

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

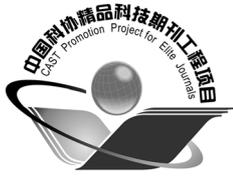


中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第6期

Vol.52 No.6



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

目 次

综述与评论

- 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑…………… 赵彦锋 程道全 陈杰等 (1197)
- 蚯蚓对土壤温室气体排放的影响及机制研究进展…………… 卢明珠 吕宪国 管强等 (1209)

研究论文

- 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素… 杨帆 黄来明 李德成等 (1226)
- 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性…………… 任圆圆 张学雷 (1237)
- 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征…………… 于洋 赵业婷 常庆瑞 (1251)
- 黄河三角洲土壤含水量状况的高光谱估测与遥感反演…………… 李萍 赵庚星 高明秀等 (1262)
- 干湿交替对黄土崩解速度的影响…………… 王健 马璠 张鹏辉等 (1273)
- 晋陕蒙接壤区露天矿层状土壤水分入渗特征与模拟…………… 吴奇凡 樊军 杨晓莉等 (1280)
- 旱作褐土中氧化铁的厌氧还原与光合型亚铁氧化特征…………… 孙丽蓉 王旭刚 徐晓峰等 (1291)
- 流动电位法研究高岭石胶体对包铝石英砂zeta电位的影响…………… 李忠意 徐仁扣 (1301)
- 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析…………… 于飞 施卫明 (1311)
- 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化…………… 刘建玲 贾可 廖文华等 (1325)
- 亚热带丘陵小流域土壤碳氮磷生态计量特征的空间分异性…………… 杨文 周脚根 王美慧等 (1336)
- 塔里木盆地北缘绿洲土壤化学计量特征…………… 李红林 贡璐 朱美玲等 (1345)
- 东北平原土壤硒分布特征及影响因素…………… 戴慧敏 宫传东 董北等 (1356)
- 浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究…………… 林维雷 应雨骐 姜培坤等 (1365)
- 土壤非多次叠加污染对蚯蚓的毒性效应…………… 马静静 钱新春 张伟等 (1374)
- 有机肥对黄瓜枯萎病的防治效果及防病机理研究…………… 赵丽娅 李文庆 唐龙翔等 (1383)
- 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应…………… 张体彬 康跃虎 万书勤等 (1392)
- 石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应…………… 杨晓玲 丁文魁 马中华等 (1401)
- 高放废物处置库预选场址包气带土壤渗透性研究…………… 李杰彪 苏锐 周志超等 (1412)

研究简报

- 基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究…………… 宋金红 吴景贵 赵欣宇等 (1422)
- 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估…………… 单燕 李水利 李茹等 (1430)
- 宇宙射线土壤水分观测方法在黄土高原草地植被的应用…………… 赵纯 袁国富 刘晓等 (1438)

信息

- 《土壤学报》入选“2015期刊数字影响力100强”…………… (1437)

封面图片：滴灌枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地（由张体彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201410300549

基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究*

宋金红¹ 吴景贵^{1†} 赵欣宇¹ 曹玲^{2, 3}

(1 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林省商品粮基地土壤资源可持续利用重点实验室, 长春 130118)

(2 吉林省气象服务中心, 长春 130062)

(3 成都信息工程学院大气科学学院, 成都 610225)

摘要 以吉林省黑土区为例, 采集区域土壤样本, 获取Landsat TM遥感影像, 基于有机质含量(SOM)与土壤反射率的定量关系, 筛选出与土壤有机质分布相关的波段TM1、TM5, 建立区域土壤有机质遥感预测模型。结果表明, 表层土壤有机质含量的对数值与TM1、TM5的灰度值(Digital Number, DN)呈显著负相关关系, 满足二次多项式回归关系, 基于TM1、TM5波段DN值的回归模型预测研究区表层土壤有机质含量, 结果可靠。研究区表层土壤有机质含量 < 15 g kg⁻¹ 的区域主要分布在东部地区, 含量在 15 ~ 20 g kg⁻¹ 的区域主要分布在中部地区, 含量在 20 ~ 25 g kg⁻¹ 的土壤主要集中在西部地区。调查表明东部地区和中部地区主要是典型黑土, 地形部位较高, 排水条件较好; 西部地区主要是草甸黑土, 地势平坦, 地下水位适中, 水分条件充足, 有机质含量较高。

