

辛京达,陈成,刀剑,等. 基于土壤光谱特性的土壤类型区分研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(10):207-212.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.10.039

基于土壤光谱特性的土壤类型区分研究

辛京达,陈成,刀剑,王建雄

(云南农业大学水利学院/云南省高校农业遥感与精准农业工程研究中心,云南昆明 650201)

摘要:选取云南农业大学某试验地为研究区域,一方面利用无人机挂载多光谱相机获取研究区域的多光谱遥感影像,通过对比多光谱波段反射率以及多光谱影像发现,绿光和红光波段对 3 类土壤较为敏感,且反射率具有明显差异,对多光谱数据进行 8 种合成指数计算后发现,红绿比值指数(RG)对 3 种土壤的区分效果最优;另一方面利用美国 ASD 公司的 FS4 NG 地物光谱仪对获取的土壤样本进行多光谱测定,通过主成分分析对土壤样本进行区分,一阶微分变换后主成分分析前 5 个主成分提供了 85% 的光谱信息,而二阶微分变换后主成分分析前 5 个主成分提供了 95% 的光谱信息,且后者区分效果优于前者。

关键词:多光谱;高光谱;植被指数;主成分分析;土壤类型区分

中图分类号: S127;S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)10-0207-06

土壤作为农业生产的基础,是一种至关重要的自然资源,快速准确地对土壤进行区分,可以加快土地利用规划等工作的进度。随着光谱技术的快速发展,众多学者尝试利用光谱技术对土壤进行类别划分^[1]。如 Stoner 等将美国和巴西的 485 个土壤样本的反射光谱曲线分为 5 种类型:有机质控制型、最小改变型、铁影响型、有机质影响型和铁控制型^[2];我国学者戴昌达将我国的 23 类土壤,根据其反射光谱特征,将反射光谱曲线分为 4 类:平直型、缓斜型、陡坎型和波浪形^[3];李丹等将 215 个广东省水稻土壤数据通过 S-G 一阶导数平滑,处理后带入支持向量机分类,土类级分类精度达到 59%^[4];吴豪翔等对我国南方丘陵的砖红壤、红壤、黄壤、水稻土和紫色土的光谱反射率进行了定量分析,为土壤分类提供了光谱定量指标^[5]。本研究以 3 种土壤类型样本的高光谱反射光谱和多光谱影像作为研究对象,分别采用主成分分析法和合成光谱指数对土壤样本进行区分,旨在为土壤类型的区分提供更加准确、快速的方法。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况与土样采集

研究区域位于云南省昆明市盘龙区云南农业大学现代教育实践基地后山试验田内,地理位置为 25°8'E,102°45'N,气候类型属亚热带高原季风气候,试验区面积约为 6.67 hm²。原试验区经实地调查分析后确认其表层土壤均为山原红壤,在土地平整后,发现试验区内出现了与山原红壤差异较大的土壤,其土质粗糙且含沙量较多,极有可能为混合土壤。经过实地调查发现,该沙质土为土地平整时期施工人员由他处覆来。

土壤样品采自试验田内 3 类不同土壤的 0~20 cm 表层土样品,数量为 30 个,采样时间为 2019 年 11 月 16 日,土壤经过风干研磨后通过 2 mm 孔筛,试验区采样点如图 1 所示。

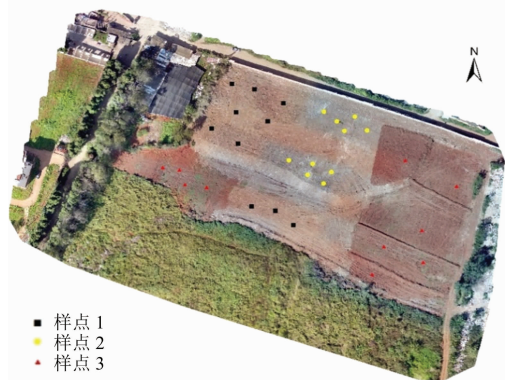


图1 试验区采样点分布

收稿日期:2020-09-08

基金项目:云南省教育厅科学研究基金(编号:2020Y0177)。

作者简介:辛京达(1997—),男,吉林长春人,硕士研究生,主要从事资源与环境遥感研究。E-mail:819045742@qq.com。

通信作者:王建雄,博士,教授,主要从事资源与环境遥感研究。

E-mail:jianxiongw@126.com。

1.2 多光谱数据采集与处理

1.2.1 区域多光谱数据采集 使用大疆 M100 无人机挂载派诺特五镜头多光谱相机,对试验区域进行多光谱影像采集。无人机飞行高度为 60 m,设置飞行航向重叠率为 70%,旁向重叠率为 75%,飞行速度为 12 m/s,多光谱相机镜头垂直地面向下,间隔 2 s 拍摄试验地块 4 个波段(绿光、红外光、红边、近红外光)的多光谱正摄影像图。

