

马 驰. 基于 Landsat 8 遥感图像的长春中北部地区土壤有机质含量反演研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 415–419.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.126

基于 Landsat 8 遥感图像的长春中北部地区土壤有机质含量反演

马 驰

(辽宁省交通高等专科学校, 辽宁沈阳 110122)

摘要:以 Landsat 8 遥感图像为数据源, 利用 FLAASH 大气校正模型对遥感图像进行大气校正, 结合野外土壤采样的有机质含量化验数据, 采用逐步回归分析的方法, 对研究区土壤有机质含量进行定量反演。结果表明, 土壤有机质含量与 Landsat 8 遥感图像反射率在近红外波段具有较强的负相关性, 对反射率进行适当的数学变换可以有效提高与有机质的相关性, 由此而建立起来的逐步回归反演模型, 其决定系数 $r^2 = 0.925$, 总均根方差 $RMSE = 0.171$, 说明该反演模型有较高的精度与稳定性。根据上述反演模型, 结合遥感影像分类结果, 对研究区土壤有机质含量进行反演, 结果显示, 研究区内土壤有机质含量呈东高西低之势, 东部、南部地区土壤有机质含量普遍高于 3%, 而西部、北部地区土壤有机质含量普遍低于 2%。

关键词:Landsat 8 OLI; 有机质; 定量反演; 多光谱遥感; 长春东北部地区

中图分类号: TP79; S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0415-04

土壤有机质(SOM)含量是衡量土壤肥力的重要指标, 测量土壤有机质含量是判断土壤肥力的重要途径^[1]。有机质在土壤中的含量虽然很少(一般小于 10%), 但是大量研究证明, 土壤中的有机质与土壤的母质、含水量、氧化铁含量等共同影响着土壤的光谱特征^[2]。传统的土壤有机质含量空间预测多采用采样点的空间插值来绘制有机质空间分布图, 该方法具有一定的可行性, 但难以考虑到多种成土因素对有机质含量的空间变异性影响, 无法获得客观的土壤有机质空间分布结果。

遥感技术具有数据获取时间短、覆盖范围广、信息量丰富、生产成本低等优点, 近年来国内外诸多学者相继展开了利用遥感技术对于土壤有机质含量的相关研究, 并取得了一定的研究成果。在信息源的选取方面, 主要集中于多光谱遥感^[3]和高光谱遥感^[4-5] 2 种途径; 在数据处理与分析方法方面, 主要采用定性分类^[6-7]和定量反演^[8] 2 种方法。总结前人利用高光谱遥感技术对于土壤的研究成果可知: 利用光谱仪获得的高光谱数据只能在田间或实验室进行, 研究结果的实用性不强; 基于高光谱遥感图像反演土壤有机质、氮等成分的研究还少有尝试, 且高光谱遥感图像数据的获取成本较高, 各波段间具有很强的相关性, 难以获得普遍应用; 利用分类的方法只能进行土壤定性分类制图, 难以实现土壤成分的定量分析目的。

本研究以 2013 年 2 月升空的 Landsat 8 陆地成像仪 (OLI) 多光谱遥感图像为数据源, 结合实地土壤采样的化验数据, 定量反演吉林省长春市东北部地区农安县、德惠市土壤的有机质含量, 为区域土壤质量监测、土地资源的可持续利用提供数据支持。研究区地处东北平原黑土区与盐碱土区的交接地带, 东部是我国最大的黑土区, 是我国重要的粮食生产基地, 西部的白城市以及松原市西部地区是我国最大的苏打盐碱土区。因此, 对研究区内土壤有机质含量进行监测, 可为预防土壤退化、加强区域农业生产管理和土地的可持续利用提供科学依据。

1 研究区概况

农安县与德惠市位于长春市中北部、松辽平原中部腹地, 124°36′~126°24′E, 43°56′~44°52′N, 东隔松花江与榆树市、舒兰县相望, 西与乾安县、长岭县接壤, 南与九台市、长春市相连, 北与扶余县毗邻, 气候属温带半湿润季风气候, 年平均降水量 400~500 mm, 平均海拔 100~200 m, 全年无霜期 114 d, 多年平均气温 4.8℃, 土壤类型主要为黑土和黑钙土, 地方性土壤有草甸土、冲积土、风沙土等。