关键词 黑土; 有机质含量; 空间格局; TM数据; 灰度值

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

土壤反射光谱是由组成土壤的不同种类矿物、有机质和水的综合反映, 是土壤理化性质的重要体现^[1-2]。目前公认的影响土壤光谱特征的因素有含水量、有机质含量(SOM)、氧化铁含量、机械组成、母质等。土壤有机质是土壤肥力的重要指标, 是植物必需营养元素的主要来源, 是土壤中各种营养元素的重要来源^[3]。因此土壤有机质含量是农业部门鉴定土壤肥力和提高作物产量的重要指标。土壤有机质的光谱特性在一定程度上依赖于成土母质, 在较大的地理区域, 由于成土母质等的差异, 土壤有机质与光谱反射率之间的相关性较小^[4-5], 利用近红外光谱建立模型估算有机质的最大限制性因素就是要求土壤类型的一致性问题^[6-8]。Chang和Laird^[9]从有机质的结构组成的角度解释了其在近红外区的光谱特征: 在近红外光

谱区, 有机质对土壤光谱的影响一般表现为降低整个谱线的反射系数。由于土壤有机质含量在可见光至近红外区域有独特的光谱响应特性, 可见光、近红外波段成为有机质分类和估算最重要的波段, 土壤有机质这一独特的光谱特性为解决土壤肥力的快速测定开辟了新的途径^[10]。

土壤光谱研究从最初的对光谱曲线的定性分析发展到对土壤组分含量的定量反演。目前, 利用遥感技术进行土壤成分定量、半定量的反演中, 主要是通过分析土壤的光谱曲线特征, 建立数学模型, 从而提取土壤中矿物成分和有机质含量等信息^[11]。沙晋明等^[12]研究表明土壤有机质含量和土壤光谱在可见光、近红外波段有很好的负相关性。Galvao等^[13]分析了机载可见光/红外成像光谱仪(AVIRIS)数据和巴西3个主要土壤类型样品成

* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAC09B01, 2012BAD14B05)、吉林省科技厅重点科技成果转化项目(20130303035NY)和吉林农业大学科研启动基金项目(201322)资助

† 通讯作者: 吴景贵(1965—), 男, 吉林长春人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤生境调控及农业废弃物资源化研究。wujinguiok@163.com

作者简介: 宋金红(1983—), 女, 河北保定人, 博士研究生, 讲师, 主要从事资源环境与遥感技术研究。157613090@qq.com

收稿日期: 2014-10-30; 收到修改稿日期: 2015-06-05

分之间的关系，发现不同土壤类型的光谱变化和土壤组成之间具有很好的一致性。谢伯承等^[14]利用数学变换形式建立了预测土壤有机质含量的方程，提出了预测北京地区褐潮土有机质含量的光谱最佳波段为400~1 200 nm。Krishnan等^[15]运用逐步多元线性回归和迭代方法，进行了四种不同类型的土壤有机质含量的高光谱预测模型及差异性研究。Chen等^[16]利用影像三波段亮度值，建立了有机碳含量的指数模型，并绘制了田块内表层有机质含量的空间分布。Fox和Sabbagh^[17]发现2个研究地块土壤有机质含量分别与红、近红外波段亮度值相关性最好，因此计算所有样点距最小亮度像元的红与近红外波段亮度值的“距离”，建立“距离”与SOM含量的关系，用于SOM含量的估测。国内外研究表明，利用土壤光谱可以得到不同土壤组分的敏感波段，并进行土壤组分含量的研究。随着遥感技术的发展，大范围反演土壤有机质和其他养分含量将会得到广泛的应用^[18]。东北黑土区裸露时间长，容易获取土壤野外光谱反射率与遥感影像，适于土壤遥感研究。因此，本研究获取梨树裸露黑土

区遥感影像，利用主成分分析方法建立土壤有机质遥感反演模型，探讨区域尺度的土壤有机质含量遥感反演方法，揭示黑土区土壤有机质含量空间分布规律。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域为吉林省梨树县，地理坐标为123°45'E~124°53'E、43°02'N~43°46'N之间。属于北温带半湿润大陆性气候区，四季分明，年日照时数为2 644 h，年日照率为59%，作物生长期日照、降水较充足。地势东南高，西北低，南部低山丘陵，中部波状平原，北部为东辽河冲积平原。成土母质主要为第三纪、第四纪更新世和第四纪全新世的沉积物。受地质条件和土质影响，土壤类型主要为黑土。基础产业是农业，有黄金玉米带的美誉。

