

# 基于 Landsat 遥感影像的杨树信息提取方法分析

刘云鹏<sup>1</sup>, 巩睿<sup>2</sup>, 解春霞<sup>1</sup>, 郑华英<sup>1</sup>

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

**摘要:**该文使用近 10 a 4 个时相的江苏全省 Landsat 遥感影像,在数据预处理的基础上提取归一化植被指数、比值植被指数、土壤调节植被指数、增强型植被指数、大气阻抗植被指数等 5 种植被指数,并进行主成分分析。运用最大似然法、随机森林法和光谱角填图法进行分类,结合小班数据,对各方法的分类结果进行精度评价。评价结果表明,光谱角填图法在杨树信息提取时精度更高,对杨树的区分精度也达到 42.67%。

**关键词:**杨树; Landsat 影像; 光谱角填图法; 最大似然法; 随机森林法; 森林资源; 信息提取

**中图分类号:**S758.61; F316.23 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2017.02.007

## Study on information extraction of poplar resources using Landsat remotely sensed datasets

LIU Yun-peng<sup>1</sup>, GONG Rui<sup>2</sup>, XIE Chun-xia<sup>1</sup>, ZHENG Hua-ying<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** In this article, five kinds of vegetation index, the first principal component and five kinds of texture features (NDVI, SR, SAVI, EVI, ARVI) were extracted on the basis of data collection from and pretreatment of Landsat remote sensing images during ten years (from 2005 to 2015) in Jiangsu Province. In combination with field survey data and kappa coefficient index analysis, three classification methods as the maximum likelihood method, the random forest method and spectral angle mapping were compared for accuracy assessment. Result showed that the spectral angle mapping method got the highest accuracy in poplar information extraction, with accuracy of 42.67%.

**Key words:** *Populus* sp.; Landsat images; Spectral Angle Mapping (SAM); Maximum likelihood method; Random forest method; Forest resources; Information extraction

杨树因其生长快、轮伐期短、易于定向培育等特点而深受群众喜爱,成为江苏的主要造林树种之一。杨树造林对于快速提高江苏的森林覆盖率、增加当地农民的收入和地方财政收入具有重要意义。大面积种植促进了杨树加工产业的发展,杨树加工产业的蓬勃发展又推动了杨树广泛栽培,形成良性循环。杨树产业成为苏北许多县、市的支柱产业,以杨树为原料的人造加工板也发展为全省林产业的支柱产业。然而,江苏省杨树产业在经过近 30 a 的蓬勃发展之后,开始进入了发展的瓶颈期,经济效益有所下滑,杨树种植缺乏系统有序的规划管理,因此,确切掌握近 10 a 杨树资源的变化情况,对推动江苏杨树产业的可持续发展至关重要。

为了确切掌握杨树资源的变化情况,推动江苏杨树产业的可持续发展和系统有序的规划管理,必须对杨树产业发展进行科学合理的规划,而规划的前提就是提取江苏杨树资源现状。传统获取资源现状的方式一般是大面积、高强度的地面人工调查,这种资源调查方式费工费时,调查成果的主观性强。由于遥感技术具有宏观、客观、快速高效和动态监测等优点,利用遥感技术结合 GIS、GPS 进行杨树资源调查就成为现代资源调查的有效方式<sup>[1-3]</sup>。

随着遥感技术的发展,人们利用遥感技术对森林植被进行调查监测的研究不断深入,分类方法和信息提取的结果也越来越准确,高光谱遥感图像数

收稿日期:2016-09-19;修回日期:2017-03-02

基金项目:江苏省林业三新工程项目“3S 技术在杨树舟蛾类食叶害虫监测中的应用”[lysx(2014)02]

