

半干旱沙区土类/亚类的遥感调查制图方法

李超, 文天晟, 张凤荣*, 徐艳

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要: 传统土壤调查制图存在低时效性、低精度等问题。为了解决半干旱沙区土壤遥感调查制图问题, 该文以科尔沁左翼后旗为例, 基于野外实地调查和专家知识分析了半干旱沙区土壤类型分布特征与环境因素之间的关系, 并探讨了基于多时相 Landsat8 OLI 影像数据的半干旱沙区土类/亚类遥感调查制图方法。结果表明: 利用多时相 Landsat8 OLI 影像数据提取的归一化差异水体指数(modified normalized difference water index, MNDWI)、盐分指数(salt index, SI)、归一化差异湿度指数(normalized difference moisture index, NDMI)、归一化差异植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI) 等环境信息, 可实现对沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土及其亚类等半干旱沙区主要土壤类型的遥感调查制图。应用本文提出的半干旱沙区土类/亚类遥感调查制图方法对科左后旗进行土壤遥感调查制图和精度验证, 总体精度约为 72.84%, Kappa 系数为 0.667 8。该方法可为半干旱沙区数字土壤调查制图提供思路和参考。

关键词: 遥感; 土壤; 精度; 半干旱沙区; 土壤调查; 数字土壤制图

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.06.024

中图分类号: S159-3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2018)-06-0189-08

李超, 文天晟, 张凤荣, 徐艳. 半干旱沙区土类/亚类的遥感调查制图方法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 189-196. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.06.024 http://www.tcsae.org

Li Chao, Wen Tiansheng, Zhang Fengrong, Xu Yan. Method for remote sensing survey and mapping of soil types and subtypes in semi-arid sand region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(6): 189-196. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.06.024 http://www.tcsae.org

0 引言

土壤类型图作为最基础的土壤数据, 在土壤资源开发利用和农业生产建设等方面发挥了重要作用。自 20 世纪 80 年代起, 全国第 2 次土壤普查所形成的资料和图件, 作为资源环境管理、全球变化研究、生态水文模拟的基础资料一直沿用至今。但已有研究显示, 全国第 2 次土壤普查中土类/亚类的划分精度不高^[1]。随着社会发展水平的不断提高, 传统土壤类型图越来越难以满足精准农业、生态环境建设、土地管理等对土壤类型图的精度和时效性提出的更高要求^[2-3]。伴随着遥感调查技术的不断发展, 在大范围土壤资源调查中, 遥感调查技术在一定程度上逐渐取代部分常规调查技术, 成为通用的土壤数字制图方法之一, 基于遥感信息获取的数字土壤类型图, 能够大大降低传统野外调查方法的工作量, 制得的土壤类型图也更符合土壤类型在空间分布上的过渡和连续性特征^[2,4]。

近年来, 国内外学者围绕土壤遥感调查制图相关技术方法展开了大量研究。研究内容主要集中于通过提取土壤光谱^[5-6]、植被特征^[7-8]等土壤环境因子信息, 探讨不同尺度、不同区域、不同遥感数据源与常规数据集组合对特定土壤类型和性质的分类方法及其效果^[9-11]。采用的方法主要可分为基于土壤景观综合分析法的人工目视判

读法^[12]和基于地统计学^[13-14]、专家知识系统^[15-17]、决策树^[18-19]、回归树^[20-21]、神经网络^[22-23]等方法的自动分类法, 无论何种方法, 都是以土壤与环境的关系为分类基础。从研究现状来看, 限制土壤遥感调查制图发展的主要因素是缺乏土壤专家与数学专家的有效结合, 以确定表征各地区典型土壤类型/性质的特定土壤环境因子及其遥感提取方法。当前, 中国已经初步建立了基于遥感技术的数字土壤调查制图方法, 但总体仍处于研究阶段^[2], 有关土壤遥感调查制图的研究范围主要集中于黑龙江省鹤山农场老莱河流域、安徽省宣城市丘陵区、浙江省龙游县等研究区, 针对半干旱沙区土壤环境因子及其遥感提取方法方面的研究较为罕见。

本文以土壤发生学原理及对半干旱沙区土壤环境状况的分析为基础, 以内蒙古科尔沁左翼后旗为例, 结合野外实地调查和专家知识, 分析半干旱沙区土壤类型分布特征与环境因素之间的关系, 并基于多时相 Landsat8 OLI 影像数据提取土壤环境信息, 探讨半干旱沙区土类/亚类遥感调查制图方法, 以期为半干旱沙区数字土壤调查制图提供科学参考。

1 研究区概况

科尔沁左翼后旗(科左后旗 121°30'E~123°42'E, 42°40'N~43°42'N)位于中国内蒙古自治区东南部, 西接库伦旗, 东连吉林省双辽县, 南邻辽宁省彰武县, 是科尔沁沙地的重要组成部分, 土壤类型以风沙土为主。全旗东西长约 154 km, 南北长约 107 km, 面积约为 11 491 km²。地势呈西北高、东南低, 海拔为 14~364 m (图 1), 旗内高差变化不大且地形坡度小, 长期风蚀沙

收稿日期: 2017-11-01 修订日期: 2018-03-01
基金项目: 国家自然科学基金项目(41301614); 国家科技基础性工作专项(2012FY112100); 国土资源部公益性行业科研专项(21411009)
作者简介: 李超, 博士生, 主要从事土壤与土地调查、土地整治方面研究。Email: lichaonongda@163.com
*通信作者: 张凤荣, 教授, 博士生导师。主要从事土壤与土地调查、土地可持续利用方面研究。Email: frzhang@cau.edu.cn