2 研究方法

2.1 土壤采样与处理

2015 年 5 月 22—24 日在研究区内进行土壤采样, 采样点均匀分布于研究区内, 采样过程中同时考虑土壤类型和交通的便利性, 获取土壤样品 54 个(采样路线如图 1), 采样点覆盖研究区内的黑土区与黑钙土区。土壤采样过程中采用 4 点混合法采集土壤样本, 采样深度为耕作层 0~15 cm, 每个土样约 1 kg, 将土壤样本装入密封袋保存。采样的同时利用手持全球定位系统(GPS)接收机记录采样点空间位置, 用以确定采样点与遥感影像的点位关系。为了提高土样中有机质

收稿日期: 2016-08-10

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41371332); 中国地质调查局项目(编号: 1212010911084); 辽宁省交通高等专科学校优秀人才项目(编号: lncrcr201401)。

作者简介: 马 驰(1975—), 男, 辽宁义县人, 博士, 副教授, 主要从事 RS 与 GIS 应用研究。Tel: (024) 89708763; E-mail: machi1001@sina.com。

含量的化验精度,将土壤样本在实验室风干、研磨,并剔除土样中的小石块、植物根须、动物残体等杂质,并将土样过 2 mm 筛。土壤有机质含量测定采用重铬酸钾-硫酸法,在加热条