1.2.2 实验室内多光谱数据采集 将处理后的土壤样本置于实验室内,刮平表面,并对多光谱相机进行室内灰板校正。利用派诺特多光谱相机采集 3 类土壤样本 4 个波段的反射率。

1.2.3 合成光谱指数 目前研究发现多光谱对植被覆盖较为敏感,但针对土壤的多光谱研究相对较少,并且并无权威的多光谱土壤指数可以使用,因此本研究为了更好地对反射物质特性进行研究,选用与绿光、红光、近红外光、红边波段有关的常见合成指数对反射光谱进行合成,其计算公式如表 1 所示。

表 1 多光谱合成指数计算

合成指数	计算方法
RVI	NIR/RED
DVI	$\text{NIR} - \text{RED}$
NDVI	$(\text{NIR} - \text{RED})/(\text{NIR} + \text{RED})$
NDVI705	$(\text{REG} - \text{RED})/(\text{REG} + \text{RED})$
GNDVI	$(\text{NIR} - \text{GRE})/(\text{NIR} + \text{GRE})$
RG	RED/GRE
LCI	$(\text{NIR} - \text{REG})/(\text{NIR} + \text{RED})$
OSAVI	$(\text{NIR} - \text{RED})/(\text{NIR} + \text{RED} + 0.16)$

注: NIR、RED、REG、GRE 分别为近红外波段、红光波段、红边波段、绿光波段的反射率。

其中,RVI 为比值植被指数,是由 Jordan 提出的一种最早的植被指数,它是近红外光波段和红光波段反射率的比值,有研究表明,在植被区域 RVI 通常大于 2,土壤区域 RVI 通常在 1 左右^[6]。DVI 为差值植被指数,它是近红外光波段和红光波段的差值,它对土壤的环境较为敏感,通常情况下土壤区域 DVI 在 0.05 左右^[7]。NDVI 为归一化植被指数,也是目前最常用的一种植被表征指标^[8],它将比值限定在 -1 ~ 1 之间,通常土壤区域 NDVI 为 0.1 左右。NDVI705 是

对 NDVI 进行了改进,为红边归一化植被指数,同样它的范围也为 -1 ~ 1,通常情况下,土壤区域的 NDVI705 小于 0.2^[9]。GNDVI 为绿通道植被指数,它在 NDVI 的基础上将红光波段替换为绿光波段,这也使得它相比于 NDVI 更加稳定^[10]。RG 为红绿比值指数,是红光波段与绿光波段的比值,范围通常为 0.1 ~ 8.0,土壤区域 RG 通常约为 1.3^[11]。LCI 为优化植被指数,目前研究发现 LCI 在判定叶片叶绿素含量及含氮量方面具有很好的潜力。OSAVI 为优化土壤调整植被指数,它在 NDVI 的基础上将土壤环境纳入考量,从而减少土壤环境的影响^[12]。

1.3 高光谱数据采集与处理

将处理后的土壤样本于暗室内进行光谱测量,利用美国 ASD 公司的 FS4 NG 地物光谱仪测得 3 类土壤共计 30 个样本 350 ~ 2 500 nm 范围内的光谱反射率。为了消除噪声的影响,对测得的数据仅保留 400 ~ 2 400 nm,并对处理后的数据分别进行一阶微分变换和二阶微分变换,扩大样品间的光谱差异,在原始曲线快速变化的区间有明显的波峰或波谷,便于土壤类型的区分^[13]。

本研究所用的一阶微分变换公式^[14]为:

$$R'(\lambda_i) = [R(\lambda_{i+1}) - R(\lambda_{i-1})]/2\Delta\lambda。$$

本研究所用的二阶微分变换公式^[15]为:

$$R''(\lambda_i) = [R(\lambda_{i+1}) - 2R(\lambda_i) + R(\lambda_{i-1})]/\Delta\lambda^2。$$

