小波变换在土壤有机质含量可见/近红外 光谱分析中的应用

刘 炜1,常庆瑞1,郭 曼1,邢东兴1,2,员永生1

(1.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2.咸阳师范学院资源环境系,陕西 咸阳 712000)

摘 要:使用高光谱仪 ASD Field Spec 在波长范围 400~1000 nm 内采集有机质含量不同的土壤原始光谱;之 后,求取土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数(一阶导数光谱);对以上两类一阶导数光谱进行小波去嗓处理;并分析 这两类一阶光谱在去嗓前、后,光谱形态的变化情况,以及它们与有机质含量相关性的改善程度。结果表明:(1) 土 壤原始光谱及其 A 值的一阶导数中含有大量噪声,严重影响了对光谱曲线波形轮廓、特征信号点和有机质吸收特 征的识别。(2) 经小波去嗓处理后,土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数中的嗓声被有效去除,一阶导数光谱的清 断度明显改善,光谱质量显著提高。(3) 去嗓后的土壤原始光谱的一阶导数,呈开口向下的"喇叭口"状,波长范围 567~598 nm 内与有机质含量呈较为稳定、显著的负相关性。(4) 去嗓后的土壤原始光谱 A 值的一阶导数,波形呈 "凹"状,波长范围 524~535 nm 内与有机质含量呈比较稳定、显著的正相关性。

关键词:可见/近红外光谱;土壤有机质;一阶导数光谱;小波变换;定量分析 中图分类号: \$153.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2010)05-0241-06

土壤有机质是土壤中各种营养元素的重要来 源,土壤有机质含量是土壤肥力评价的重要指标,并 被作为精准农业的主要输入参数之一。精准农业和 变量施肥技术要求能够快速、准确、高效、低成本的 获取农田土壤信息,包括土壤湿度,土壤有机质,pH 值,土壤压实,耕作层深度等内容^[1~4]。传统的土壤 有机质化学测定方法虽然测定精度较高,但耗时、费 力、成本高。现代可见/近红外反射光谱分析技术 (Visible/ Near Infrared Reflectance Spectroscopy, VIS/ NIRS),能够充分利用全谱段多波长的光谱数据对 目标物质进行定性或定量分析,并且具有速度快、效 率高、成本低、测量方便、测试重现性好等特点,目前 在农业、食品等领域应用广泛。已有研究表明,可见 /近红外光谱段波长范围 400~1 000 nm, 是土壤有 机质最主要光谱响应区域,具有对有机质含量进行 定量分析的潜力^[4~7]。

高光谱数据经过一阶导数运算后,能够增强局 部位置对目标物质含量变化的光谱响应差异。因 此,近年来,一些研究者试图从土壤光谱的一阶导数 中提取特征参数检测有机质。沈润平^[7]、周萍^[8]、何 挺^[9]、刘焕军^[10]、卢艳丽^[11]等采用逐步回归分析和 单相关分析,从土壤原始光谱或 A 值(反射率导数 的对数)的一阶导数中提取敏感波段,建立对有机质 含量的线性/非线性预测模型。贺军亮等^[12]的研究 表明,通过对数变换、倒数变换和一阶导数运算,可 以降低非有机质含量变化对光谱响应特征的影响。 谢伯承^[13]的研究还表明,利用土壤原始光谱一阶导 数和 A 值的一阶导数建立的土壤有机质预测方程, 其预测精度要分别高于采用土壤原始光谱和 A 值 建立的方程。此外,土壤原始光谱或 A 值的一阶导 数还被用于土壤湿度、全氮含量、全磷含量、pH 值等 理化参量的定量分析^[14~18]。

土壤光谱数据采集的过程中,通常要面临各类 杂质残留、测试环境变动、传感器信噪比下降、人为 误差等诸多不确定因素,这些因素共同作用形成了 噪声光谱^[19-22]。大量试验结果表明,土壤原始光 谱经过一阶导数运算后,原始光谱中的高频噪声会 被放大,遮蔽一阶导数光谱的波形轮廓,对目标物吸 收特征峰的识别、定位及相关计算造成严重干扰,降 低了光谱分析精度。因此,有必要选择一种合适的 方法,对土壤一阶导数光谱进行去噪处理。小波变 换具有多分辨率特性,可以聚焦到光谱信号的任意 细节。光谱信号的细节特征和噪声在进行多尺度小 波分解时,具有不同的传递特性和表现特征^[21-25]。 据此,可采取适当的方法使光谱信号的细节特征和 噪声有效分离。

