者面积占该地区土壤面积的 80% 以上,但其土壤结构差,黏性弱,分布地区坡度大,抵御水土流失能力差,土地质量贫瘠。而汉中盆地、西乡盆地和安康盆地等低海拔,较为平坦的地区主要土壤类型为水稻土、黄褐土。商洛谷间盆地和秦岭北麓坡底主要分布为褐土,耕地较为肥沃,却集中了大量人口,土地与资源环境压力大。

2 数据库设计与建立

土壤数据库是土壤信息系统的重要组成部分,是“数字土壤”的根基所在,对“数字土壤”的建设起着重要的支撑作用。优秀的数据库设计不但方便系统开发,能够提高系统效率,降低系统运行和维护的成本,而且还提高了系统的安全性、可靠性和可扩展性。因此,必须严格地把握每一个技术环节,按照数据库设

计的原则和标准,采用正确的作业流程组织数据结构和录入数据,以确保准确无误。土壤数据库主要包含空间数据库和属性数据库两部分,其作业流程图见图 1。

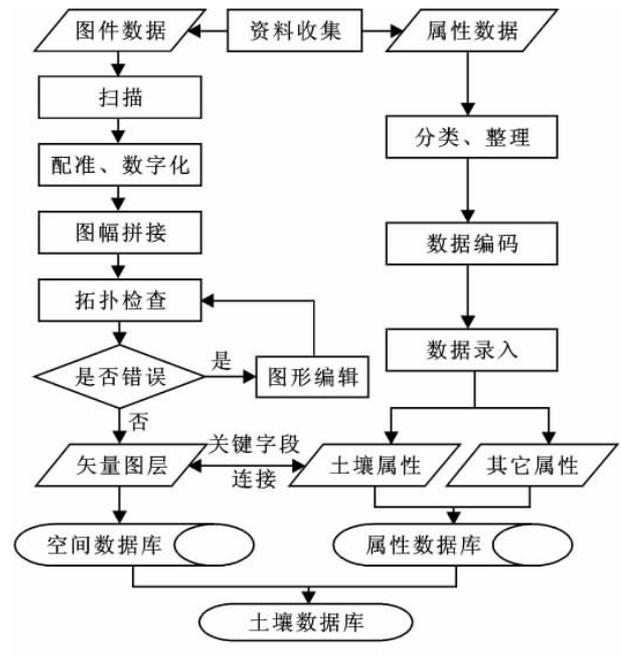


图 1 土壤数据库建库流程

2.1 空间数据库

空间数据库是在 GIS 支持下的一种更加直观、高效的空間信息管理手段,较之早前的纸质地图数据管理方式,具有查询方便,更新快捷,易保存和面向用户的强定制性等优点,为土壤属性数据提供了空间信息定位,二维甚至三维空间表达,使现代土壤信息系统信息更加丰富,表达更加多样,使用效率更高,应用更加强大。

2.1.1 图件资料获取 本研究以陕西省县域耕地地力评价为依托,收集了陕南秦巴山区各县 $1:5$ 万行政区划图、地形图、土壤图、土地利用类型图等,图件主要来源于省级及县级农技推广站。

2.1.2 矢量化及处理 将收集到的各种图件资料扫描为栅格图像,然后导入 ArcMap 中进行图像配准和校正;在 ArcCatalog 中新建 Personal Geodatabase 数据库,在其中为各县建立相应空间坐标系的要素数据集,并根据图件按空间要素分类建立要素类;在 ArcMap 中对各个图件分类分层进行数字化,结果保存在 Personal Geodatabase 中。

2.1.3 数据检查 为保证入库数据的质量,要对每一个数字化的矢量图层建立拓扑关系,检查错误并修改,确认无误后保存。

2.2 属性数据库

2.2.1 属性数据资料获取 本研究所使用的土壤属性数据主要来源于陕西省全国第二次土壤普查的成果《陕西土壤》和《陕西土种志》,以及陕南秦巴山区各县《土壤》和各县级《农业资源调查报告集》,包括土壤类型、土壤质地、结构、剖面构成、成土母质等。土壤养分数据及耕作管理等数据主要来源于各县级土肥站的大田土样测试和小区实验数据以及农户调查结果。同时还有相关的社会经济统计数据及图片或文献资料等。