件下用一定浓度的重铬酸钾-硫酸溶液氧化土样中的有机质,多余的重铬酸钾采用硫酸亚铁滴定,根据重铬酸钾消耗量计算土样中有机质含量。

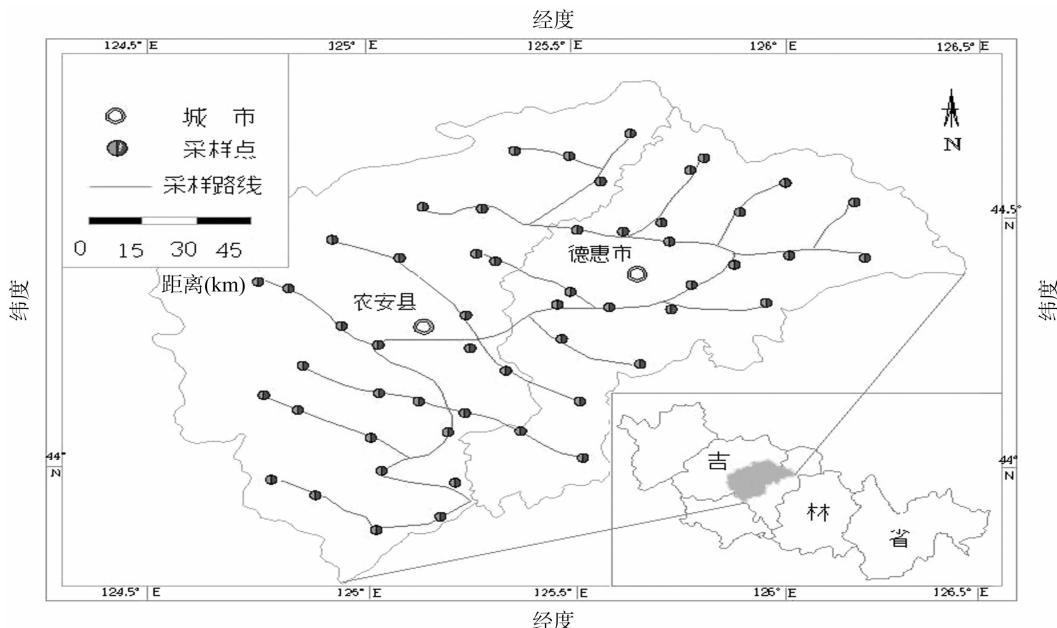


图1 研究区间土壤采样点分布

2.2 遥感数据及数据预处理

Landsat 8 是最新型号的 Landsat 系列对地观测遥感卫星,由美国地质调查局于 2013 年 2 月发射。该卫星搭载了 2 个传感器:OLI 和热红外传感器(TIRS),其中 OLI 包括 1 个分辨率为 15 m 的全色波段、7 个分辨率为 30 m 的可见光与近红外波段及 1 个短波红外卷云识别波段,而 TIRS 设置了 2 个热红外波段^[9-10]。本研究选取 2015 年 4 月 13 日 Landsat 8 遥感图像 1 景,轨道号为 118-029,云覆盖量为 0.4%,并对图像进行预处理,主要包括图像辐射定标、大气校正、几何精校正及图像裁剪。在 ENVI 软件中将图像的灰度值转换成辐射亮度值,完成辐射定标;利用 FLAASH 进行大气校正,校正过程中主要参数设置:大气模型设置为 Sub-Arctic Summer,气溶胶模型设置为 Urban,气溶胶反演模型为 2-Band(K-T),能见度设置为默认值(40),输入正确的图像采集时间、研究区平均海拔等;在 ERDAS 软件中对影像进行几何精校正,校正误差控制在 1 个像素以内;在 ERDAS 软件中建立感兴趣区,并对图像进行裁剪,获得覆盖研究区的遥感图像。

2.3 反演建模及模型检验

大量研究表明,对遥感图像中地物反射率进行适当的数学变换可以削弱图像中噪声对目标光谱的影响,增强反射率及其变换形式与土壤成分之间的相关性,从而提高土壤成分的反演精度^[11-12]。本研究将大气校正后遥感图像的反射率进行倒数(1/R)、对数 lnR、一阶微分(R')、倒数的对数 ln(1/R)等数学变换,构建光谱分析指数。

将采集的土壤样本随机分为 2 个部分:44 个建模样本、10 个检验样本。利用 SPSS 统计分析软件,采用数理统计的方法对随机选取的建模样本土壤有机质含量与反射率及其变换形式进行统计分析,获取两者的相关性,并采用多元回归分析方法,建立土壤有机质含量的反演模型。

对反演模型的检验包括 2 个方面:反演模型的精度、稳定性和模型预测能力,采用决定系数 r^2 和总均根方差(RMSE)进行检验。模型的决定系数 r^2 介于 0(模型精度最差、最不稳定)和 1(模型精度最高、最稳定)之间,决定系数 r^2 越大说明模型越稳定、精度越高;模型的预测能力采用检验样本总均根方差(RMSE)进行检验,RMSE 越小,模型的预测能力越强、精度越高。从统计学意义上来说,一个好的预测模型, r^2 应该尽量大,而 RMSE 应尽量小。

2.4 研究区土壤的决策树分类

决策树(decision tree)又称为判定树,是现阶段遥感图像定性分类的一种常用方法。其中的每个内部结点代表对某个属性的 1 次测试,每条边代表 1 个测试结果,叶结点代表某个类或者类的分布。本研究利用决策树分类方法,引入归一化差分植被指数(NDVI)、归一化城镇指数(NDBI)、归一化差异水体指数(MNDWI)等[分别见式(1)、式(2)、式(3)]多种分类指标,结合研究区内主要地物在 Landsat 8 遥感图像中的光谱特征,定性分类出研究区内耕地及裸土区域,用以反演土壤有机质含量。相关公式如下:

$$NDVI = \frac{M_5 - M_4}{M_5 + M_4}; \quad (1)$$

$$NDBI = \frac{M_5 - M_6}{M_5 + M_5}; \quad (2)$$

$$MNDWI = \frac{M_6 - M_3}{M_6 + M_3}。 \quad (3)$$

式中:M 表示各波段反射率;数字为波段号。

3 结果与分析

3.1 反射率与土壤有机质含量的相关性分析及回归建模

相关性分析可以通过数值或图形的形式揭示变量间统计

关系的强弱程度,获得土壤有机质含量与反射率显著相关的波段,从而提高土壤有机质含量反演的精度。本研究将土壤样本有机质含量的化验数据与影像上相应采样点的光谱反射率进行相关性分析。