收稿日期:2009-05-10

基金项目:"十一五"国家科技支撑计划重大项目(2006BAD09B0603);国家自然科学基金项目(30872073);国家"973"计划项目 (2007CB407203)

作者简介:刘 炜(1978—),男,陕西咸阳人,硕士生,主要从事遥感与 GIS 应用研究。E-mail: york5588 @ nwsuaf.edu.cn。

通信作者:常庆瑞(1959一),男,陕西子洲人,教授,博士生导师,主要从事资源环境与3S技术应用研究。E-mail:chqr@nwsuaf.edu.cn。

目前,在土壤有机质的可见/近红外光谱分析 中,土壤原始光谱及其A值的一阶导数应用较多, 然而,针对这两类一阶导数光谱采用小波去噪的研 究尚不多见,为此,试验首先通过对数变换获取土壤 原始光谱A值;之后,求取土壤原始光谱及其A值 的一阶导数;然后在基于小波变换的阈值去噪方法 的支持下,对土壤原始光谱及其A值的一阶导数进 行去噪处理;并分析这两类一阶光谱在去噪前、后, 光谱形态的变化情况,以及它们与有机质含量相关 性的改善程度。试验旨在为在精准农业中采用可见 /近红外光谱分析技术定量分析土壤有机质提供依 据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备

供试土壤样品采自陕西省眉县,采样区土壤为 褐土,质地为壤质粘土,土层深厚。试验依据土壤剖 面发生层次,分层采集土壤样品,采样深度为0~60 cm。为了从光谱数据中消除或降低土壤水分、土壤 粒度等因素的对土壤有机质吸收特征的影响,试验 将土壤样品置于实验室内自然风干,之后用木棍滚 压,并去除沙砾石块及植物残体,接下来研磨、过筛 (100 目尼龙筛)。试验获取土壤样品 36 个,每个土 壤样品分成两份,一份采用重铬酸钾法测定土壤有 机质含量,另一份用来测量光谱数据。

1.2 光谱测量

试验采用高光谱仪 ASD Field Spec 在波长范围 400~1000 nm 内连续测量土壤样品的反射光谱数 据。测量时在暗室内将土壤样品放置在直径 16 cm,深度 3 cm 的盛样皿上,调整盛样皿使其处于水 平位置,平整土壤样品表面使样品厚度均匀。光源 为能够提供平行光的 1000 W 的镁光灯,距离土壤 样品表面 70 cm。多次测量后传感器探头的视场角 选定为 7.5 度,在距离土壤样本表面 40 cm 垂直上 方接收目标物反射光谱数据。每次采集光谱数据 前、后都要进行白板校正(标准白板的反射率为 1, 所测光谱是无量纲的相对反射率)。每一个土壤样 品采集 10 条光谱数据,然后以算术平均值作为该土 壤样品最终的光谱反射率。

1.3 数据处理

由于在土壤理化参量的可见/近红外光谱检测 中,土壤原始光谱 A 值经常被用到,因此,试验通过 对土壤原始光谱进行对数变换获取其 A 值,采用的 计算公式如下^[1,4]:

$$A(\lambda) = \operatorname{Ln}[R(\lambda)]^{-1}$$
(1)

式中, R(λ)为波长位置λ nm 处的土壤原始光谱反 射率;λ的取值范围为 400 ~ 1 000 nm。A(λ)是经对 数变换后的光谱值。

试验还按中点公式求取土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数,采用的计算公式如下^[1,26]:

 $D(\lambda) = [R(\lambda + 1) - R(\lambda - 1)]/\Delta \lambda \vec{u}$

 $D(\lambda) = [A(\lambda + 1) - A(\lambda - 1)]/\Delta\lambda$ (2) 式中, $R(\lambda)$, $A(\lambda)$ 的意义同上; λ 的取值范围为 400 ~ 1 000 nm; $D(\lambda)$ 是一阶导数光谱值。相关计算过 程均在软件 MATLAB 6.5 中完成。