2.2.2 属性数据编码 属性数据必须经过符合规范要求的统一编码与数据组织才能使系统对数据资料进行高效的管理和充分的利用。土壤类型的名称一般较长,不便于计算机的输入和占用大量计算机存储空间,为此在建立土壤数据库时,必须对土壤类型名称进行编码^[18]。本研究采用纯数字的分类编码形式对土壤类型进行编码,按照土纲、土类、亚类、土属、土种的 5 级分类单元顺序,每一级对应 2 位数字,从最高级土纲开始,每向下一级编码增加 2 位数字,如 01 代表初育土土纲,0107 代表粗骨土土类,010701 代表中性粗骨土亚类等。同一级别分类单元的 2 位编码在其父类单元的编码基础之上从 01 开始顺序编码,如扁砂泥黄棕壤和砂砾石黄棕壤的父类别黄棕壤的编码为 030201,则其编码分别为 03020101 和 03020102。

2.2.3 数据库建立 按照数据库设计流程,为收集到的土壤属性数据建立 E-R 模型,找出属性数据中的各种实体及其属性、实体间的联系以及制约条件等,然后为每个实体设计数据表的组织结构,包括字段名、字段类型、字段长度等。建立数据表时应按照数据库规范化设计,使用正确的数据结构,尽可能地减少数据冗余,保持数据的一致性,这样将有助于今后的使用及维护,不会出现插入、删除、更新等异常。完成数据库表的建立以后,就要开始录入土壤属性数据。由于录入工作极容易出现错误,因此先在 Excel 中录入,完成后必须进行比对检查,确定无误后统一导入 Access 数据库。

2.3 空间数据和属性数据的关联

在数据库设计时,与图层数据相关的属性数据会有关键字与图层相对应,通过关键字将图层与属性相关联,方便实现图层到属性,属性到图层的双向查询。

3 系统设计与建立

本研究采用 C#.net + ArcEngine + Access 的二次开发方式,以 Access 技术作为数据库支持,在

微软的 Visual Studio 2008 集成开发环境下,基于 ArcEngine 9.3 强大的组件对象使用 C# 语言实现界面友好,面向对象,可扩展的秦巴山区土壤信息系统(如图 2 所示)。

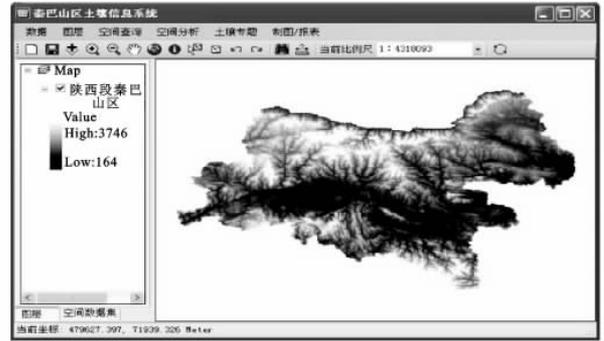


图 2 秦巴山区土壤信息系统主界面加载 DEM

C# 是微软公司发布的一种面向对象的高级程序设计语言,它为 .net Framework 而生,依靠 .net Framework 强大的类库支持和自身众多优秀特性,如泛型、LINQ 等,很快成为系统开发和应用开发的最佳实用语言。而 ArcEngine 是 ESRI 公司于 2004 年发布的一个面向开发者的嵌入式组件,它与 .net 完全兼容,基于 ArcObjects 构建并继承了 ArcObjects 几乎所有的强大功能,但却独立于庞大的 ArcGIS Desktop 桌面产品,降低了开发成本,是目前最优秀的 GIS 二次开发平台。小巧的 Access 数据库拥有更高效更稳定的 ADO.NET 的访问支持,其存储能力和效率完全满足该应用系统的需要。该系统的框架结构如图 3 所示。