作者简介:刘云鹏(1978-),男,安徽宿州人,副研究员,博士。研究方向:森林病虫害防治。

据处理和分析技术也取得了很大进展。Fraser 等<sup>[4]</sup>采用陆地卫星 Landsat TM 多光谱图像在一定时间内监测了植被覆盖的变化情况; Maselli 等利用长时间序列的 NDVI 指数监测地中海的森林状况<sup>[5]</sup>; 全志杰等在利用遥感图像进行森林类型的分类基础上应用相关模型推测出森林动态变化的趋势<sup>[6]</sup>; 臧淑英等利用 GIS 技术分析了塔源林场的森林资源状况<sup>[7]</sup>。随着科技的进步, 遥感影像分辨率也逐步提高, 分类方法也不断改进, 但有关杨树的遥感分类并不多见。李明诗利用 ASTER 影像提取了建湖县杨树空间分布、面积等信息。赵宇鸾等利用 MLC 法、LSU 算法对杨树 TM 遥感影像数据进行识别分析, 估算了河北省文安县 2007 年 5 月的杨树林地面积<sup>[8]</sup>。

本文在前人研究的基础上, 利用 Landsat TM 遥感影像, 通过一系列图像变换后, 把归一化植被指数、比值植被指数、土壤调节植被指数、增强型植被指数、大气阻抗植被指数等 5 种植被指数以及第一主成分分析、纹理特征叠加在一起, 生成包含多种特征的影像, 根据小班图 and 实际调查结果, 采取随机森林法、最大似然法和光谱角填图法这 3 种分类方法, 分别对 2005、2010、2013 年和 2015 年的样地进行分类提取, 比较 3 种分类方法的精度, 确定最优分类提取方法, 为杨树遥感影像信息的提取提供了技术参考。

## 1 研究区域概况及数据预处理

### 1.1 区域概况

研究区域为江苏省域, 其地处长江三角洲地区, 位于东经  $116^{\circ}22' - 121^{\circ}55'$ , 北纬  $30^{\circ}45' - 35^{\circ}07'$  之间。江苏省从北到南, 雨热递增, 主要的植被类型由落叶阔叶林到常绿阔叶林过渡, 中间夹杂着落叶阔叶与常绿阔叶混交林。据现在文献资料记载, 截至 2014 年, 全省杨树资源总面积  $92.77 \text{ 万 hm}^2$ , 蓄积量为  $6\,841 \text{ 万 m}^3$ , 杨树面积占全省乔木林面积  $137.6 \text{ 万 hm}^2$  的  $67.4\%$ , 杨树蓄积量占全省林木总蓄积量  $8\,431.0 \text{ 万 m}^3$  的  $81.2\%$ 。从林木覆盖率来看, 杨树林木覆盖率为  $12.77\%$ , 占全省林木覆盖率的  $59.1\%$ 。杨树资源构成了本省森林资源的主体, 同时其面积和蓄积量也均位居全国第一。按区域来分, 淮北地区是本省杨树的主产区, 苏北 5 市杨树面积  $81.8 \text{ 万 hm}^2$  (占  $88.2\%$ ), 蓄积  $6\,239.1 \text{ 万 m}^3$  (占  $91.2\%$ ); 苏中 3 市  $7.0 \text{ 万 hm}^2$  (占  $7.5\%$ ), 蓄积  $460.4 \text{ 万 m}^3$  (占  $6.7\%$ )。

### 1.2 数据预处理

本研究采用 Landsat 5 TM 影像和 Landsat 8 OLI 影像, 下载地址为 <http://glovis.usgs.gov/>。本研究总共下载了 40 幅图像, 云量都控制在  $10\%$  以内。由于杨树在 4 月初发芽, 11 月落叶, 因此本研究下载的遥感影像都集中在 5—10 月, 并且尽可能地保持在相同月内。在收集遥感影像过程中, 光谱辐射、分辨率、大气等因素会对影像的成像产生各种各样影响, 致使最后对图像的分析会产生干扰。故对下载影像要进行前期辐射定标、大气校正、镶嵌与裁剪等处理, 使其接近地物本来真实的图像<sup>[9]</sup>。

前期处理完成后, 将下载图像拼接起来, 再根据江苏省矢量图进行区域裁剪, 才能做进一步的杨树信息提取。本文在 ArcGIS 支持下, 获取了研究区的江苏边界矢量 shp 文件, 然后在遥感处理软件 ENVI 5.0 中, 采用取子集运算 (Subset Data from ROI) 将下载影像图进行裁剪, 得到实验研究区影像。