2 结果与分析

2.1 小波去噪对土壤原始光谱一阶导数响应特征 的影响

试验求取了有机质含量不同的土壤原始光谱的 一阶导数(17.79,9.37,7.31,4.20 g/kg),之后,采用 基于小波变换的阈值去噪方法对其进行去噪处理 (选取"sym 8"作为小波母函数,选择"Heursure"阈值 选取规则,"sln"阈值调整方法,分解3层。)。图1a、 b对比了波长范围 450~700 nm 内,去噪前、后土壤 一阶导数光谱的变化情况;图 2a、b 则是去噪前、后 土壤一阶导数光谱在各个波长位置与有机质含量的 相关系数。从图 1a 中可以看出,去噪前,土壤一阶 导数光谱中含有大量噪声,对光谱曲线轮廓和有机 质吸收特征的识别造成严重干扰,特征信号点(极值 点和拐点)无法识别,光谱质量较差。同时,从图 2a 中还可以看出,去噪前,一阶导数光谱的相关系数曲 线,在450~700 nm 内振荡十分强烈,频率高、幅度 大,难以从中确定对土壤有机质含量变动敏感的波 段。

图 1b 是去噪后的一阶导数光谱,从中可以看 出,经小波去噪处理后,一阶导数光谱中的大部分噪 声被有效去除,显示出清晰的"骨架"特征:470~650 nm 内呈开口向下、较为平滑"喇叭口状;波长范围 490~625 nm 内,多个特征点和拐点所处的波长位置 都可以被准确定位,如 529,547,553,562,571,577, 602,609 nm 和 620 nm 等,特别是在 562 nm 处左右, 各条光谱曲线一致达到了最大值;从图 1b 中还可以 看出,在这些波长位置,一阶导数光谱对土壤有机质 含量变化均表现出十分显著的响应特征。此外,从 图 2b 中还可以看出,一阶导数光谱经小波去噪处理 后,波长范围 450~700 nm 内,其相关系数曲线的振 荡程度大幅减弱,较图 2a 中的相关系数曲线,稳定 性得到明显改善。其中,波长范围 513~608 nm 内, 相关系数值在-0.650~-0.795 之间小幅波动,整 体表现平稳,尤其是波长范围 567~598 nm 内,相关 系数值在-0.700~-0.795 之间,显示出较为稳定、 显著的负相关性。



图1 小波去噪对土壤原始光谱一阶导数的影响







Fig.2 Correlation coefficients between soil organic matter contents and noisy/denoised first derivative spectra of soil

2.2 小波去噪对土壤原始光谱 A 值一阶导数响应 特征的影响

试验获取了有机质含量不同的土壤原始光谱 A 值,之后,求取其一阶导数,并采用基于小波变换的 阈值去噪方法进行去噪处理(选取"sym 8"作为小波 母函数,选择"Heursure"阈值选取规则,"sln"阈值调 整方法,分解 3 层)。图 3a、b 分别显示了波长范围 450~700 nm 内,去噪前、后 A 值的一阶导数光谱; 图 4a、b 则是它们在各个波长位置与有机质含量的 相关系数。结合图 3a 和图 4a 可以看出,去噪前,A 值的一阶导数光谱中同样存在大量噪声,致使光谱 曲线的波形轮廓、特征信号点(极值点和拐点)和有 机质的吸收特征受到遮蔽干扰,难以识别,同时,相 关系数曲线也强烈振荡,表现很不稳定。



图 3 小波去噪对土壤原始光谱 A 值一阶导数的影响

Fig.3 Influence of wavelet denoising on noisy first derivative A value of soil



图 4 小波去噪前后土壤 A 值一阶导数光谱与有机质含量的相关系数

Fig.4 Correlation coefficient between soil organic matter content and noisy/denoised first derivative A value of soil