式中: λ_i 为每个波段对应的波长; $R'(\lambda_i)$ 为对应波长 λ_i 的一阶微分光谱; $R''(\lambda_i)$ 为对应波长 λ_i 的一阶微分光谱; $R(\lambda_i)$ 、 $R(\lambda_{i+1})$ 、 $R(\lambda_{i-1})$ 分别为对应波长 λ_i 、 λ_{i+1} 、 λ_{i-1} 的原始反射率; $\Delta\lambda$ 为重采样间隔。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质分析

对获取的 3 类土壤样本,从土壤颜色(干态、湿态)、石灰反应、结构、干湿度、松紧度等因素对土壤进行理化性质上的分析。如表 2 所示,第 3 类土壤符合山原红壤的理化特性,因此判定第 3 类土壤为原始的山原红壤,而第 1 类和第 2 类土壤掺杂了不同程度的沙砾,使得其从颜色到结构等理化性质发生了改变,因此判定其为改性后的混合山原红壤。

表 2 土壤理化性质分类

编号	砾石含量(%)	颜色(干态)	颜色(湿态)	pH 值	结构	干湿度	松紧度
1	25.0	黄橙 7.5YR 8/5.5	橙 5YR 6.5/5.5	8	团粒	干	疏松
2	45.0	灰黄 9YR 4/3	暗灰 10YR 4/3	8	粒	干	较疏松
3	0.7	暗棕 7.5YR 3/3.5	黑棕 7.5YR 2/2.5	7	块	湿	紧实

2.2 多光谱特性分析

2.2.1 单波段多光谱特性

对实验室获取的 3 类土壤分别进行均值处理,其反射率均值如图 2 所示。

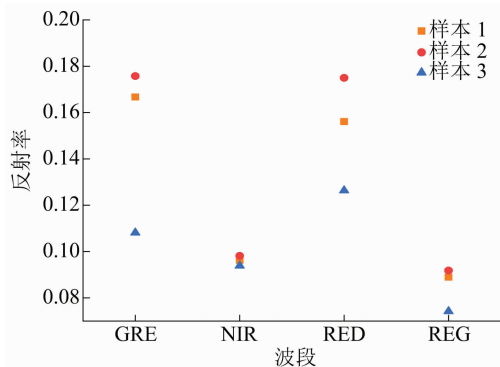


图2 多光谱 4 个波段反射率均值

从图 2 可以看出,3 类土壤样本 4 个波段的反射率均在 0.07~0.20 之间,并且绿光和红光波段对 3 类土壤较为敏感且反射率有明显差异,红边波段对样本 3 较为敏感,其反射率与另外 2 类样本有明显差异,而在近红外光波段 3 类土壤反射率均值相近,这种特性也在试验区的多光谱影像中体现出来,如图 3 所示。

2.2.2 合成指数多光谱特性

对多光谱数据进行 8 种合成指数的计算,计算后的合成指数如表 3 所示。为了更好地对土壤进行区分,对计算后的合成指数进行 Z-score 标准化处理,得到一个综合性指标如图 4 所示。