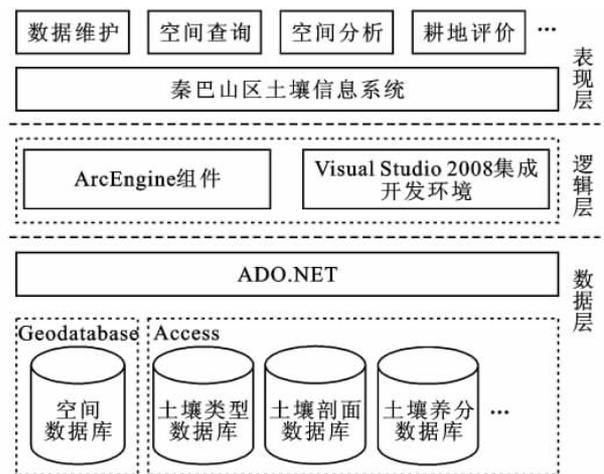


图 3 秦巴山区土壤信息系统的框架结构

4 系统功能

本系统的主要功能结构如图 4 所示。

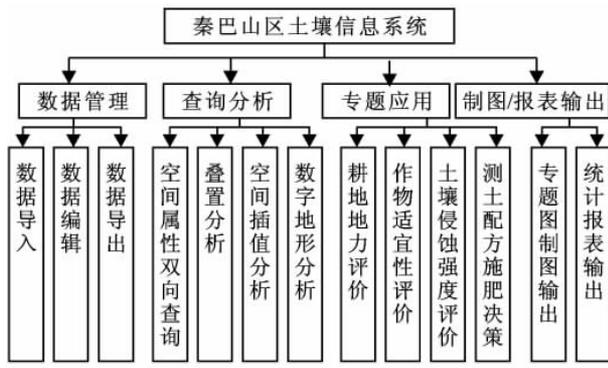


图 4 秦巴山区土壤信息系统功能

4.1 数据管理

4.1.1 数据导入 支持矢量数据、栅格数据以及属性数据的导入。包括将 coverage 或 shape 格式数据导入到 Geodatabase 数据库,或直接将外部 Geodatabase 数据库添加到该系统中;也可以将外部栅格数据如 DEM 添加到系统数据库;属性数据则支持将 Excel 或 DBF 格式的数据直接导入。

4.1.2 数据编辑 可以对导入的错误数据进行编辑修改。包括空间数据编辑和属性数据编辑。在地图视图下,对空间要素点、线、面以及注记的添加、删除和修改;属性数据则直接打开属性表像操作 Excel 一样进行编辑,操作简单易学。

4.1.3 数据导出 支持将空间数据导出为 shape 图层,或将属性表导出为 Excel 或 DBF 格式文件以供其它地方使用。

4.2 查询分析

4.2.1 空间查询 包括从空间图形查属性和从属性查空间图形两种双向的查询方式,用鼠标在地图上点击选择点、线、面等图形要素,系统会以表格的形式显示其相应的属性信息;相反,在属性表中点击选择某条属性,或以逻辑表达式来查询属性,则在地图上会以高亮的方式突出显示符合查询条件的图形要素。

4.2.2 叠置分析 叠置分析是图形与图形之间的空间运算,将相同坐标系统下 2 幅具有重叠区域的矢量地图进行空间叠加,通过一定运算得到新的地图,具有新的属性;栅格地图数据则使用栅格计算器,通过一定的表达式来计算输入栅格像元值得到输出栅格像元值,得到新的栅格图像。

4.2.3 空间插值 将采样点养分数据通过空间插值分析来拟合区域内养分的连续变化,反映土壤养分的空间分布与变异。可以根据采样点数据的质量和特征来选择数学模型和插值方法。

4.2.4 地形分析 使用数字高程点数据,生成等高线,DEM,坡度,坡向等数字地形数据,结合土壤数据

库中的其它数据,分析土壤属性与地形信息之间的关系,并为土地评价等应用提供地形信息。

4.3 专题应用

4.3.1 耕地地力、适宜性评价 用户首先根据评价内容选择评价对象,使用上述 GIS 分析功能得到评价单元图层,在系统给出的与之相关的属性中选择若干属性作为评价指标,专家对指标打分之后系统根据层次分析法计算出各指标权重,以及对属性值的隶属度函数拟合,最后在建立好的层次分析模型和隶属函数模型的基础上,根据评价规则计算各评价单元的力或适宜性指数,并且进行分级渲染,将评价结果以专题图形式展示给用户。