化堆积形成的“坨”和“甸”相间分布的微地貌是当地最主要的地貌景观特征。科左后旗全年四季分明,春春风多干旱,夏季温热多雨,秋季少雨易旱,冬季寒冷少雪,属温带半干旱大陆性季风气候。

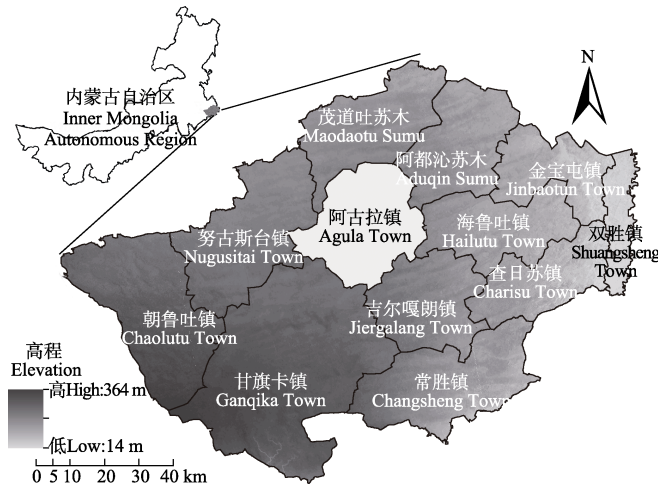


图1 科左后旗地理位置与高程示意图
Fig.1 Sketch map of location and elevation in Horqin Left Back Banner

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与预处理

遥感数据: 本文所用的遥感影像资料为2013年4月、2014年8月和2014年10月共3期低云量的Landsat8 OLI影像,数据下载于中国科学院计算机网络信息中心地理数据云(http://www.gscloud.cn),各景影像云量均小于3%,经辐射定标、大气校正、影像镶嵌与裁剪等操作,获取研究区春、夏、秋季遥感影像各1期。

土壤调查数据: 2014年6月—2016年8月,先后5次对科左后旗进行了野外实地调查,并采集了表层土壤样品采集。共野外观测土壤剖面48个(涵盖了科左后旗所有土壤类型),采集土壤样品235个(0~20 cm表层),按照土壤调查实验室分析方法^[24]测定各土壤样品的颗粒组成、有机质含量、含盐量、pH值、电导率等理化性质。土壤样点的选取采用随机采样法,并充分考虑了不同土壤类型样点的代表性和典型性,在道路通达的情况下,尽量选取不同区域、不同地形部位、不同土地利用类型的采样点。其中,154个采样点用于建立遥感影像译解标志(40个沼泽土/非沼泽土样点作为沼泽土分类的训练点;40个盐碱土/非盐碱土样点作为盐碱土分类的训练点;40个风沙土/草甸土样点作为风沙土/草甸土分类的训练点;34个采样点作为风沙土亚类分类的训练点);81个采样点用于对遥感数字制图结果的精度验证(沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土类的验证点分别为13个、18个、20个、30个)。

植被覆盖度调查数据: 植被覆盖度的地表实测数据对于遥感估算植被覆盖度定量模型的确定十分重要。2015年9月上旬,对不同风沙土亚类区域进行野外植被覆盖度调查,调查样点均匀覆盖全旗风沙土地区,共获取植被覆盖度实测样点数据34个。由于半干旱沙区风沙土地区主要植被类型为低矮灌木,采用数码相机照相法^[25],获取半干旱沙区风沙土地区野外实测植被覆盖度(vegetation coverage, VC)数据。具体方法为:在植被覆盖均匀区

域设置30 m×30 m的样方,使用数码相机由上向下拍摄(拍摄高度为1.6 m^[25])。所得图像运用Photoshop软件进行二值化处理,计算照片中植被像元占总像元的比例,计算公式为:

$$\text{植被覆盖度(VC)} = \frac{\text{植被像元数}}{\text{相片像元总数}} \quad (1)$$

2.2 土壤-环境信息特征分析

半干旱沙区土壤-环境信息特点可概括如下:1)成土母质相似,大多为均一的砂质风积物和湖积物,又由于气候干燥,风力大,经风力吹动,形成风沙流动;2)气候条件均一,为半干旱气候,降雨量200~400 mm之间,干燥度为1.50~3.99;3)植被稀疏低矮,植被类型组成耐旱乔木和低矮灌木,但植被覆盖状况有所不同。说明半干旱沙区具有母质和气候条件相似、植被类型单一的土壤环境特征。根据土壤发生学原理,在母质、气候条件相似的地区,地形因素在成土过程中起主导作用,决定了土壤的发育方向。这主要是由于在半干旱沙区较为相似的母质和气候条件下,水分受地形的影响发生再分配,即高“坨”处水分向低“甸”处聚集,使得不同地形部位土壤水分状况不同,进而影响到植被分布状况,而植被又对于风沙流动产生重要影响。因此,受地形因素影响造成的不同地形部位土壤水分与植被状况差异,是影响半干旱沙区土壤发育的主导因素,不同地形部位土壤类型分布特征明显(图2)。但当缺少高精度DEM数据时,难以以地形因素为基础进行数字土壤制图。由于遥感数据对土壤水分和植被覆盖度反应较为敏感,可利用遥感影像提取土壤水分状况、植被覆盖度等环境信息进行沙区土壤分类制图。根据第2次土壤普查资料,科左后旗主要的土壤类型(土类)有风沙土、草甸土、盐碱土和沼泽土,这4类土壤占土地总面积的99%以上。结合遥感影像分类特征,将科左后旗土壤遥感调查制图类型划分为沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土4类。由于半干旱沙区土壤的成土母质主要是砂质风积物和湖积物,成土作用以风蚀过程为主,全旗因风蚀过程而产生“固定风沙土—半固定风沙土—流动风沙土”土壤类型演替,因此,结合当地土壤环境特征,将风沙土细分为流动风沙土、半固定风沙土和固定风沙土3个亚类。