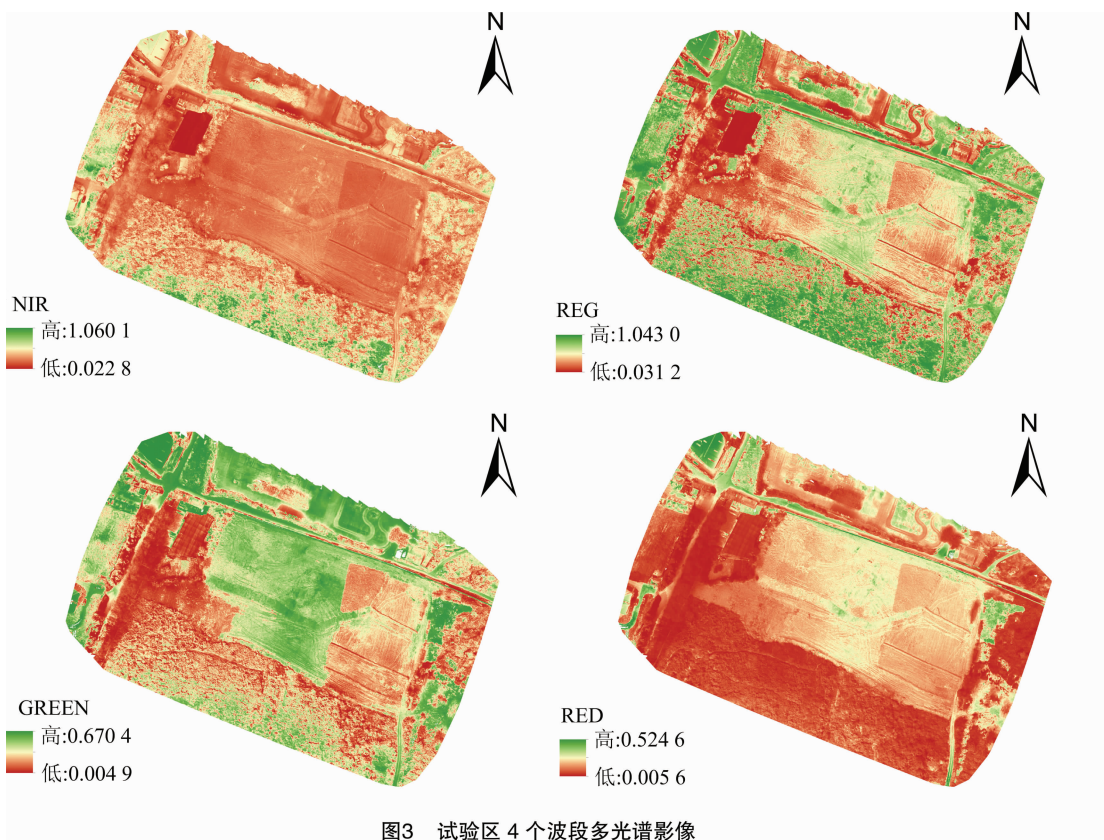


图3 试验区 4 个波段多光谱影像

表 3 土样多光谱合成指数

合成指数	样本 1	样本 2	样本 3
RVI	0.616 0	0.561 0	0.742 9
DVI	-0.059 9	-0.076 8	-0.032 5
NDVI	-0.237 6	-0.281 2	-0.147 5
NDVI705	-0.274 0	-0.311 6	-0.259 9
GNDVI	0.038 9	0.033 3	0.116 8
RG	0.936 6	0.995 5	1.168 3
LCI	0.028 6	0.023 2	0.089 2
OSAVI	-0.145 4	-0.177 3	-0.085 4

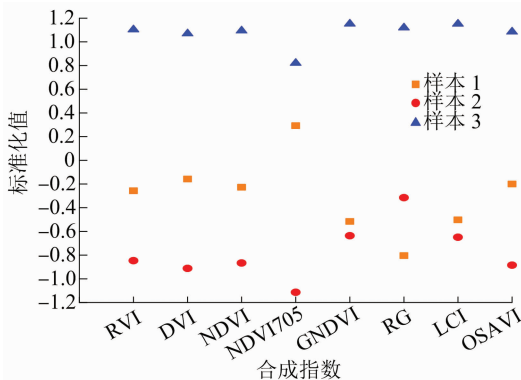


图4 土样多光谱合成指数

通过分析可以发现,尽管 3 类土壤样本的 8 种合成指数在数值上差距不大,但对其进行标准化处理后可以很清晰地看出,除去 GNDVI 和 LCI,剩余的 6 种合成指数均能对 3 类土壤进行区分。将预先处理的试验区 4 个波段多光谱影像在 ArcGIS 中进