1.2 土样采集与制备

2008年4月26—27日，通过手持式GPS在梨树县北部和中部的农田定位选取了50个样点（图

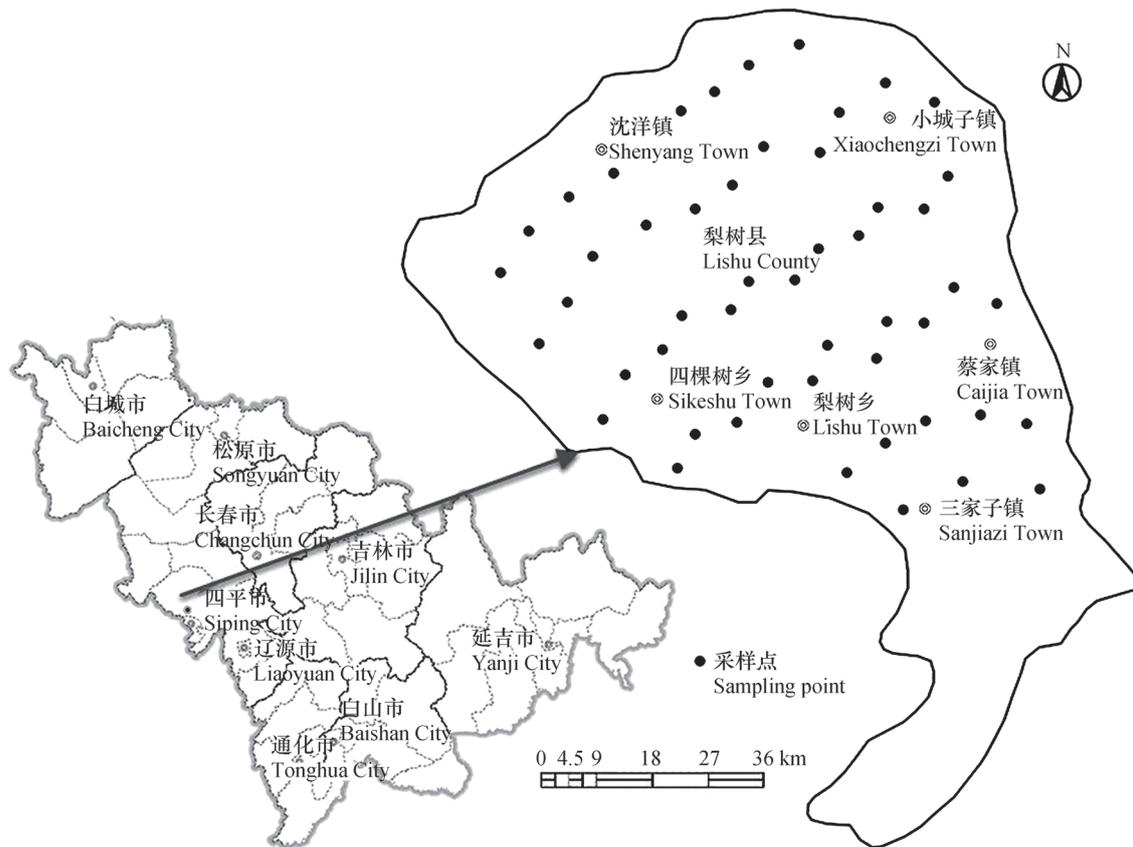


图1 样区及样点分布示意图

Fig. 1 Sketch map of the sampling area and sampling sites

1), 取样深度为 0~20 cm, 在 30 m × 30 m 网格内采用五点混合取样法获得 1 个样本^[19], 样本带回实验室自然风干, 过 2mm 筛, 采用重铬酸钾氧化—比色法测定土壤有机质含量^[20]。研究区表层土壤有机质含量 < 15 g kg⁻¹ 的样本数为 25 个, 15~20 g kg⁻¹ 的样本数为 20 个, 20~25 g kg⁻¹ 的样本数为 5 个。

1.3 遥感影像与预处理

遥感图像为 2008 年 4 月 16 日条带号为 119、行号为 30 的 Landsat 5 卫星拍摄的 TM 遥感影像, 与地面采样时间基本一致。所获得的 TM 图像生产时就进行了辐射校正和几何粗校正。几何粗校正对传感器内部几何畸变的改正很有效, 但处理后的图像仍存在着由传感器以外的因素所造成的变形误差, 所以还必须对遥感图像做进一步的处理, 即几何精校正^[21]。此外, 考虑到尽可能减少在遥感信息提取过程中新产生的误差、宏观性和一致性, 全区遥感数据选择现有的单张图像, 作为解译用图。选择该时期影像是因为这一地区四月份还没有植被覆盖, 土壤基本裸露, 拍摄 TM 影像时研究区上空

的云层含量几乎为零, 基本不会对遥感影像产生干扰^[22], 有利于提高遥感影像估测土壤有机质的精度。

1.4 数据处理

采用 SPSS 统计软件对多光谱 TM 影像各波段 DN (Digital Number, DN) 值与表层土壤有机质含量进行描述性统计分析和主成分分析, 对筛选波段与表层土壤有机质含量进行二元非线性回归分析和精度分析。

2 结果

2.1 遥感影像值与表层黑土有机质含量的关系

分析研究区域 TM 影像的 7 个波段亮度值, 其中 TM5 最宽 (112 级), TM7 次之 (70 级), TM2 最小 (23 级); 标准差 TM5 最高, TM7 次之 (表 1)。较大的级差和标准差表明波段的离散程度大, 反映土壤差异性显著, 信息量丰富。