图 2 显示,土壤有机质含量与 Landsat 8 图像 7 个波段的反射率都呈负相关。其中,土壤有机质含量与第 6 波段相关性最好,相关系数 $r = -0.853$, 决定系数 $r^2 = 0.728$, P 值 = 0.000, 达到显著水平。其次为第 7 波段,相关系数 $r = -0.837$, 决定系数 $r^2 = 0.701$, P 值 = 0.000, 达到显著水平。再次为第 5 波段,相关系数 $r = -0.821$, 决定系数 $r^2 = 0.675$, P 值 = 0.000。有机质含量与第 1 波段相关性最差,相关系数 $r = -0.216$, P 值 = 0.441, 未达到显著水平。

利用 Landsat 8 遥感图像第 2~7 波段反射率,采用逐步回归分析的方法,建立土壤有机质含量反演模型: SOM 含量 = $9.215 \times M_4 - 23.059 \times M_6 + 4.116$, 模型的决定系数 $r^2 = 0.824$, P 值 = 0.000, 达到显著状态,总均根方差 $RMSE = 0.247$ 。

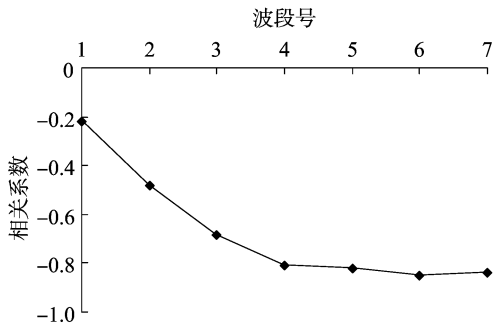


图2 不同波段的光谱反射率与土壤有机质含量相关分析

利用反射率建立起有机质含量反演模型,依据检验样本在 Landsat 8 遥感图像中的相应反射率,获得 10 个检验样本土壤有机质含量的预测值,预测值与实测值一起建立散点图。图 3 显示,检验样本的预测值与实测值较均匀地分布于 1:1 直线两侧,决定系数 $r^2 = 0.941$, P 值 = 0.000, 达到显著状态,总均根方差 $RMSE = 0.166$ 。

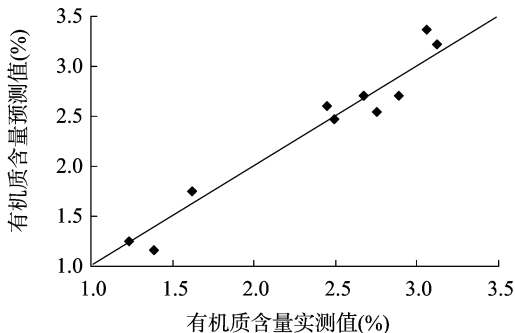


图3 基于反射率回归模型的有机质预测值与实测值关系

3.2 反射率变换形式与土壤有机质含量的相关性分析及回归建模

将反射率进行倒数、对数、一阶微分、倒数的对数、对数的一阶微分等数学变换,研究它们与土壤有机质含量的相关性,土壤反射率及各变换形式所对应特征波段及各分析指数与有机质含量的相关系数如表 1 所示,结果显示,将反射率图像进行倒数、对数、倒数的对数变化以后,与土壤有机质含量的相

关性均有不同程度地提高。其中,反射率的倒数、倒数的对数变换与土壤有机质含量呈正相关,而反射率的对数变换与土壤有机质含量呈负相关,相关系数达到 -0.941 。图像的反射率经过一阶微分以后,与土壤有机质含量的相关性虽然也达到了显著水平,但比变换前与有机质含量的相关性有所降低,而反射率对数的一阶微分与有机质含量相关性变换前相比无明显改善。