行控制点矫正,利用栅格计算器进行多光谱影像的合成,获得试验区的 8 种合成指数影像,如图 5 所示。

综合土壤合成指数与合成指数影像图分析得知,在选取的 8 种合成指数中,尽管标准化后,除去

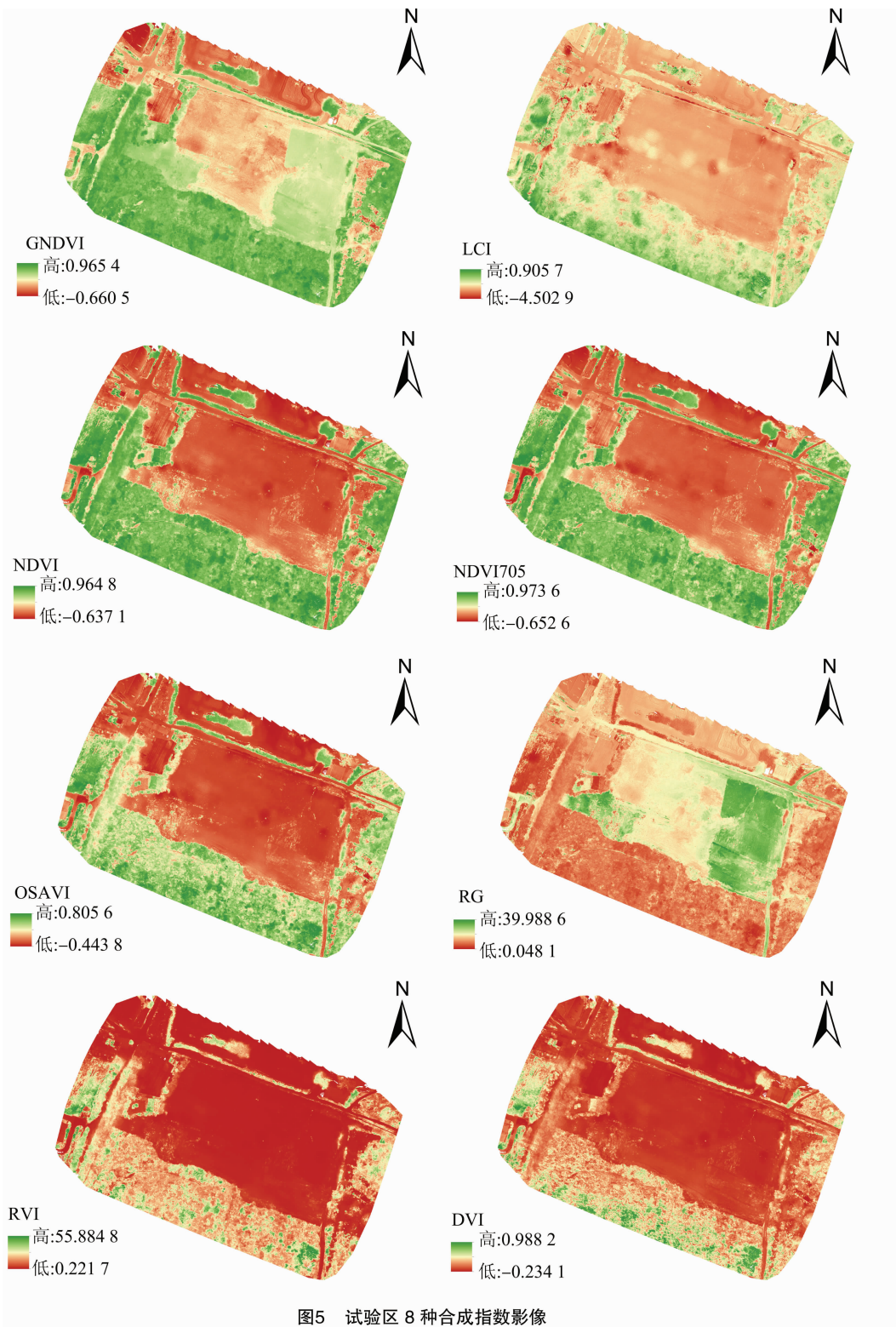


图5 试验区 8 种合成指数影像

GNDVI 和 LCI, 剩余的 6 种合成指数均能对 3 类土壤进行区分, 但结合影像图发现, GNDVI 影像图对第 3 类土壤较为敏感, 与第 1 类及第 2 类有明显区分; RG 在影像图上区分较为明显, 第 1 类土壤呈淡红色, 第 2 类土壤呈淡绿色掺杂淡黄色, 第 3 类土壤呈绿色。

2.3 高光谱特性分析

2.3.1 原始光谱曲线分析 将测得的高光谱数据使用 ViewSpecPro 软件进行处理, 并导出 3 类土壤样本各波段反射率, 如图 6 所示。通过 3 类土壤样本的原始反射率可以看出, 3 类土壤样本的原始反射率总体呈上升趋势。在可见光波段 (400 ~ 780 nm) 反射率迅速上升, 在近红外光波段 (780 ~ 2 150 nm) 反射率上升趋势趋于平缓, 并且在 1 400、1 900、2 200 nm 附近出现明显的吸收特征, 这主要与铁的氧化物有关^[8]。