图 3b 和图 4b 则是经小波去噪处理后,A 值的 一阶导数光谱及其与有机质含量的相关系数。从图 3b 中可以看出,去噪后,A 值的一阶导数光谱消除 了大部分噪声,波形轮廓清晰可辨,470~650 nm 内 呈现出显著的"凹"状特征。其中,波长范围 490~ 563 nm 内的一阶导数光谱位于"凹"状波形中间底 部,较为平坦的区域,光谱值的波动程度较小,起伏 平缓;并且,相对于其它波长位置,该波长范围内的 光谱值对有机质含量变化,表现出了更为显著的响 应特征。从图 4b 中还可以看出,A 值的一阶导数光 谱经小波去噪处理后,其相关系数曲线的振荡程度 明显减弱,稳定性大幅提高,这一点与图 2b 所示相 关系数的变化情况基本一致。尤其是在波长范围 524~535 nm 内,相关系数值都在 0.700~0.780 平 缓波动,表现出了较为稳定的正相关性。

比较图 1 和图 3 以及图 2 和图 4,综合分析有机 质含量不同的土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数, 在小波去噪前、后的变化情况,可以认为,基于小波 变换的阈值去噪方法能够有效去除土壤一阶导数光 谱中的噪声。去噪后一阶导数光谱曲线的波形轮廓 清晰可辨;特征信号点表现突出,易于识别、定位;同 时,因有机质含量变化引起的光谱响应差异也得以 凸显,光谱质量明显改善,光谱分析能力显著提高。

3 讨论

可见/近红外光谱段 400~1 000 nm,是土壤有 机质最主要的光谱响应区域。然而,在该波长范围 内,土壤光谱反射率的水平整体较低,因有机质吸收 引起的光谱曲线变化也比较微弱,没有显著的峰谷 特征,不利于特征参数提取。因此,关于土壤有机质 的可见/近红外光谱检测研究,都很少直接从土壤原 始光谱中提取敏感波段,一般均先对土壤原始光谱 进行某种变换,增强光谱响应差异,之后,提取特征 参数检测有机质[4]。目前,在土壤光谱特征增强的 方法中,对数变换、导数运算等都应用较多。由于一 阶导数运算能够显著增强光谱数据中特征信号点对 目标物质含量变化的响应差异,因此,试验对土壤原 始光谱进行了一阶导数运算。从图 1b 中可以看出, 经小波去噪处理后,一阶导数光谱在波长范围 470 ~650 nm 内,形成了一个以 562 nm 处光谱值为中心 顶点、开口向下的"喇叭口",这是因为波长范围 470 ~650 nm 内,土壤原始光谱反射率从上凹的加速增 长趋势转变为上凸的减速增长趋势,其间必然存在 一个拐点,而通过一阶导数运算,就可以提取出该拐 点的波长位置,并能形成以该拐点为中心的一阶导 数光谱反射峰。此外,从图 1b 中还可以看到,波长 范围 490~625 nm 内存在多个极值点和拐点,并且 在这些位置,一阶导数光谱对土壤有机质含量变化 都具有十分显著的分异表现。

试验还结合对数变换和一阶导数运算对土壤原 始光谱进行处理,获取了土壤A值的一阶导数。从 图 3b 中可以看出,经小波去噪处理后,土壤A值的 一阶导数光谱在波长范围470~650 nm 内呈现出开 口向上的"凹"状波形,其中,波长范围490~563 nm 内的光谱值位于"凹"状波形中间底部平台,波动幅 度不大,表现较为平稳;并且,相对于其它波长位置, 该波长范围内的光谱值对有机质含量变化具有更为 明显的分异表现。对比图 1b 与图 3b 还可以发现, 对数变换使得一阶导数光谱的反射峰产生了一定程 度的峰宽效应,一阶导数光谱的反射峰产生了一定程 度的峰宽效应,一阶导数光谱中一些的极值点处的 峰高也被压缩。尽管以上两种光谱特征增强方法的 使用效果存在一定差异,增强后的一阶导数光谱的 形态也有所不同,但对比这两类一阶导数光谱在小 波去嗓前、后的变化情况,可以看出,在小波去嗓的 支持下,两类一阶导数光谱的清晰度得到明显改善, 一些敏感波段位置的光谱分异表现也得以凸显,为 提取描述有机质吸收性质的特征参数创造了条件。 在接下来的研究工作中,还可以尝试将小波去嗓用 于高阶(如二阶或三阶等)土壤导数光谱的去噪处理 (也包括结合高阶导数运算与其它光谱特征增强方 法得到的高阶导数光谱),以进一步在可见/近红外 光谱段内挖掘有机质的吸收特征。此外,在小波去 噪的过程中,小波母函数、阈值选取规则与重调方 法、小波分解尺度等因素,都在一定程度上影响着去 噪效果,在今后研究工作中,还需要继续探索对以上 因素及其组合方式的选择方法,以进一步改善去噪 效果,提升一阶导数光谱的分析能力。