对各波段 DN 值进行主成分分析 (表 2), 第一

表 1 TM 影像各波段 DN 值的统计结果

Table 1 Statistics of DN values of various bands of the TM images

波段 Band	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	中值 Median	标准差 SD
TM1	78	106	90.3	90	8.7
TM2	34	57	42.9	42	6.3
TM3	29	74	49.6	48	13.1
TM4	42	89	71.1	71	12.2
TM5	63	175	112.1	112	25.8
TM6	134	163	146.7	146	7.7
TM7	16	86	59.8	64	20.2

表 2 TM 影像各波段 DN 值的主成分分析

Table 2 Principal components analysis of DN values of various bands of the the TM images

主成分 Principal component	方差 (%) Variance	特征向量 Eigenvector						
		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7
1	71.450	0.431	0.426	0.436	0.054	0.414	0.384	0.346
2	15.530	0.087	0.148	0.006	0.918	0.068	-0.249	-0.247
3	7.152	-0.199	-0.290	-0.221	0.364	-0.208	0.290	0.753
4	3.358	-0.005	0.112	-0.052	0.106	-0.420	0.776	-0.440
5	1.810	-0.477	-0.092	-0.282	0.041	0.752	0.296	-0.171
6	0.450	0.427	-0.826	0.241	0.067	0.169	0.125	-0.168
7	0.252	-0.597	-0.092	0.788	0.066	-0.098	-0.010	-0.017

主成分分量信息占TM影像总信息量的71.45%，其中波段TM1、TM2、TM3和TM5的特征向量较高，说明第一主成分中TM1、TM2、TM3和TM5 DN值贡献最大，包含的信息量也最丰富，TM6、TM7次之，TM4包含的信息量有限。

由表3可以看出，TM1与TM3 DN值的相关系数最高（ $r=0.976$ ， $p<0.05$ ）；其次为TM1与TM2

之间（ $r=0.958$ ， $p<0.05$ ），表明这些波段DN值之间的冗余较多；可见光3个波段（TM1~TM3）之间及其与波段TM5 DN值之间的相关性也较大；TM4、TM6和TM7 DN值有较大的独立性。对于相关性高、数据之间有冗余的波段，需要通过筛选手段以确定预测土壤有机质含量的最佳波段组合。

表3 TM影像各波段DN值的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between DN values of the various bands of the TM images

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6
TM2	0.958*					
TM3	0.976*	0.957*				
TM4	0.166	0.211	0.083*			
TM5	0.880*	0.900*	0.906*	0.137		
TM6	0.759*	0.750*	0.785*	-0.070	0.699*	
TM7	0.657	0.584	0.680	-0.027	0.647	0.753*

* $p<0.05$

2.2 遥感影像值与表层黑土有机质含量的回归分析与精度验证

由于土壤有机质特性与土壤反射光谱存在非线性关系，对表层土壤有机质含量作对数转换后与TM影像各波段DN值进行相关性分析。结果表明，表层土壤有机质含量的对数值与TM1、TM5的DN值呈显著负相关关系，与其他波段DN值的相关性并不显著。由于TM1与TM2、TM3的DN值相关性很大，数据冗余较多，且TM1波段与有机质DN值相关性较大，因此，本文选择TM1和TM5的DN值与表层土壤有机质含量进行回归分析。根据数据分析结果，为了更好地拟合数据，提出候选模型，TM1和TM5分别为波段TM1和TM5的DN

值。利用LOO-CV交叉验证法计算四种候选模型的拟合均方根误差，结果如表4所示，由均方根误差可以看出，第三种模型拟合效果最佳。回归方程如下：

$$SOM = 9.4841 - 1672.88 \times (TM1)^{-1} + 105.3524 \times (TM5)^{-1} + 80932.51 \times (TM1)^{-2} - 7327.99 \times (TM5)^{-2}$$

回归方程的 $R^2=0.9032$ 、 $F=3.955$ 、 $p<0.05$ 。将原始图像代入所得方程计算结果并对其进行精度验证，图2显示实测值与预测值间存在斜率为0.9784的线性关系（ $R^2=0.9272$ ），表明回归方程能较好地预测研究区域表层土壤有机质含量的空间分布状况。

表4 候选模型及均方根误差

Table 4 Candidate model and mean square error

候选模型 Candidate model	均方根误差 Mean square error
$SOM=a+b \times TM1+c \times TM5$	0.2150
$SOM=a+b \times TM1+C \times (TM1)^2+D \times TM2+E \times (TM5)^2$	0.1660
$SOM=a+b \times (TM1)^{-1}+C \times (TM1)^{-2}+D \times (TM5)^{-1}+E \times (TM5)^{-2}$	0.0514
$SOM=a+b \times \log(TM1)+c \times \log(TM5)$	0.0867