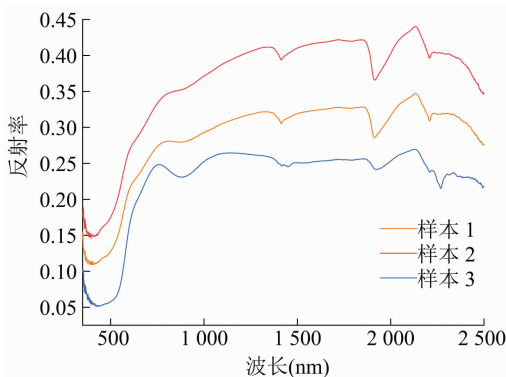


图6 3类土壤原始反射率曲线

2.3.2 基于高光谱的主成分分析 将一阶微分和二阶微分处理后的 30 个土壤反射光谱数据在 The Unscrambler 软件中进行主成分分析。取前 10 个主成分的贡献率以及累积贡献率, 如表 4、表 5 所示, 从表中可以看出, 一阶微分变换前 10 个主成分包含了约 92% 的光谱信息, 而二阶微分变换前 5 个主成分包含了约 95% 的光谱信息。

在 The Unscrambler 绘制二维得分图, 如图 7、图 8 所示。可以看出, 在一阶微分变换后的主成分分析得分图中, 样本 1 大部分位于第一象限; 样本 2 大部分位于第四象限; 样本 3 位于第二、第三象限。而在二阶微分变换后的主成分分析得分图中, 3 类样本分别位于第四、第一和第二象限, 且样本点之间无明显重叠。因此一阶微分和二阶微分变换均能对 3 类土壤进行区分, 且后者的分类效果明显优于前者。

表 4 一阶微分变换主成分贡献率

主成分	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
PC-1	72.173 7	72.173 7
PC-2	4.739 1	76.912 8
PC-3	3.213 8	80.126 6
PC-4	2.672 8	82.799 4
PC-5	2.014 0	84.813 4
PC-6	1.796 0	86.609 4
PC-7	1.623 5	88.232 9
PC-8	1.137 8	89.370 7
PC-9	1.102 9	90.473 6
PC-10	1.037 4	91.511 0

表 5 二阶微分变换主成分贡献率

主成分	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
PC-1	80.336 9	80.336 9
PC-2	8.832 3	89.169 2
PC-3	3.342 1	92.511 3
PC-4	1.203 0	93.714 3
PC-5	1.036 9	94.751 2
PC-6	0.976 3	95.727 5
PC-7	0.796 3	96.523 8
PC-8	0.574 5	97.098 3
PC-9	0.369 7	97.468 0
PC-10	0.304 7	97.772 7

3 结论

通过对土壤样本的理化性质分析, 样本 3 属于山原红壤, 而其余 2 类样本为混合了不同含量沙砾的混合山原红壤。在多光谱分析中发现, 红光和绿光波段对 3 类土壤较为敏感, 并且综合标准化后的合成指数和试验区的合成指数遥感影像发现, RG 可以清晰地影像中对 3 类土壤进行区分。在对高光谱原始反射率采用一阶微分和二阶微分变换后进行主成分分析, 发现后者在分类效果上明显优于前者。本研究仅对山原红壤以及其混合土壤进行光谱特性的区分, 以后的研究中可以增加更多的土壤, 改进合成指数算法, 从而提供一种更优的土壤分类方式。

参考文献:

- [1] 王 婷, 刘振华, 彭一平, 等. 华南地区土壤有机质含量高光谱反演[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 350-357.