4 结 论

试验针对土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数 进行了小波去噪处理;之后,分析这两类一阶导数光 谱在去噪前、后,光谱形态的变化情况,以及它们与 有机质含量相关性的改善程度。得到结论如下:

 土壤原始光谱及其A值的一阶导数中含有 大量噪声,严重影响了对光谱曲线波形轮廓、特征信 号点和有机质吸收特征的识别。

2) 经小波去噪处理后,土壤原始光谱及其 A 值的一阶导数中的噪声被有效去除,一阶导数光谱的 清晰度明显改善,光谱质量显著提高。

3) 去噪后的土壤原始光谱的一阶导数,呈开口向下的"喇叭口"状,波长范围 567~598 nm 内与有机质含量呈较为稳定、显著的负相关性。

4) 去噪后的土壤原始光谱 A 值的一阶导数,波 形呈"凹"状,波长范围 524~535 nm 内与有机质含 量呈比较稳定、显著的正相关性。

波长范围 400~1000 nm 内,因有机质吸收引起 的光谱曲线变化比较微弱,在小波去嗓的支持下,通 过一阶导数运算可以显著增强光谱曲线上局部位置 对有机质含量变化的响应差异。在今后的研究工作 中,可以尝试将小波去噪与高阶导数运算、对数变换、 指数变换等各种光谱特征增强方法结合起来,以进一 步从可见/近红外谱段内挖掘关于有机质的吸收特 征,为提供更加稳健、敏感的特征参数创造条件。

参考文献:

- [1] 王纪华,赵春江,黄文江,等.农业定量遥感基础与应用[M].北 京:科学出版社,2008.
- [2] 赵春江.精准农业研究与实践[M].北京:科学出版社,2009:

- [3] 严泰来,王鹏新.遥感技术与农业应用[M].北京:中国农业大学出版社,2008:345-374.
- [4] 李民赞,韩东海,王 秀.光谱分析技术及其应用[M].北京:科 学出版社,2006;115-279.
- [5] 徐彬彬.土壤剖面的反射光谱研究[J].土壤,2000,32(6):281-287.
- [6] 周 清,周 斌,张扬珠,等.成土母质对水稻土高光谱特性及 其有机质含量光谱参数模型影响的初步研究[J].土壤学报, 2004,41(6):905-911.
- [7] 沈润平,丁国香,魏国栓,等.基于人工神经网络的土壤有机质 含量高光谱反演[J].土壤学报,2009,46(3):391-397.
- [8] 周 荐,王润生,阎柏琨,等.高光潜遥感土壤有机质信息提取研究[J].地理科学进展,2008,27(5):27-34.
- [9] 何 挺,王 静,林宗坚,等.土壤有机质光谐特征研究[J].武 汉大学学报:信息科学版,2006,31(11):975-979.
- [10] 刘焕军,张 柏,赵 军,等.黑土有机质含量高光谱模型研究
 [J].土壤学报,2007,44(1):27-32.
- [11] 卢艳丽,白由路,杨俐苹,等.基于主成分回归分析的土壤有机 质高光谐预测与模型验证[J].植物营养与肥料学报,2008,14 (6):1076-1082.
- [12] 贺军亮,蒋建军,周生路,等.土壤有机质含量的高光谐特性及 其反演[J].中国农业科学,2007,40(3):638-643.
- [13] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等,褐潮土的光谐特性及用土壤反射 率估算有机质含量的研究[J].土壤通报,2004,35(4):391--395.
- [14] 刘伟东, Frederic Baret,张 兵,等.高光谱遥感土壤湿度信息 提取研究[J].土壤学报,2004,41(5):700-706.
- [15] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等.土壤参数的光谱实时分析[J].干 旱地区农业研究,2005,23(3):54-57.
- [16] 孙建英,李民赞,郑立华,等.基于近红外光谐的北方潮土土壤 参数实时分析[J].光谱学与光谱分析,2006,26(3):426-429.
- [17] 徐永明,蔺启忠,王 瑞,等.基于高分辨率反射光谐的土壤营 养元家估算模型[J].土壤学报,2006,43(5):709-716.
- [18] 宋海燕,何 勇.近红外光谱法分析土壤中磷、钾含量及 pH 值 的研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2008,28(3): 275-278.
- [19] 沙晋明,陈鹏程,陈松林,等.土壤有机质光谱响应特性研究
 [1].水土保持研究,2003,10(2):21-24.
- [20] 鲍一丹,何 勇,方 惠,等.土壤的光谐特征及氮含量的预测 研究[J].光谱学与光谱分析,2007,27(1):62--65.
- [21] 郑立华,李民赞,潘 姿,等.近红外光谱小波分析在土壤参数 预测中的应用[J].光谱学与光谱分析,2009,29(6):1549-1552.
- [22] 黄明祥,王 珂,史 舟,等.土壤高光谱噪声过滤评价研究
 [J].光谱学与光谱分析,2009,29(3):722-725.
- [23] 应义斌,刘燕德,傅霞禅.基于小波变换的水果糖度近红外光 诸检测研究[J].光谱学与光谱分析,2006,26(1):63--66.
- [24] 田高友,袁洪福,褚小立,等.结合小波变换与微分法改善近红 外光谱分析精度[J].光谱学与光谱分析,2005,25(4):516—520.
- [25] 杨福生.小波变换的工程分析与应用[M].北京:科学出版社, 1999:28-96.
- [26] 李信真,车刚明,封建湖,等.计算方法[M].西安;西北工业大 学出版社,2000:172-175.