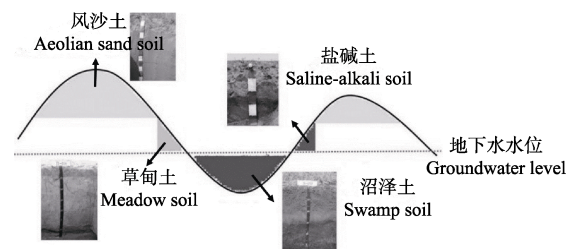


图2 半干旱沙区土壤类型分布特征示意图
Fig.2 Sketch map of soil type distribution in semi-arid sand region

2.3 遥感调查制图方法

2.3.1 半干旱沙区土类/亚类的遥感调查制图方案

以半干旱沙区土壤类型分布特征与环境因素之间的关系为基础,基于野外观测样点土壤理化性质测定数据建立的土壤信息数据库和3期Landsat8 OLI影像,运用专家知识和遥感信息提取方法,对研究区各土壤类型进行相关训练,并进行精度验证,得出沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土及其亚类遥感提取方法。通过反复分析

验证，得到半干旱沙区土类/亚类的遥感调查制图方案，如图 3 所示。

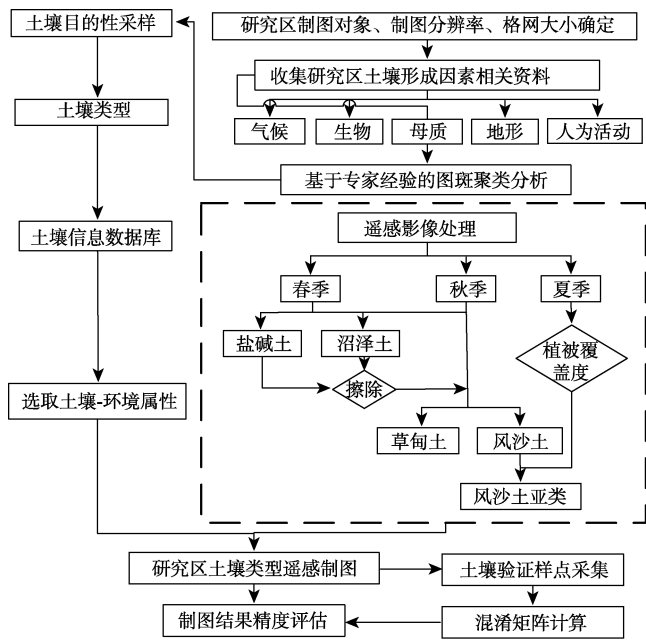


图 3 半干旱沙区土类/亚类数字土壤制图方案

Fig.3 Digital soil mapping plan for soil types and subtypes in semi-arid sand region

1) 沼泽土提取方案

沼泽土常年处于水淹状况。基于土壤发生分类和中国湿地分类系统^[26]，可将长期水淹地区（湖泊），即基于改进的归一化水体指数（modified normalized difference water index, MNDWI）将秋季（雨季末，最高水位）与春季（旱季末，最低水位）遥感影像水体中的重叠部分提取为沼泽土。

2) 盐碱土提取方案

盐碱土在可见光和近红外波段光谱反射强，并且土壤盐碱化程度与光谱反射率呈正相关关系^[27]。由于春季半干旱区蒸发量大于降水量，盐碱土区域的地表出现大量的盐斑、盐霜或者盐结皮，地表反射率较高，光谱特征明显，在遥感影像中易于识别。因此，可以基于归一化差异植被指数（normalized difference vegetation index, NDVI）和盐分指数（salt index, SI）通过春季遥感影像光谱信息的差异提取盐碱土。

3) 草甸土与风沙土提取方案

由上文对半干旱沙区土壤-环境信息特征分析可知，在母质和气候条件均一、植被覆盖类型单一的半干旱沙区，水分再分配过程决定了植被覆盖状况和土壤类型的发育方向。而基于遥感的土壤水分信息可以通过提取归一化差异湿度指数(normalized difference moisture index, NDMI)来表征^[4]。草甸土受到地下水的影响较大，在水分更充沛时，可以向沼泽土发育；而当地下水匮乏或生态环境遭到破坏时，则会向风沙土转变。因此，水分的再分配过程直接影响半干旱沙区草甸土的发育。根据草甸土和风沙土的土壤环境特征，草甸土的土壤湿度值明显大于风沙土。因此，可使用 Landsat8 秋季（雨季末，最高水位）遥感影像擦除已分类出的盐碱土和沼泽土区域，并利用归一化差异湿度指数（NDMI）范围差异提取草甸土和风沙土。