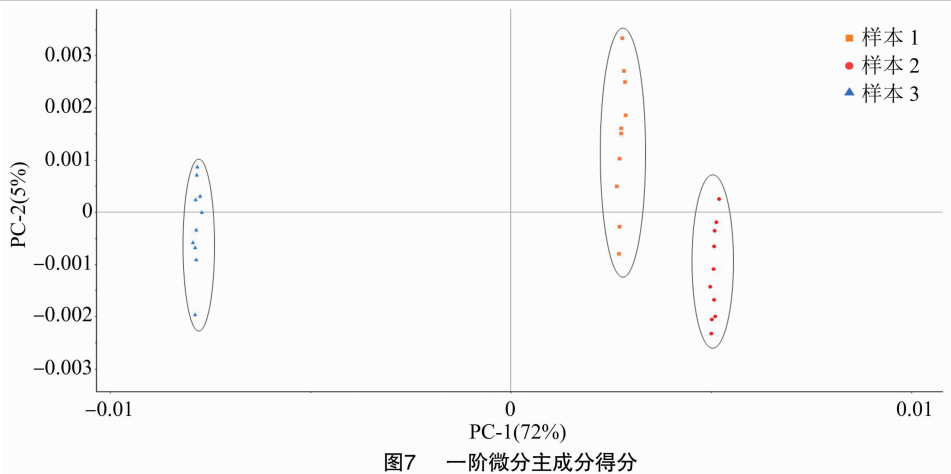


图7 一阶微分主成分得分

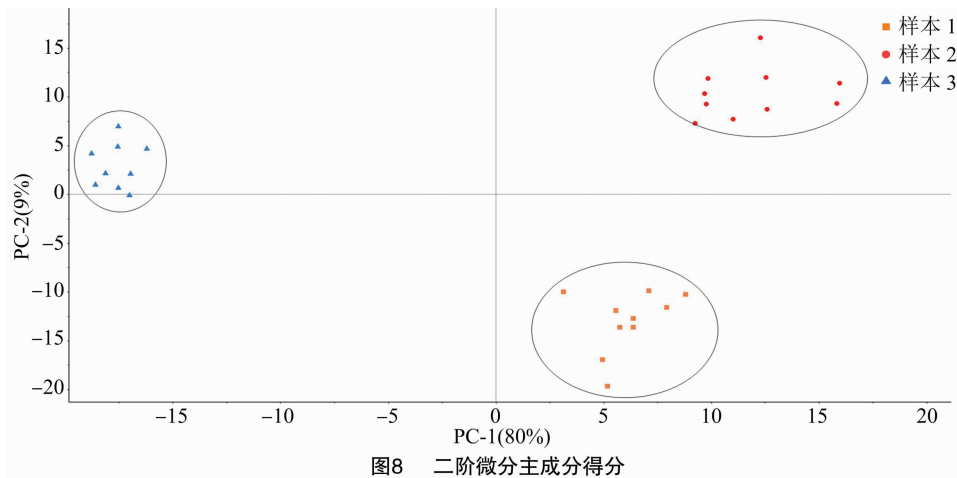


图8 二阶微分主成分得分

- [2] Stoner E R, Baumgardner M F. Characteristic variations in reflectance of surface soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45(6): 1161 - 1165.
- [3] 戴昌达. 中国主要土壤光谱反射特性分类与数据处理的初步研究[G]//国家遥感中心. 遥感文选. 北京: 科学出版社, 1981: 315 - 323.
- [4] 李丹, 彭智平, 韩留生, 等. 基于土壤反射光谱特性的广东省稻田土壤快速分类[J]. *热带地理*, 2015, 35(1): 29 - 34.
- [5] 吴豪翔, 王人潮. 土壤光谱特征及其定量分析在土壤分类上的应用研究[J]. *土壤学报*, 1991, 28(2): 177 - 185.
- [6] 郭钺. 植被指数及其研究进展[J]. *干旱气象*, 2003, 21(4): 71 - 75.
- [7] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 327 - 333.
- [8] Stow D A, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land - cover change in Arctic Tundra Ecosystems [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 89(3): 281 - 308.
- [9] Moroni M, Lupo E, Marra E, et al. Hyperspectral image analysis in environmental monitoring: setup of a new tunable filter platform [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, 19: 885 - 894.
- [10] Rahman M M, Robson A. Integrating Landsat - 8 and Sentinel - 2 time series data for yield prediction of sugarcane crops at the block level [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(8): 1313.
- [11] 汪小钦, 王苗苗, 王绍强, 等. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5): 152 - 159.
- [12] 赵天奇. 面向变量施肥应用的 OSAVI 测量仪的设计[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [13] 项宏亮. 应用高光谱技术区分土壤类型的初步探讨[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2013.
- [14] 郭熙, 谢碧裕, 叶英聪, 等. 基于一阶微分变换方法的南方丘陵稻田土壤电阻率高光谱特性研究[J]. *江西农业大学学报*, 2015, 37(1): 190 - 198.
- [15] 徐念旭, 田庆久, 申怀飞, 等. 基于微分变换的高光谱马尾松和杉木识别[J]. *国土资源遥感*, 2018, 30(4): 28 - 32.