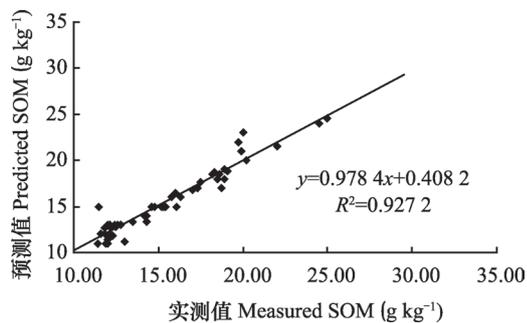


图2 模型精度的验证

Fig. 2 Validation of models in precision

2.3 表层黑土有机质含量空间分布格局

在分析黑土的光谱曲线特征的基础上,对黑土有机质含量与光谱值进行逐步回归分析,建立基于TM数据的黑土有机质含量光谱反演模型,对研究区农田土壤进行表层有机质含量反演。对预测结果进行统计分析后,将研究区土壤分为三类(这三类土壤的有机质含量分别为0~15、15~20和20~25

g kg^{-1}),利用不同类别差异性表现表层土壤有机质含量的变化范围和空间分布格局,据此作图,可获得研究区农田表层土壤有机质含量的空间分布状况和格局(图3)。

梨树县北部与中部均为平原地区,全部是农田;南部为丘陵地区,主要是林地,因此需要去除丘陵等非农田因素,其中表层土壤有机质含量 $< 15 \text{ g kg}^{-1}$ 的区域主要分布在东部地区,15~20 g kg^{-1} 的区域主要集中在中部,20~25 g kg^{-1} 的区域主要集中在西部地区。根据实地调查可知,东部地区和中部地区主要是典型黑土,地形部位较高,排水条件较好,生物小循环的规模相对较大,黑土层较薄,黑土表层为松软的暗色腐殖质层,向下逐渐过渡。西部地区主要是草甸黑土,地势平坦,地下水位适中,水分条件充足,自然植被生长繁茂,受坡积、淤积的影响,上层具有厚度不等的淤积层,因此有机质含量较高^[23]。

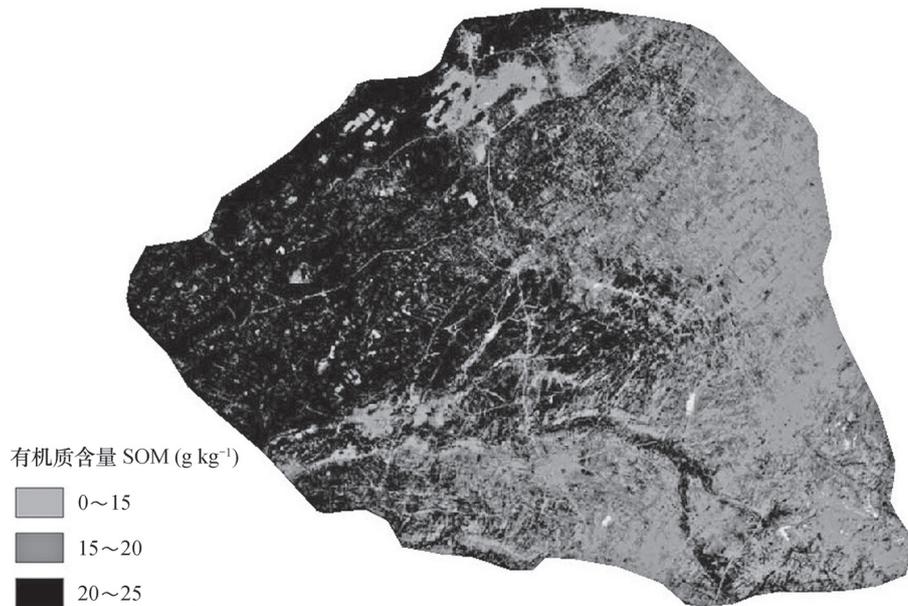


图3 研究区表层土壤有机质含量分类结果

Fig. 3 Classification of the soils in the study area in terms of surface SOM content

3 讨论

土壤反射光谱特性是土壤的基本特征之一,它与土壤的物理性质有着密切的关系。土壤有机质含量的差异在可见光和近红外波段的光谱反射率均会有所体现,基于此,许多研究者做了很多相关方面的研究^[24]。与传统方法相比,基于TM影像结合地面取样模拟表层土壤有机质含量空间格局的方

法具有很大优势,主要体现在可大大节省时间和成本,而且预测结果的准确性和实用性将为土壤肥力的提高和土地可持续利用的宏观决策管理提供依据^[25]。

主成分分析不但可以消除变量间共线性的影响,在保留原有信息的基础上还有降维的作用^[26]。本研究通过相关分析、回归分析和主成分分析等多种统计方法相结合,剔除对SOM含量影响不显著的