4) 风沙土亚类提取方案

在传统的土壤分类中，通常将地表是否产生结皮和表层土壤有机质含量作为风沙土亚类的划分依据。植物因素是影响土壤形成和发育的重要因素，同一地区土壤的发育程度会由于植被覆盖度的差异而有所不同。随着植被覆盖度的提高，土壤表层出现结皮现象，有机质含量逐渐提高。因此，可通过植被生长最茂盛的夏季遥感影像反演的植被覆盖状况，基于归一化差异植被指数（NDVI）来区分流动风沙土、半固定风沙土与固定风沙土 3 个风沙土亚类。

2.3.2 基于归一化差异水体指数（MNDWI）的沼泽土分类

选用 Landsat8 春季遥感影像与秋季遥感影像的绿光和中红外波段（B3、B6），依据公式（2）分别计算 Landsat8 春、秋季遥感影像的改进归一化差异水体指数（MNDWI）^[4,28]，利用 ArcGIS 进行空间叠加，水体中的重叠部分即为沼泽土；而对于没有积水但受地下水影响的沼泽区域，难以在计算机中运用遥感光谱判读，需进行人工目视解译补充。

$$MNDWI = (B3 - B6) / (B3 + B6) \quad (2)$$

式中，MNDWI 为改进的归一化差异水体指数；B3、B6 代表 Landsat8 影像绿光、中红外波段。

2.3.3 基于归一化差异植被指数（NDVI）和盐分指数（SI）的盐碱土分类

选用 Landsat8 春季遥感影像的红光和近红外波段（B4、B5），依据公式（3）计算其归一化差异植被指数（NDVI），通过分析野外调查样点植被状况与归一化差异植被指数（NDVI）之间的关系，来区分盐碱土与非盐碱土区域^[7]。统计结果显示：当 NDVI > 0.135 7 时，地表开始有大量植被生长，盐渍化程度较轻，可认定为非盐碱土区域。

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4) \quad (3)$$

式中，NDVI 为归一化差异植被指数；B4、B5 代表 Landsat8 影像红光、近红外波段。

为了区分盐碱土和风沙土区域，需通过 Landsat8 影像波段的组合，对盐碱土和风沙土进行分类。通过对比分析典型地物波谱信息，利用春季影像的蓝绿光与红光波段（B2、B4）确定盐分指数（SI），可有效反应土壤盐碱化程度^[29]。结合野外土壤调查数据，建立盐分指数（SI）与盐碱土之间的线性关系，进而可反演得出盐碱土分布区域。

$$SI = (B2 \times B4)^{1/2} \quad (4)$$

式中，SI 代表盐分指数；B2、B4 代表 Landsat8 春季影像蓝绿光、红光波段。

依据公式（4）计算 Landsat8 春季影像的盐分指数（SI），利用 ArcGIS 的 Extract Value to Points 功能提取 40 个训练点，经统计确定盐分指数（SI）与盐碱土和非盐碱土的关系：盐碱土（SI > 0.22）；非盐碱土（SI ≤ 0.22）。由此可实现对盐碱土的分类。

盐碱土的分类流程，如图 4 所示。

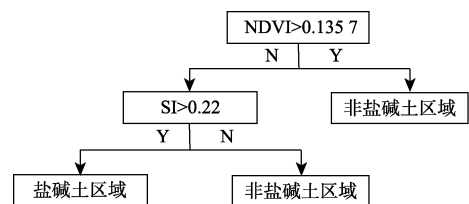


图 4 盐碱土分类流程图

Fig.4 Flow chart of saline-alkali soil classification

2.3.4 基于归一化差异湿度指数 (NDMI) 的草甸土分类

选用 Landsat8 秋季遥感影像的绿光和中红外波段 (B3、B7), 在 ENVI 中进行缨帽变换 (K-T 变换) [30-32], 得到归一化差异湿度指数 (NDMI) 数据; 利用 ArcGIS 的 Extract Value to Points 功能提取 40 个风沙土/草甸土训练点的归一化差异湿度指数 (NDMI) 值, 并通过对风沙土/草甸土训练点土壤湿度值的统计分析, 得到风沙土、草甸土土壤湿度范围: 风沙土 (-75.95 < NDMI ≤ -28.98; 草甸土 (-28.98 < NDMI ≤ 18.00)。借助 ArcGIS 平台空间分析功能, 使用 Landsat8 秋季遥感影像擦除已分类出的盐碱土和沼泽土区域, 利用上述归一化差异湿度指数 (NDMI) 范围, 即可实现对风沙土与草甸土的分类。

2.3.5 基于归一化差异植被指数 (NDVI) 的风沙土亚类分类

采用植被指数法, 即利用遥感反演植被指数与实测植被覆盖数据的线性拟合关系来估算植被覆盖状况 [33]。具体方法为: 选取 Landsat8 夏季影像中的红光和近红外波段 (B4、B5), 依据公式 (3) 计算其归一化差异植被指数 (NDVI), 并结合野外实测植被覆盖度 (VC) 数据, 建立植被覆盖度的二项式拟合关系, 以此反演得出风沙土区域的植被覆盖度。

计算 Landsat8 夏季影像归一化差异植被指数 (NDVI), 结合野外实测植被覆盖度 (VC) 数据, 统计得出归一化差异植被指数 (NDVI) 与野外实测植被覆盖度 (VC) 的拟合关系 (图 5): $NDVI = 0.2076VC + 0.1077$,