表 1 反射率及变换形式的有机质特征波段位置及相关系数

光谱变量	R	$1/R$	$\ln R$	$\ln(1/R)$	$(R)'$	$\ln(R)'$
入选波段	6	7	7	3	4	2
相关系数	-0.853	0.926	-0.941	0.912	-0.802	-0.883

将反射率及其变换形式与土壤有机质含量进行逐步回归分析,建立土壤有机质含量的反演模型: SOM 含量 = $-16.187 \times M_6 + 0.139/M_7 - 0.512 \times (\ln M_2)' + 6.467$, 模型的决定系数 $r^2 = 0.925$, P 值 = 0.000, 达到显著状态,总均根方差 $RMSE = 0.171$ 。

利用反射率及其变换形式所建立的有机质含量反演模型,依据检验样本所处位置的反射率,计算检验样本有机质含量的预测值,与实测值建立散点图,如图 4 所示,检验样本的预测值与实测值均匀分布于 1:1 直线两侧,决定系数 $r^2 = 0.965$, P 值 = 0.000, 达到显著状态,总均根方差 $RMSE = 0.119$,说明该反演模型可以很好地反演研究区内土壤有机质含量。

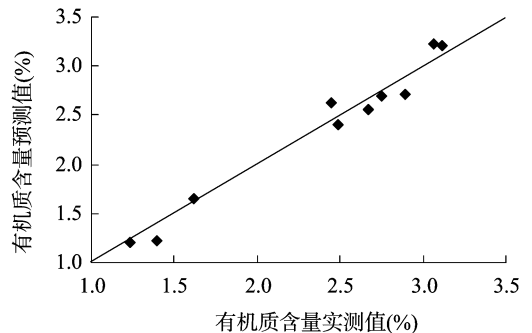


图4 基于多种光谱分析指数回归模型有机质预测值与实测值的关系

3.3 研究区土壤有机质含量的空间分布格局

考察“3.1”与“3.2”节的反演模型精度,选择基于 Landsat 8 图像光谱指数建立的土壤有机质含量的反演模型,反演研究区土壤有机质含量,并作图,获得长春市中西部地区土壤有机质含量的空间分布与格局。图 5 显示,研究区内土壤有机质含量分布不均,空间差异较大,东部地区土壤有机质含量明显高于西部地区,东部、南部地区土壤有机质含量普遍高于 3%,而西部、西北部地区土壤有机质含量普遍低于 2%,特别是研究区西北部(农安县西北部与松原市交界地带),土壤有机质含量处于较低水平,甚至低于 1%。根据土壤实地调查可知,研究区东部地区处于我国黑土区边缘地带,地势低平,土壤表层为松软的暗色腐殖质层,土质肥沃,是我国重要的粮食生产基地,因此土壤有机质含量反演值较高;研究区西部、北部为黑钙土区,并接近我国最大的苏打盐碱土区,一方面土壤有机质含量较低(低于 2%),另一方面土壤中较高的盐分掩盖了土壤有机质的光谱特征,使农安县西部、北部地区土壤有机质含量反演值较低。