变量,对剔除后的变量进行共线性诊断,建立标准化主成分回归方程,达到了比较好的效果,在空间分布上预测值与实测值也具有较好的相关性,实现了预期的目标,主要原因^[27]:(1)在裸露土壤上进行研究。遥感影像获取时间为4月,东北耕地在这个时期处于休耕期,地表裸露,无积雪覆盖。因此通过遥感影像得到的是裸露土壤的光谱信息,未受到植被等因素的干扰。(2)采样点分布范围广,能代表研究区内有机质含量的分布情况,适合建模。(3)分析单波段光谱反射数据及其变换数据与有机质含量的关系,提出候选模型,利用LOO-CV交叉验证法计算四种候选模型的拟合均方误差,选取最优模型,能够提高线性回归模型的精度。

本研究中TM波段DN值与表层土壤有机质含量的非线性关系与Chen等^[16]和张法升等^[18]的研究结果相似,但根据这种非线性相关性建立的预测模型却存在较大差别,原因可能与地面取样及研究的尺度不同、研究的土壤存在差异和模型选择等有关。

研究区域土壤有机质平均含量较低,主要原因与该地区的灌溉特征有关,灌溉条件有限导致土壤水分含量低、植物生产力低、土壤微生物活性低、土壤动植物残体归还土壤少,使有机质在土壤中的积累缓慢,土壤有机质含量偏低。除此之外,农业生产活动集中在北部地区,不合理的耕作管理,以化学肥料为主、收获后的农作物秸秆作为农户的燃料和部分动物饲料几乎全部被移出土壤生态系统,土壤有机肥的施用量很少,使土壤有机质维持在较低的平衡状态。针对研究区农田类型、分布状况以及气候特征,农业生产管理中应注意增施有机肥,还可采取秸秆还田等措施,以提高土壤有机质含量、保持土壤的可持续利用。

4 结 论

通过相关分析和主成分分析,筛选出与土壤有机质含量相关的波段TM1、TM5,建立区域土壤有机质遥感预测模型,利用LOO-CV交叉验证法确定最佳拟合模型。预测结果表明,区域整体有机质含量偏低,其中东部地区地势部位较高,排水条件较好,主要是典型黑土,有机质含量较低,主要集中在 $< 15 \text{ g kg}^{-1}$ 的范围内;中部地区地势部位居中,

主要是典型黑土,土层较薄,有机质含量主要集中在 $15 \sim 20 \text{ g kg}^{-1}$ 的范围内;西部地区主要是草甸黑土,地势平坦,地下水位适中,水分条件充足,有机质含量较高,主要集中在 $20 \sim 25 \text{ g kg}^{-1}$ 的范围内。

参 考 文 献

- [1] 徐彬彬.土壤剖面的反射光谱研究.土壤, 2000, 32 (6): 281—287. Xu B B. Study of reflectance spectra of soil profile (In Chinese). Soils, 2000, 32 (6): 281—287
- [2] 黄应丰, 刘腾辉.华南主要土壤类型的光谱特性与土壤分类.土壤学报, 1995, 32 (1): 58—67. Huang Y F, Liu T H. Spectral characteristics and soil classification of Southern main soil types (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1995, 32 (1): 58—67
- [3] 彭玉魁, 张建新, 何绪生, 等.土壤水分、有机质和总氮含量的近红外光谱分析研究.土壤学报, 1998, 35 (4): 553—559. Peng Y K, Zhang J X, He X S, et al. Analysis of soil moisture, organic matter and total nitrogen content in loess in China with near infrared spectroscopy (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1998, 35 (4): 553—559
- [4] Fernandez R N, Sehulze D G, Coffin D L, et al. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52 (4): 1023—1026
- [5] 方少文, 杨梅花, 赵小敏, 等.红壤区土壤有机质光谱特征与定量估算——以江西省吉安县为例.土壤学报, 2014, 51 (5): 1003—1010. Fang S W, Yang M H, Zhao X M, et al. Spectral characteristics and quantitative estimation of SOM in red soil typical of Ji'an County, Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (5): 1003—1010
- [6] Wight J P, Allen F L, Zanetti M Z, et al. Comparison of combustion, chemical and near-infrared spectroscopy methods to determine soil organic carbon. Clemson University, Southern Conservation Tillage Systems Conference, 2005: 179—184
- [7] 薛利红, 周鼎浩, 李颖, 杨林章.不同利用方式下土壤有机质和全磷的可见近红外高光谱反演.土壤学报, 2014, 51 (5): 993—1002. Xue L H, Zhou D H, Li Y Y, et al. Prediction of soil organic matter and total phosphorus with vis-nir hyperspectral inversion relative to land use. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51 (5): 993—1002
- [8] 彭杰, 周清, 张杨珠, 向红英.有机质对土壤光谱特性的影响研究.土壤学报, 2013, 50 (3): 517—524.