$R^2 = 0.530, P < 0.01$ 。

根据成土过程, 将荒漠化分类概念引入土壤发生分类中, 即定义植被覆盖度 (VC) < 10% 为流动风沙土, 植被覆盖度 (VC) 10%~30% 为半固定风沙土, 植被覆盖度 (VC) > 30% 为固定风沙土。结合上文得出的 NDVI 与 VC 关系模型, 得到科左后旗风沙土亚类的遥感分类标准: 流动风沙土 (0.1077 < NDVI ≤ 0.1285; 半固定风沙土 (0.1285 < NDVI ≤ 0.1908); 固定风沙土 (NDVI > 0.1908)。

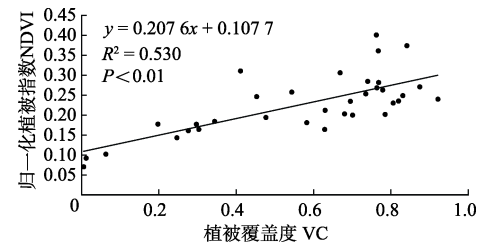


图 5 归一化植被指数与野外实测植被覆盖度的相关关系

Fig.5 Correlationship between normalized difference vegetation index(NDVI) and vegetation coverage(VC)

2.3.6 半干旱沙区土类/亚类的遥感影像解译标志

结合半干旱沙区土类/亚类遥感调查制图方案和沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土及其亚类的遥感调查分类方法, 通过 Landsat8 OLI 多时相遥感影像 (春季、夏季、秋季) 相应波段计算, 得到半干旱区各土类/亚类的遥感影像解译标志, 如表 1 所示。

表 1 半干旱沙区各土类/亚类的遥感影像解译标志

Table 1 Interpretation markers of remote sensing images of different soil types and subtypes in semi-arid sand region

土类/亚类 Soil types /Subtypes	实地调查景观 Landscape of field survey	景观特征 Landscape Characteristics	影像解译标志 Interpretation markers	遥感制图规则 Rules of remote sensing mapping
沼泽土 Swamp soil		景观特征: 分布湖泊洼地处, 地下水埋藏较浅, 土壤表层松软富有弹性, 植被覆盖类型为芦苇等。		春、秋季影像水体的重叠区域 (对于没有积水但受地下水影响的沼泽区域, 需进行人工目视解译补充)。
盐碱土 Saline-alkali soil		分布在甸地周围, 碱生植被取代草甸植被, 春季地表盐碱聚集明显, 为白色和褐色。		春季影像中 NDVI > 0.1357, 且 SI > 0.22 的区域。
草甸土 Meadow soil		分布于沱间甸地处, 植被生长茂盛, 受地下水影响较大, 可向风沙土或盐碱土转变。		擦除沼泽土、盐碱土区域, 取秋季影像中土壤湿度 (灰度值) -28.98 < NDMI ≤ 18.00 的区域。
风沙土 Aeolian sand soil		分布在地形部位较高处, 植被以旱生灌木为主, 土体干燥, 有沙丘形态。		秋季影像中沼泽土、盐碱土、草甸土之外的区域, 秋季影像中土壤湿度 (灰度值) -75.95 < NDMI ≤ -28.98 的区域。
流动风沙土 Sand soil		VC < 10%。		夏季影像中 0.1077 < NDVI ≤ 0.1285 的区域。
半固定风沙土 Semi fixed aeolian sand soil		10% ≤ VC ≤ 30%。		夏季影像中 0.1285 < NDVI ≤ 0.1908 的区域。
固定风沙土 Fixed aeolian sand soil		VC > 30%。		夏季影像中 NDVI > 0.1908 的区域。

2.3.7 精度评价方法

利用野外采集的 81 个验证点 (图 6), 对本文所建立的方法得到的土壤遥感调查图进行精度评价和验证。利用混淆矩阵, 通过总体分类精度、Kappa 系数、生产精度、用户精度等指标来表征^[34]。

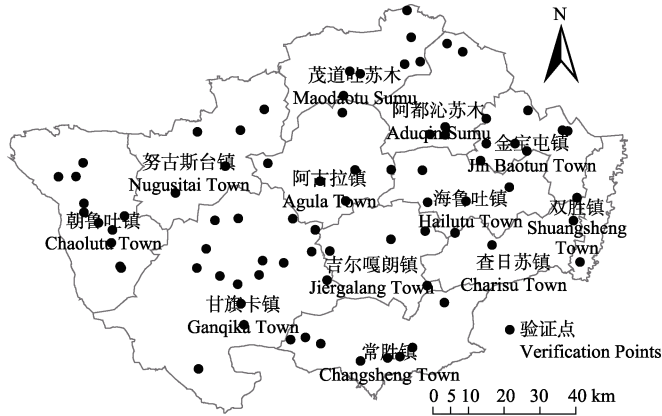


图 6 验证点分布图

Fig.6 Distribution map of verification points

3 结果与分析

基于多时相 Landsat8 OLI 影像数据 (春、夏、秋季各 1 期), 应用本文提出的半干旱沙区土类/亚类遥感调查制图方法, 得到科尔沁左翼后旗土类/亚类遥感调查图 (图 7), 结果显示: 科尔沁左翼后期分布最广泛的土壤类型为风沙土和草甸土, 面积分别为 9 571.12 km² 和 1 801.27 km², 面积占比分别为 83.29% 和 15.68%。其中, 流动风沙土、半固定风沙土和固定风沙土占风沙土的比例分别为 0.62%、19.47% 和 79.91%; 盐碱土和草甸土分布较少, 面积分别为 62.48 km² 和 56.21 km², 面积占比分