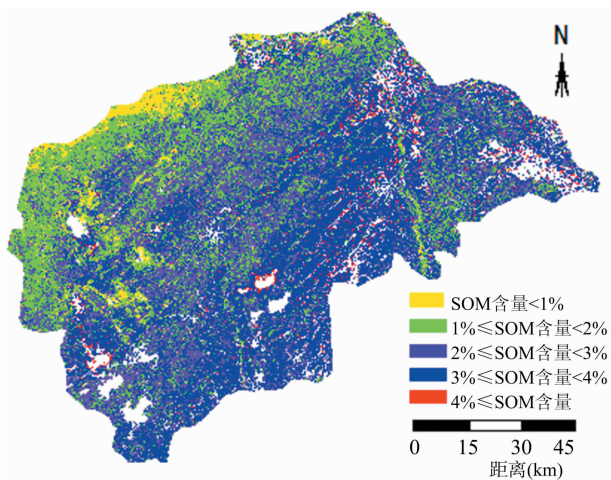


图5 土壤有机质含量反演结果

4 讨论与结论

利用遥感手段研究表层土壤有机质含量空间分布的方法具有省时省力且可信度较高等特点,为土壤环境的监测与可持续利用开辟了一条良好的途径。国内外研究结果普遍认为,土壤有机质的光谱特征主要表现在有机质对入射光能的吸收作用,土壤反射率会随着有机质含量的升高而降低,但在估算有机质含量过程中所选择的反射率波段和估算模型等方面,不同学者的研究结论有所差异,但总的趋势相同。Ben - Dor 通过研究认为,土壤有机质含量对整个可见光、近红外、短波红外波段的反射率均会产生影响^[13]; Karmieli 等研究发现,土壤有机质吸收特征主要体现在近红外波段,且在 1.720、2.180、2.309 μm 处出现吸收峰值^[14]; 李润林等在利用 TM 遥感影像研究舒兰市土壤有机质空间分布时发现,土壤有机质含量与 TM 遥感影像第 4 (波长为 0.76 ~ 0.90 μm)、第 5 (波长为 1.55 ~ 1.75 μm)、第 7 波段 (波长为 2.08 ~ 2.35 μm) 反射率相关性显著^[15]; 曾远文等利用 ETM + 遥感影像反演徐州矿区土壤有机质含量时发现,土壤有机质含量与 ETM + 影像第 7 波段 (波长为 2.08 ~ 2.35 μm)、第 5 波段 (波长为 1.55 ~ 1.75 μm) 反射率相关性良好^[16]; 刘娇等人采用 ASD 便携式高光谱仪测定黑河流域上游位地区土壤光谱反射率,并与土壤有机质含量进行相关性分析的结果显示,有机质含量与可见光 (波长范围 0.630 ~ 0.690 μm)、近红外 (波长范围 1.550 ~ 1.750 μm) 光谱范围内反射率具有较强相关性^[17]; 张法升等在利用遥感技术估算土壤有机质含量时指出,将反射率进行对数、倒数等变换后可以显著提高与有机质含量的相关系数^[3-4,18]。而本研究显示,土壤有机质含量的差异在 Landsat 8 可见光及近红外波段均有较强体现,研究区土壤有机质含量与 Landsat 8 第 6 波段 (波长为 1.560 ~ 1.660 μm) 相关系数达到最大值,其次为第 7 波段 (波长为 2.100 ~ 2.300 μm) 和第 5 波段 (波长为 0.845 ~ 0.885 μm); 将反射率进行倒数、对数、倒数的对数等数学变换后,可以显著提高与有机质含量的相关性,与以上学者的研究结论相似或相近,但所建立的反演模型却存在差异,原因可能与遥感数据的不同、模型的选取以及研究区土壤存在差异有关。

本研究利用多元逐步回归分析方法建立研究区土壤有机质含量回归分析模型,反演长春市中部地区土壤有机质含

量,达到了很好的预测效果,用于检验样本的预测值与实测值也具有较好的相关性,主要原因:(1)用于分析的遥感图像获取时间为 4 月,研究区内的耕地在这个时期为休耕期,地表裸露且无冰冻与积雪,因此遥感图像上表现出来的是裸露土壤的光谱信息,不受植被、冻土等因素的影响;(2)土壤采样点均匀分布于研究区内,可以代表研究区内土壤有机质含量的分布情况,有利于反演模型的建立。

然而,利用回归模型获得的检验样本有机质预测值与实测值存在一定误差,究其原因:(1)利用 FLAASH 大气校正模型对遥感图像进行大气校正过程中,受大气模型与气溶胶模型的选取、研究区平均高程与大气能见度等参数的输入误差影响,使大气校正过程中可能会存在误差;(2)由于未能获得与采样时间相同遥感影像,使得用于研究区土壤有机质含量反演的遥感影像 (成像时间为 2015 年 4 月 13 日) 与土壤采样 (2015 年 5 月 22—24 日) 具有一定的时间差异,在以后研究过程中应尽量选择与采样时间相同的同步遥感数据以提高反演精度。