4.3.2 土壤侵蚀强度评价 采用系统内建的通用土壤流失方程进行计算,首先选择要评价的区域的图层,然后根据内建模型的引导步骤分别计算出通用土壤流失方程的 5 个影响因子,然后根据计算因子的结果计算出该区域的土壤侵蚀量,并自动按照内建标准进行分级,用户也可以调整分级标准,最后渲染地图以直观地显示该地区的土壤侵蚀强度分布。

4.3.3 测土配方施肥决策 系统使用从各县级土壤肥料站提供的各品种作物产量、养分阈值等小区实验数据构建了施肥模型库,用户在图层上选择要查询的耕地斑块,指定要查询的作物品种,系统根据用户的操作从数据库中读取指定耕地的土壤信息和施肥模型参数,使用养分平衡法、肥力分级指标法等方法计算生成不同肥料施用量和施肥计划决策表。

4.4 报表及制图

4.4.1 专题图制图 可以在制图窗口根据需求选择矢量或栅格图层进行定制,添加其它地图要素如图例、比例尺等,并通过 IUniqueValueRenderer, IChartRenderer 等接口渲染数据专题信息,定制的专题图可以输出为 jpg, tiff, bmp 等多种格式的图像,或直接通过打印接口以指定规格打印输出。

4.4.2 统计报表输出 对于属性数据进行统计分析后,借助 Visual Studio 2008 中的水晶报表模块,可以很轻松地制作结构美观,易读性强的图表,导出为 Excel 等其它格式文件,或直接打印输出。

5 结论

(1) 本研究依托于陕西省县域耕地地力评价项目,收集了陕西秦巴山区县域多种土壤相关图件和大量的属性数据,经过整理、检验后建立了数字化土壤数据库,并使用 C#.net 和 ArcEngine 组件开发了秦巴山区土壤信息系统。该系统界面友好,易操作,可扩展性强,实现了 GIS 查询分析以及多种应用评价

模型,有效地提高了土壤数据的利用效率,为该地区农业发展,区域规划,土壤科学研究等提供了丰富、完善的基础数据资料和分析平台,是合理利用秦巴山区土壤资源的可靠数据保障和决策依据。

(2) 本研究完成了秦巴山区土壤信息系统的设计与建立工作,但系统中集成的应用模型较少,没能充分发挥这些数据的作用,造成了一定程度的浪费。在今后的工作中还要进一步对土壤科学其它基础应用进行深入研究,将其移植到土壤信息系统中,拓展系统功能,使传统土壤学应用能与现代地理信息技术充分结合,更好地为土壤学科,为农业的可持续发展和社会大众服务。

[参 考 文 献]