别为 0.54% 和 0.49%。

利用野外采集的 81 个验证点与提取的分类结果信息建立混淆矩阵, 对科左后旗土类/亚类遥感调查图进行精度评价 (表 2)。结果显示, 土壤类型图的总体精度为 72.84%, 总体 Kappa 系数为 0.667 8, 各土壤类型的分类用户精度均达到 60% 以上。但沼泽土、盐碱土的制图精度相对较低 (制图精度 ≤ 50%), 分析造成这种情况的原因如下: 1) 沼泽土野外采样点多位于湖泊周围, 对于常年水淹的沼泽区域, 受环境条件限制难以到达, 因而沼泽土的验证结果可能存在一定误差; 2) 盐碱土受地下水影响较大, 由于野外采集验证点时间不一, 在降水充沛的情况下, 盐碱难以在土地表面积聚, 验证点中可能存在误将盐碱土判读为碱化草甸土的情况; 3) 外业调研时间没有与遥感图像完全重合, 存在一定偏差。

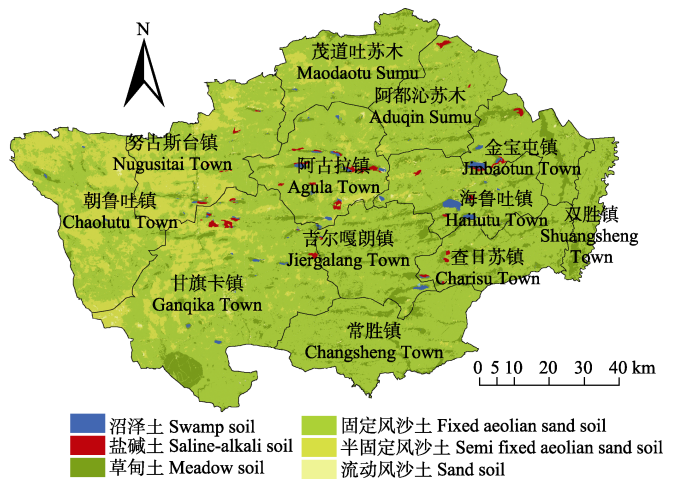


图 7 科尔沁左翼后旗土类/亚类遥感调查图

Fig.7 Distribution map of soil types and subtypes in Horqin Left Back Banner

表 2 制图结果精度验证情况

Table 2 Accuracy verification of mapping results

验证点土壤类型 Verification points soil type	制图结果 Mapping results							总计 Total	用户精度 User accuracy%
	沼泽土 Swamp soil	盐碱土 Saline-alkali soil	草甸土 Meadow soil	风沙土 Aeolian sand soil					
				流动风沙土 Sand soil	半固定风沙土 Semi fixed aeolian sand soil	固定风沙土 Fixed aeolian sand soil			
沼泽土 Swamp soil	6	0	2	0	0	0	8	75.00	
盐碱土 Saline-alkali soil	1	9	0	1	2	1	14	64.29	
草甸土 Meadow soil	5	2	18	0	0	0	25	72.00	
风沙土 Aeolian sand soil	流动风沙土 Sand soil	0	5	0	9	0	0	14	64.29
	半固定风沙土 Semi fixed aeolian sand soil	0	2	0	0	8	0	10	80.00
	固定风沙土 Fixed aeolian sand soil	1	0	0	0	0	9	10	90.00
总计 Total	13	18	20	10	10	10	81	-	
制图精度 Producer accuracy/%	46.15	50.00	90.00	90.00	80.00	90.00	-	-	

4 结论与讨论

本文以土壤发生学原理及对半干旱沙区土壤环境状况的分析为基础, 以位于半干旱沙区的内蒙古科尔沁后旗为例, 基于 Landsat8 OLI 影像数据、野外实地调查和专家知识, 探讨了表征半干旱沙区典型土壤类型的特定土壤环境因子及其遥感提取方法, 得到如下结论: 1) 半

干旱沙区具有母质和气候条件相似、植被类型单一的土壤环境特征, 地形是影响半干旱沙区土壤发育的主导因素, 不同地形部位土壤类型分布特征明显; 2) 利用多时相 Landsat8 OLI 影像数据提取的归一化差异水体指数 (modified normalized difference water index, MNDWI)、盐分指数 (salt index, SI)、归一化差异湿度指数 (normalized difference moisture index, NDMI)、归一化

差异植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 等环境信息, 可实现对沼泽土、盐碱土、草甸土、风沙土及其亚类等半干旱沙区主要土壤类型的遥感调查制图; 3) 应用本文提出的半干旱区土类/亚类遥感调查制图方法对科左后旗进行土壤遥感调查制图和精度验证, 总体精度约为 72.84%, Kappa 系数为 0.667 8。

本文可为半干旱沙区数字土壤调查制图提供思路和参考, 为数字土壤制图代替传统土壤类型图应用于半干旱沙区的资源环境管理、气候变化研究和生态水文模拟等提供技术支撑, 但不可直接使用“二普”土壤图等传统土壤类型图进行精度验证和类比分析, 也不适合于基于土壤系统分类规则的土壤调查制图。相较于“二普”等大范围土壤资源调查, 本文存在研究尺度偏小、验证点数量偏少等不足, 在后续研究中需将本文提出的土壤遥感调查制图方法推广和应用到更大的区域内, 并围绕制图结果精度评价展开深入研究, 检验本方法的可靠性和结果的准确性。