本研究以 Landsat 8 遥感图像为数据源,以土壤在遥感图像中的反射率及其多种变换形式为光谱分析指标,联合野外土壤采样的有机质含量化验数据,以第 2 波段反射率对数的一阶微分、第 6 波段反射率、第 7 波段反射率倒数为自变量,利用多元逐步回归分析的方法建立研究区土壤有机质含量反演模型,反演长春市中部地区农安县、德惠市土壤有机质含量。结果显示,以多种光谱分析指数利用逐步回归分析的方法建立起来的有机质含量反演模型有较高的精度与稳定性。反演结果显示,研究区内土壤有机质含量呈东高西低的趋势,东南部地区有机质含量普遍高于 3%,而西北部地区有机质含量普遍低于 2%。利用 Landsat 8 多光谱遥感数据反演表层土壤有机质含量可以取得良好的预测结果,为土壤参数获取提供了快速而有效的方法。

参考文献:

- [1] 杨 扬,高小红,贾 伟,等. 三江源区不同土壤类型有机质含量高光谱反演[J]. 遥感技术与应用,2015,30(1):186-198.
- [2] 兰泽英,刘 洋. 乐安河流域土壤重金属含量高光谱间接反演模型及其空间分布特征研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(3):26-31.
- [3] 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[J]. 应用生态学报,2010,21(4):884-888.
- [4] 顾晓鹤,王 堃,潘瑜春,等. 基于 HJ1A-HSI 超光谱影像的耕地有机质遥感定量反演[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(6):70-73.
- [5] 李 洪. 官厅水库消落带土壤有机质分布特征及其高光谱反演研究[D]. 北京:首都师范大学,2014.
- [6] 徐剑波,宋立生,赵之重,等. 近 15a 来黄河源地区玛多县草地植被退化的遥感动态监测[J]. 干旱区地理,2012,35(4):615-622.
- [7] 印 影,姜琦刚,林 楠. 资源一号 02C 星数据在土地利用分类中的应用[J]. 科学技术与工程,2014,14(29):260-264.
- [8] 张娟娟,田永超,姚 霞,等. 基于高光谱的土壤全氮含量估测[J]. 自然资源学报,2011,26(5):881-890.
- [9] 徐涵秋,唐 菲. 新一代 Landsat 系列卫星:Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义[J]. 生态学报,2013,33(11):3249-3257.

董莉莉,吴克宁,魏洪斌,等.我国中部粮食主产区耕地质量等别限制因素及提升对策[J].江苏农业科学,2016,44(12):419-424.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.127

我国中部粮食主产区耕地质量等别限制因素及提升对策

董莉莉¹,吴克宁^{1,2},魏洪斌¹,赵华甫^{1,2}

[1.中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083;2.国土资源部土地整治重点实验室,北京 100035]

摘要:以我国中部典型县域为例,探讨耕地质量等别分布特征,系统分析区域耕地质量等别限制因素,提出不同区域耕地质量的提升对策。以县域农用地分等更新成果为研究对象,通过 ArcGIS 叠加分析与数据统计,综合对比分析耕地质量等别与不同分等因素的关系与规律。研究表明,5 个典型县域耕地质量等别总体较高,以中、高等地为主,有少量优等地分布,各区域耕地质量存在共性的自然和利用限制因素,也存在特有的限制因素,土地整治应因地制宜提升耕地质量。这说明开展耕地质量保护与提升工程建设,既要改良耕地质量共性限制因素,更要着眼于不同区域的特有限制因素,制定区域差别化的耕地质量提升对策。

关键词:农用地分等;耕地质量;限制因素;提升策略;典型县域

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0419-06

我国实行最严格的耕地保护制度,耕地作为农业生产的基本资料,其数量与质量状况影响粮食生产能力,对保障经济发展、维持社会稳定具有决定性作用。当前我国的耕地保护工作已从单一的数量管理向数量、质量、生态三位一体的管护转变,而我国耕地质量总体偏低,中低产田面积比重大,耕地质量日益引起重视。2009 年完成的农用地分等定级工作,第一次实现耕地质量全国可比,为推进耕地资源保护利用、保障农业生产与粮食安全发挥了重要作用。