Application of wavelet transformation in detection of organic matter content based on visible/near infrared reflectance spectroscopy

LIU Wei¹, CHANG Qing-rui¹, GUO Man¹, XING Dong-xing^{1,2}, YUAN Yong-sheng¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;

. 2. Department of Resources and Environment, Xianyang Normal College, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: The hyper-spectral reflectance of soil was measured by a ASD FieldSpec within 400 ~ 1 000 nm, and processed by logarithmic transformation for getting A value of soil spectra. Next, first order derivative operation was conducted for the original soil spectra and A value. Then, the two types of first derivative spectra of soil above were denoised by the threshold denoising method based on wavelet transformation. In the two kinds of denoised spectra, spectrum response feature due to different soil organic matter content was discussed; and the sensitive bands for organic matter content estimation were initially determined by applying correlation. Results showed that: (1) Because of much noise, it is difficulty to identify contour and response feature in the two types of first derivative spectra resulting from different organic contents. (2) By the threshold denoising method based on wavelet transformation, noise in the two types of first derivative spectra is removed effectively, and the spectra contour and response feature can be identified easily. (3) Within 567 ~ 598 nm, there are high and stable negative correlation coefficients between soil organic matter contents and denoised first derivative spectra of soil. (4) Within 524 ~ 535 nm, there are high and stable positive correlation coefficients between soil organic matter contents between soil organic matter contents and denoised first derivative A value of soil.

Keywords: visible/near infrared spectra; organic matter content; first derivative spectra of soil; wavelet transformation; quantitative analysis

(上接第240页)

Study on hierarchical classification method of land use in the agriculture and pasturage interlaced region ——Taking Jingbian County as an example

LI Xiao-ming¹, CHANG Qing-rui¹, ZHANG Ren-hui²

College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
 College of Urban and Resources, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Taking agriculture and pasturage interlaced region of Jingbian County in Shaanxi Province as a study area, the region was classified into nine categories using the hierarchical classification method. Based on the analysis of spectral characteristics of TM images, landuse categories were obtained layer by layer using model maker of ERDAS software. The results showed that, contrasted with the traditional supervised classification method, the accuracy of hierarchical classification method was significantly improved, and the overall classification accuracy was 87.41%, while Kappa coefficient reached 85.53%.

Keywords: hierarchical classification; land use; spectral characteristics; Jingbian County