- Peng J, Zhou Q, Zhang Y Z, et al. Effect of soil organic matter on spectral characteristics of soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (3) : 517—524
- [9] Chang C W, Laird D A. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N. *Soil Science*, 2002, 167: 110—116
- [10] 祝文华.基于ASTER影像的土壤有机质含量反演.长春: 吉林大学, 2010. Zhu W H. Retrieval of soil organic matter content based on image ASTER (In Chinese). Changchun: Jilin University, 2010
- [11] Lal R. Soil organic dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, 2002, 116 (3) : 353—362
- [12] 沙晋明, 陈鹏程, 陈松林.土壤有机质光谱响应特性研究.水土保持研究, 2003, 10 (2) : 21—24. Sha J M, Chen P C, Chen S L. Study on spectral response characteristics of soil organic matter (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10 (2) : 21—24
- [13] Galvao L S, Pizarro M A, Epiphanyo J C N. Variations in reflectance of tropical soils: Spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 75 (2) : 245—255
- [14] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等.褐潮土的光谱特性及用土壤反射率估算有机质含量的研究.土壤通报, 2004, 35: 391—395. Xie B C, Xue X Z, Wang J H, et al. Study on the spectral characteristics of brown tide and using soil reflectance to estimate soil organic matter content (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35: 391—395
- [15] Krishnan P, Alexander J D, Butler B J, et al. Reflectance technique for predicting soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, 44: 1282—1285
- [16] Chen F, Kissell D E, West L T, et al. Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64 (2) : 746—753
- [17] Fox G A, Sabbagh G J. Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line euclidean distance technique. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66 (6) : 1922—1929
- [18] 张法升, 曲威, 尹光华, 等.基于多光谱遥感影像的表层土壤有机质空间格局反演.应用生态学报, 2010, 21 (4) : 883—888. Zhang F S, Qu W, Yin G H, et al. Spatial pattern of surface soil organic matter based on remotely sensed multispectral image (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21 (4) : 883—888
- [19] 钱宝, 刘凌, 肖潇.土壤有机质测定方法对比分析.淮海大学学报: 自然科学版, 2011, 39 (1) : 34—38. Qian B, Liu L, Xiao X. Comparative analysis of determination of soil organic matter (In Chinese). *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2011, 39 (1) : 34—38
- [20] 汤竞煌, 聂智龙.遥感图像的几何校正.测绘与空间地理信息, 2007, 30 (2) : 100—106. Tang J H, Nie Z L. Geometric correction of remote sensing images (In Chinese). *Surveying & Spatial Information Technology*, 2007, 30 (2) : 100—106
- [21] Chen F, Kissel D E, West LT, et al. Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 746—753
- [22] 徐金鸿, 徐瑞松, 夏斌, 等.土壤遥感监测研究进展.水土保持研究, 2006, 13 (2) : 17—20. Xu J H, Xu R S, Xia B, et al. Research advances on soil monitoring by remote sensing (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13 (2) : 17—20
- [23] 张凤荣.土壤地理学.北京: 中国农业出版社, 2001. Zhang F R. *Soil geography* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2001
- [24] 卢艳丽, 自由路, 杨俐苹, 等.基于主成分回归分析的土壤有机质高光谱预测与模型验证.植物营养与肥料学报, 2008, 14 (6) : 1076—1086. Lu Y L, Bai Y L, Yang L P, et al. Application of hyperspectral data for soil organic matter estimation based on principle components regression analysis (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14 (6) : 1076—1086
- [25] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等.黄土丘陵沟壑区县域土壤有机质空间分布特征及预测.地理科学进展, 2006, 25 (2) : 112—122. Lian G, Guo X D, Fu B J, et al. Spatial variability and prediction of soil organic matter at county scale on the Loess Plateau (In Chinese). *Progress in Geography*, 2006, 25 (2) : 112—122
- [26] 邱永红, 谭永忠, 周国华.一种遥感影像裸土地特征增强方法.计算机工程与应用, 2012, 48 (32) : 196—199. Qiu Y H, Tan Y Z, Zhou G H. An enhancement method of bare land feature based on remote sensing image (In Chinese). *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48 (32) : 196—199
- [27] 程彬.松辽平原黑土有机质及相关元素遥感定量反演研究.长春: 吉林大学, 2007. Cheng B. Study on quantitative retrieval of soil organic matter and related elements in the black soil in Songliao Plain based on RS data (In Chinese). Changchun: Jilin University, 2007

INVERSION OF SPATIAL PATTERN OF ORGANIC MATTER CONTENTS IN BLACK SOIL BASED ON TM DATA

Song Jinhong¹ Wu Jinggui^{1†} Zhao Xinyu¹ Cao Ling^{2, 3}

(1 College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Key Laboratory of Soil Resource Sustainable Utilization for Jilin Province Commodity Grain Bases, Changchun 130118, China)

(2 Jilin Meteorological Service Center, Changchun 130062, China)