- [1] 史学正,于东升,高鹏,等. 中国土壤信息系统(SISChina)及其应用基础研究[J]. 土壤,2007,39(3):329-333.
- [2] 赵其国. 21 世纪土壤科学展望[J]. 地球科学进展,2001,16(5):704-709.
- [3] 石元春. 土壤学的数字化和信息化革命[J]. 土壤学报,2000,37(3):289-295.
- [4] 史学正,于东升.“数字土壤”:21 世纪土壤学面临的机遇与挑战[J]. 土壤通报,2000,31(3):104-106,121.
- [5] 吕成文,张甘霖,沈德福. 美国土壤信息系统的发展及其启示[J]. 土壤通报,2004,35(1):4-7.
- [6] 于东升,史学正. GIS 中土壤信息系统的研究进展[J]. 土壤学进展,1993,21(6):26-31.
- [7] 史舟,王人潮. 红壤区土壤资源利用与管理信息系统的研制[J]. 农业工程学报,1998(1):7-11.
- [8] 周斌,杨柏林,汪红强,等. 贵州省土壤信息系统(GSIS)空间数据库的设计与建立[J]. 地质地球化学,2000,28(1):68-71.
- [9] 吴顺辉,甘海华,梁中龙,等. 基于 GIS 的广东省土壤资源信息系统构建研究[J]. 土壤与环境,2001,10(4):307-310.
- [10] 林杰,张金池,彭世揆,等. 江西省 1:100 万土壤信息系统的构建[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(5):106-110.
- [11] 刘京,常庆瑞,刘森,等. 陕西省土壤信息系统的设计与建立[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(12):129-132.
- [12] 吴克宁,杨锋,吕巧灵,等. 河南省 1:20 万土壤数据库的构建及其应用[J]. 河南农业科学,2007(5):77-80.
- [13] 赵明松,程先富,王世航,等. 安徽省土壤信息系统(AHSIS)的设计与开发[J]. 中国农学通报,2008,24(2):441-444.
- [14] 潘剑君,靳婷婷,孙维侠. 江西省余江县土壤信息系统建造研究[J]. 土壤学报,1999,39(4):522-527.
- [15] 马友华,胡芹远,转可钦,等. 合肥市土壤数据库系统的建立[J]. 安徽农学通报,2001,7(1):48-49.
- [16] 武伟,刘洪斌,谢德体,等. 重庆市土壤信息系统的建立与应用[J]. 计算机与现代化,2003(7):20-22,26.
- [17] 罗明云. 四川省南充市 GIS 土壤数据库系统设计的理论研究[J]. 土壤通报,2006,37(1):61-64.
- [18] 赵文君,陈志诚. 土壤数据库中的编码问题[J]. 土壤学进展,1993,21(6):37-45.
- [10] Xiao B, Zhao Y G, Shao M A. Characteristics and numeric simulation of soil evaporation in biological soil crusts[J]. Journal of Arid Environment, 2010, 74: 121-130.
- [11] 张志山,何明珠,谭会娟,等. 沙漠人工植被区生物结皮类土壤的蒸发特性:以沙坡头沙漠研究试验站为例[J]. 土壤学报,2007,44(3):404-410.
- [12] Jia R L, Li X R, Liu L C, et al. Responses of biological soil crusts to sand burial in a revegetated area of the Tengger Desert, Northern China[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008,40:2827-2834.
- [13] Li X R, He M Z, Duan Z H, et al. Recovery of topsoil physicochemical properties in revegetated sites in the sand-burial ecosystems of Tengger Desert, Northern China[J]. Geomorphology, 2007,88:254-265.
- [14] 闫德仁,薛英英,韩凤杰,等. 沙漠生物土壤结皮国外研究概况[J]. 内蒙古林业科技,2007,33(1):39-42.
- [15] 贾恒义,雍绍萍,王富乾. 神木试区的土壤资源[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊,1993,18: 36-46.
- [16] 刘立超,李守中,宋耀选,等. 沙坡头人工植被区微生物结皮对地表蒸发影响的试验研究[J]. 中国沙漠,2005,25(2):191-195.
- [17] 闫德仁,薛英英,刘果厚. 库布齐沙漠生物结皮层土壤理化特性的研究[J]. 土壤,2008,40(1):145-148.
- [18] Zhang Z S, Liu L C, Li X R, et al. Evaporation properties of a revegetated area of the Tengger Desert, North China[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72:964-973.
- [19] 郑敬刚,张志山,冯丽,等. 饱和流沙和苔藓结皮在蒸发过程中的水分特征研究[J]. 中国沙漠,2007,27(2):234-238.
- [20] 原鹏飞,张艳芬,唐俊. 沙地干沙层形成规律[J]. 水土保持应用技术,2009(6):6-8.
- [21] 刘新平,张铜会,赵哈林,等. 流动沙丘干沙层厚度对土壤水分蒸发的影响[J]. 干旱区地理,2006,29(4):523-526.
- [22] 翟翠霞,马健,李彦. 古尔班通古特沙漠风沙土土壤蒸发特性[J]. 干旱区地理,2007,30(6):805-811.

(上接第 62 页)