[参 考 文 献]

- [1] 张凤荣, 王秀丽, 梁小宏, 等. 对全国第二次土壤普查中土类、亚类划分及其调查制图的辨析[J]. 土壤, 2014(4): 761—765.
Zhang Fengrong, Wang Xiuli, Liang Xiaohong, et al. Analysis of classification and mapping for great group, subgroup in second national soil survey[J]. Soil, 2014(4): 761—765. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孙福军, 雷秋良, 刘颖, 等. 数字土壤制图技术研究进展与展望[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1502—1507.
Sun Fujun, Lei Qiuliang, Liu Ying, et al. The progress and prospect of digital soil mapping research [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(6): 1502—1507. (in Chinese with English abstract)
- [3] 朱阿兴, 李宝林, 杨琳, 等. 基于 GIS、模糊逻辑和专家知识的土壤制图及其在中国应用前景[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 844—851.
Zhu Axing, Li Baolin, Yang Lin, et al. Predictive soil mapping based on a GIS, expert knowledge, and fuzzy logic framework and its application prospects in China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(5): 844—851. (in Chinese with English abstract)
- [4] 亢庆, 张增祥, 赵晓丽. 基于遥感技术的干旱区土壤分类研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(1): 159—167.
Kang Qing, Zhang Zengxiang, Zhao Xiaoli. A Study of soil classification based on remote sensing in arid area[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(1): 159—167. (in Chinese with English abstract)
- [5] 郑立华, 李民赞, 安晓飞, 等. 基于近红外光谱和支持向量机的土壤参数预测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(14): 81—87.
Zheng Lihua, Li Minzan, An Xiaofei, et al. Forecasting soil parameters based on NIR and SVM[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(14): 81—87. (in Chinese with English abstract)
- [6] 宋海燕, 秦刚, 韩小平, 等. 基于近红外光谱和正交信号-偏最小二乘法对土壤的分类[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 168—171.
Song Haiyan, Qin Gang, Han Xiaoping, et al. Soil classification based on near infrared reflectance spectroscopy and orthogonal signal correction-partial least square[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 168—171. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王飞, 丁建丽, 伍漫春. 基于 NDVI-SI 特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 168—173.
Wang Fei, Ding Jianli, Wu Manchun. Remote sensing monitoring models of soil salinization based on NDVI-SI feature space.[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 168—173. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张素梅, 王宗明, 张柏, 等. 利用地形和遥感数据预测土壤养分空间分布[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 188—194.
Zhang Sumei, Wang Zongming, Zhang Bai, et al. Prediction of spatial distribution of soil nutrients using terrain attributes and remote sensing data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 188—194. (in Chinese with English abstract)
- [9] Dobos E, Micheli E, Baumgardner M F, et al. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping[J]. Geoderma, 2000, 97(3/4): 367—391.
- [10] 曾志远. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [11] 刘焕军, 张小康, 张新乐, 等. 面向土壤分类的高光谱反射特征参数模型[J]. 遥感学报, 2017, 21(1): 105—114.
Liu Huanjun, Zhang Xiaokang, Zhang Xinle, et al. Hyperspectral reflectance characteristics parameter extraction for soil classification model[J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(1): 105—114. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李锦主编. 土壤制图[M]. 福州: 福建省地图出版社, 1997.
- [13] Heuvelink G B M, Webster R. Modelling soil variation: Past, present, and future[J]. Geoderma, 2001, 100(3/4): 269—301.
- [14] 谷海斌, 张丽, 盛建东, 等. 基于地统计学和 GIS 的灌区盐渍化土壤制图及评价[J]. 干旱区研究, 2010, 27(6): 962—968.
Gu Haibin, Zhang Li, Sheng Jiandong, et al. Mapping and evaluation of salinized soil in an irrigated area based on geostatistics and GIS[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(6): 962—968.