(3 College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract Soil samples were collected in the black soil region of Jilin Province and corresponding Landsat TM remote sensing images of the region were acquired. Based on the quantitative relationship between content of soil organic matter (SOM) and soil spectral reflectance, SOM distribution related bands, TM1 and TM5, were screened out and a regional remote sensing-based soil organic matter prediction model was built. Results show that logarithm values of the surface soil organic matter content in study area was in a significantly negative relationship with the DN (Digital Number) values of TM1 and TM5, which met the two polynomial regression. Based on the DN values of TM1 and TM5, the model was used to predict soil organic matter contents in the surface soil layer of the region with sound reliability. The soils with $\text{SOM} < 15 \text{ g kg}^{-1}$ in the surface layer were mainly distributed in the eastern part of the region, those with SOM content ranging between 15 and 20 g kg^{-1} mainly in the central part, and those between 20 and 25 g kg^{-1} mainly in the western part. The investigation indicates that the soils in the eastern and central parts of the region are mainly typical black soils, high in terrain position and hence good in drainage, while those in the western part are mainly meadow black soils, flat in landform, moderate in groundwater table and adequate in soil moisture, and hence high in organic matter content.

Key words Black soil; Organic matter content; Spatial pattern; TM data; DN (Digital Number)

(责任编辑：檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system..... Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. (1207)
 Advancement in study on effect of earthworm on greenhouse gas emission in soil and its mechanism Lu Mingzhu, Lü Xianguo, Guan Qiang, et al. (1224)

Research Articles

- Vertical distributions of soil organic and inorganic carbon and their controls along toposequences in an alpine region Yang Fan, Huang Laiming, Li Decheng, et al. (1235)
 Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of Central and East China Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei (1249)
 Spatial-temporal variability of soil readily available nutrients in cultivated land of Weibei Tableland Area Yu Yang, Zhao Yeting, Chang Qingrui (1260)
 Hyperspectral estimation and remote sensing retrieval of soil water regime in the Yellow River Delta Li Ping, Zhao Gengxing, Gao Mingxiu, et al. (1271)
 Effect of wet-dry alternation on loess disintegration rate Wang Jian, Ma Fan, Zhang Penghui, et al. (1278)
 Experiment and simulation of infiltration from layered soils in open pit mine in Jin-Shaan-Meng adjacent region Wu Qifan, Fan Jun, Yang Xiaoli, et al. (1289)
 Anaerobic redox of iron oxides and photosynthetic oxidation of ferrous iron in upland cinnamon soils Sun Lirong, Wang Xugang, Xu Xiaofeng, et al. (1299)
 Study on effect of kaolinite colloids on zeta potential of Al oxide coated quartz with streaming potential method Li Zhongyi, Xu Renkou (1309)
 Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years Yu Fei, Shi Weiming (1324)
 Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978–2008 Liu Jianling, Jia Ke, Liao Wenhua, et al. (1334)
 Spatial variation of ecological stoichiometry of soil C, N and P in a small hilly watershed in subtropics of China Yang Wen, Zhou Jiaogen, Wang Meihui, et al. (1343)
 Stoichiometric characteristics of soil in an oasis on northern edge of Tarim Basin, China Li Honglin, Gong Lu, Zhu Meiling, et al. (1354)
 Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors Dai Huimin, Gong Chuandong, Dong Bei, et al. (1364)
 Study on phytolith-occluded organic carbon in soil of subtropical forest of southern Zhejiang Lin Weilei, Ying Yuqi, Jiang Peikun, et al. (1372)
 Toxic effect of multiple-time overlying pollution of Phe in soil on *Eisenia fetida* Ma Jingjing, Qian Xinchun, Zhang Wei, et al. (1381)
 Effect of organic manure on cucumber Fusarium wilt control and its mechanism Zhao Liya, Li Wenqing, Tang Longxiang, et al. (1390)
 Ameliorative effect of cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation on soil enzymes activities in takyric solonetz Zhang Tibin, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. (1399)
 Change in shallow soil temperature and its response to change in air temperature in middle and lower reaches of Shiyang River Basin Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Ma Zhonghua, et al. (1410)
 Soil permeability of aeration zone in Xinchang-Xiangyangshan - a preselected site for high level radioactive waste disposal Li Jiebiao, Su Rui, Zhou Zhichao, et al. (1420)

Research Notes

- Inversion of spatial pattern of organic matter contents in black soil based on TM data Song Jinhong, Wu Jinggui, Zhao Xinyu, et al. (1429)
 Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shaanxi Shan Yan, Li Shuili, Li Ru, et al. (1437)
 Application of cosmic-ray method to soil moisture measurement of grassland in the Loess Plateau Zhao Chun, Yuan Guofu, Liu Xiao, et al. (1444)

Cover Picture: Reclamation of a highly saline-sodic wasteland of takyric solonetz while cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation (by Zhang Tibin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 6 Nov., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