我国耕地资源保护和国家粮食安全保障已上升为一个紧迫的重大战略问题^[1-3]。近年来,我国耕地质量问题引起众多学者关注,为科学量化耕地资源的数量、质量和分布,充分认识耕地资源特点,相关学者依据农用地分等成果及其应用,开展了大量相关研究工作。如从大区和省域层面研究耕地资源分布特征,司振中等研究了中国耕地资源的区域差异及保

护问题^[4],关兴良等研究了中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析^[5],王洪波等研究了中国耕地等别分异特性及其对耕地保护的影响^[6],孔祥斌等研究了中国西部区耕地等别空间分布特征^[7];在省域尺度,相关学者对河北、江苏、重庆耕地等别分布规律进行了研究^[8-10],国内学者开展了耕地质量等别的研究工作,在耕地产能分异^[11-13]、耕地质量变化^[14-16]、耕地质量评价^[17-18]、耕地质量监测^[19-23]、产能核算与提升潜力研究^[24-27]及耕地质量“占补平衡”^[28-29]等方面开展了大量工作,并取得了一定的研究成果,为全面认识耕地质量等别分布特征提供了理论依据。我国中东部地区承担着社会经济发展与粮食安全保障的双重任务,作为人口密集分布区,人地矛盾突出,是我国经济发展与粮食生产的主要集中区。中部地区由于受不同的自然气候因素与社会经济条件影响,耕地质量等别分布特征不同,其主要限制因素也具有区域差异性,系统研究中东部典型县域耕地质量等别主导限制因素及提升策略具有重要现实意义。

基于我国中部粮食主产区典型县域耕地分等成果,选取黑龙江海伦市、吉林省农安县、河南省禹州市、湖北省公安县、江西省吉安县,分别代表东北区、黄淮海区、长江中下游区、江南区,通过 ArcGIS 进行数据处理与统计分析,对比 5 个典型县域的耕地质量等别特征,分布状况以及耕地质量等别限制因素的

收稿日期:2015-10-20

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(编号:201511082-2)。

作者简介:董莉莉(1979—),女,河南信阳人,博士研究生,主要从事土地评价与规划研究。E-mail:dllcugh@126.com。

通信作者:吴克宁,教授,博士生导师,主要从事土地评价与规划研究。E-mail:knwu@sohu.com.cn。

[10]李旭文,牛志春,姜 晟,等. Landsat 8 卫星 OLI 遥感影像在生态环境监测中的应用研究[J]. 环境监控与预警,2013,5(6):1-5.

[11]马 驰. 松嫩平原土地盐碱化研究[J]. 吉林农业大学学报,2014,36(3):333-337.

[12]栾福明,张小雷,熊黑钢,等. 基于 TM 影像的荒漠—绿洲交错带土壤有机质含量反演模型[J]. 中国沙漠,2014,34(4):1080-1086.

[13]Ben-Dor E. Quantitative remote sensing of soil properties[J]. Advances in Agronomy,2002,75:173-243.

[14]Karnieli A, Verchovsky I, Hall J K, et al. Geographic information sys-

tem for semi-detailed mapping of soil in semi-arid region[J]. Geocarto International,1998,13(3):29-42.

[15]李润林,姚艳敏. 基于 TM 影像和地形数据的土壤有机质空间分布[J]. 湖北农业科学,2014,53(2):312-316.

[16]曾远文,陈 浮,王雨辰,等. 采煤矿区表层土壤有机质含量遥感反演[J]. 水土保持通报,2013,33(2):169-172.

[17]刘 娇,李 毅,刘世宾. 光谱测定黑河上游土壤有机质的预测模型[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(2):3354-3358.

[18]李媛媛,李 微,刘 远,等. 基于高光谱遥感土壤有机质含量预测研究[J]. 土壤通报,2014,45(6):1313-1318.