- 962—968. (in Chinese with English abstract)
- [15] 江净超, 朱阿兴, 秦承志, 等. CyberSoLIM: 基于知识驱动的在线数字土壤制图原型系统[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1216—1220.
Jiang Jingchao, Zhu Axing, Qin Chengzhi, et al. CyberSoLIM: Knowledge-driven online digital soil mapping[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(6): 1216—1220. (in Chinese with English abstract)
- [16] De Bruin S, Stein A. Soil-landscape modeling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from a digital elevation model (DEM)[J]. Proc, 1988, 83(1/2): 17-33.
- [17] Smith M P, Zhu A X, Burt J E, et al. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey[J]. Geoderma, 2006, 137(1/2): 58—69.
- [18] Bui E N, Moran C J. A strategy to fill gaps in soil survey over large spatial extents: An example from the Murray—Darling basin of Australia[J]. Geoderma, 2003, 111(1): 21—44.
- [19] 周斌, 王人潮, 史舟. 土壤自动制图中的知识分类[J]. 科技通报, 2002, 18(4): 261—264.
Zhou Bin, Wang Renchao, Shi Zhou. Knowledge classification on soil automatic mapping[J]. Bulletin of Science & Technology, 2002, 18(4): 261—264. (in Chinese with English abstract)
- [20] Lane P W. Generalized linear models in soil science[J]. European Journal of Soil Science, 2002, 53(2): 241—251.
- [21] Kempen B, Brus D J, Heuvelink G B M, et al. Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach[J]. Geoderma, 2009, 151(34): 311—326.
- [22] Minasny B, Mcbratney A B. The neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(2): 352—361.
- [23] 付强, 王志良, 梁川. 自组织竞争人工神经网络在土壤分类中的应用[J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 39—43.
Fu Qiang, Wang Zhiliang, Liang Chuan. Application of self-organizing competition artificial neural networks in soil classification[J]. Bulletin of Soil & Water Conservation, 2002, 22(1): 39—43. (in Chinese with English abstract)
- [24] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 科学出版社, 2012.
- [25] 陈祖刚, 巴图娜存, 徐芝英, 等. 基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 20—27.
Chen Zugang, Batu Nacun, Xu Zhiying, et al. Measuring grassland vegetation cover using digital camera images[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(6): 20—27. (in Chinese with English abstract)
- [26] 牛振国, 宫鹏, 程晓, 等. 中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(2): 188—203.
Niu Zhenguo, Gong Peng, Cheng Xiao, et al. Primary remote sensing mapping of Chinese wetland and related geography characteristics analysis[J]. Science in China Series D: Geoscience, 2009, 39(2): 188—203. (in Chinese with English abstract)
- [27] Subba Rao N S. Soil microorganisms and plant growth[J]. American Biology Teacher, 1977, 25(2): 122—126.
- [28] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589—595.
Xu Hanqiu. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589—595. (in Chinese with English abstract)
- [29] Khan N M, Rastokuev V V, Sato Y, et al. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators[J]. Agricultural Water Management, 2005, 77(1/3): 96—109.
- [30] Baig M H A, Zhang L, Tong S, et al. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance[J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(5): 423—431.
- [31] 李博伦, 遆超普, 颜晓元. Landsat 8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导[J]. 测绘科学, 2016, 41(4): 102—107.
Li Bolun, Ti Chaopu, Yan Xiaoyuan. Study of derivation of tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI images[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(4): 102—107. (in Chinese with English abstract)
- [32] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
Li Miaomiao. The Method of Vegetation Fraction Estimation by Remote Sensing[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2003. (in Chinese with English abstract)
- [33] 罗开盛, 陶福祿. 融合面向对象与缨帽变换的湿地覆被类别遥感提取方法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 198—203.
Luo Kaisheng, Tao Fulu. Method for wetland type extraction using remote sensing combing object-oriented and tasseled cap transformation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(3): 198—203. (in Chinese with English abstract)
- [34] 芦园园, 张甘霖, 赵玉国, 等. 复杂景观环境下土壤厚度分布规则提取与制图[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 132—141.
Lu Yuanyuan, Zhang Ganlin, Zhao Yuguo, et al. Extracting and mapping of soil depth distribution rules in complex landscape environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(18): 132—141. (in Chinese with English abstract)

Method for remote sensing survey and mapping of soil types and subtypes in semi-arid sand region

Li Chao, Wen Tiansheng, Zhang Fengrong^{*}, Xu Yan

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China)

Abstract: As the most basic soil data, soil map plays an important role in the development and utilization of soil resources and in the construction of agricultural production. The soil map of the second national soil survey in China has been used as the basic data of soil in resources and environment management, global change research, eco hydrological simulation and other fields. But it is found that the classification accuracy of the second national soil survey on soil types and subtypes is not high. Moreover, with the continuous progress of the society, the more requirements for the accuracy and timeliness of soil maps are put forward by various undertakings, such as precision agriculture, environmental management, land management, eco hydrological simulation and so on. With the continuous development of remote sensing technology, remote sensing survey and mapping has gradually replaced some conventional soil surveys, and it has become one of the universal soil digital mapping methods. All the methods on remote sensing survey and mapping of soil types are based on the relationship between soil and environment, but the characteristics of soil environment in different regions and its extraction methods on remote sensing are different. In recent years, domestic and foreign experts have launched a lot of researches on remote sensing survey and mapping methods, but the research on the model and method for remote sensing survey and mapping of soil types and subtypes in semi-arid sand region have rarely reported. The purpose of this paper is to solve the problem of remote sensing survey and mapping of soil types and subtypes in semi-arid sand region. Based upon soil genesis theory and soil environment condition in semi-arid sand region, we took Horqin Left Back Banner as an example, analyzed the relationship between soil type distribution and environmental factors in semi-arid sand region with the method of field survey and expert knowledges. And then put forward a method for remote sensing survey and mapping of soil types or subtypes in semi-arid sand region based upon multi-temporal Landsat 8 OLI remote sensing images. The results indicated that remote sensing survey and mapping of major soil types or subtypes in semi-arid sand region, for example swamp soil, saline-alkali soil, meadow soil, aeolian sandy soil and their subtypes, could be realized with the help of the modified normalized difference water index (MNDWI), salt index (SI), normalized difference moisture index (NDMI) and normalized difference vegetation index (NDVI) extracting from multitemporal Landsat 8 OLI remote sensing images. Using the proposed method survey and mapping soil types and subtypes in Horqin Left Back Banner, and then used statistical methods to check the accuracy of digital mapping results by soil type data observed in the field. The results showed that the overall accuracy of digital mapping results took percentages of 72.84% and the Kappa coefficient was 0.6678. This study provides approaches and references for digital soil mapping in semi-arid sand region, and provides possibilities to solve the problem of low aging and low precision on sudden basic data in semi-arid sand area by using the method of digital soil mapping.

Keywords: remote sensing; soils; accuracy; semi-arid sand region; soil survey; digital soil mapping