## 2 数据信息提取方法

分类算法分为“监督分类”和“非监督分类”。本研究采取“监督分类”的方法, 即通过实地杨树样地调查, 给定各类地物的影像训练样本, 然后提取各类地物的训练样本信息, 再通过不同的算法将每个像素分类为每个给定的类别。具体算法如下:

### 2.1 随机森林分类

随机森林 (Random Forest) 是由众多 CART 决策树组成, 通过相关投票来进行决策分类<sup>[10]</sup>, 如图 1 所示:

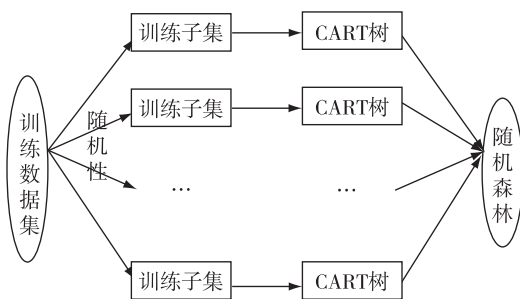


图1 随机森林结构

其中对训练集的随机性策略如下:

(1) 训练样本的选择: 利用 Bagging 方法, 重采样训练样本。

(2) 特征属性的选择: 分裂属性是在随机的子特征空间中选取的, 其中子特征空间可以通过重采样或随机选取得到。

2.2 最大似然法

最大似然法也称为最大概似估计,是发展很早的一种监督分类方法。利用不同地物特征不同而相同地物特征相同的原理,分别各类别构建概率分布函数,然后计算每个像元属于各个类别的概率分布,最后选择概率最大的类别作为它的归属类型<sup>[11]</sup>。

假设类别  $k$  中观测到的  $x$  的概率是  $P(x|k)$ ,那么归属概率  $L_k$  的判别函数如下式:

$$L_k=P(k|x)=P(k)\times P(x|k)/\sum P(i)\times P(x|i)$$

式中, $x$  表示未知像元, $P(k)$ 表示属于类别  $k$  的概率。

训练样本的光谱特征与正态分布相似,通过训练样本计算出特征参数如均值、方差和协方差,从而得到先验概率密度的概率密度函数。像元  $x$  属于类别  $k$  的归属概率  $L_k$ 表示如下:

$$L_k(x) = \left(2\pi^{n/2} \times \left(\det \sum_k\right)^{1/2}\right)^{-1} \times \exp\left((-1/2) \times (x - \mu_k)^T \sum_k^{-1} (x - \mu_k)\right)$$

式中, $n$  为特征向量维数,  $x$  为像元向量,  $L_k(x)$  为像元  $x$  归属于类别  $k$  的归属概率,  $\mu_k$  为类别  $k$  的平均向量( $n$  维列向量),  $\det$  为矩阵  $A$  的行列式,  $\sum_k$  为类别  $k$  的方差、协方差矩阵( $n \times n$  矩阵)。

2.3 光谱角填图法

光谱角填图(Spectral Angle Mapper, SAM)是一种基于光谱的分类方法,它是在  $N$  维空间( $N$  是影像的波段数)把测试光谱与参考光谱匹配,通过计算它们之间的“光谱角”来确定它们的差异性,夹角越小越相似,然后根据与已知类别的夹角大小来判断归属类别<sup>[12]</sup>。

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{t \cdot r}{\|t\| \cdot \|r\|}\right)$$
  
$$= \cos^{-1}\left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^N t_i^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^N r_i^2\right)^{1/2}}\right]$$

上式中,  $\theta$  代表光谱之间的夹角,  $N$  代表波段数,  $t$  代表未知地物的测试光谱,  $r$  代表参考光谱。

3 识别提取分析结果

3.1 随机森林分类法提取杨树信息

本文将 5 种植被指数和第一主成分以及纹理特征叠加在一起,在 ENVI 5.0 中安装了随机森林插件,先建立研究区的随机森林模型,然后对 2005, 2010, 2013, 2015 年的样地遥感影像进行随机森林分类,得到的分类结果如表 1。

表 1 分类混淆矩阵表及总体精度

年份	类别	分类							用户精度/%	总体精度/%	Kappa 系数
		杨树	其他林地	耕地	水域	建设用地	裸地	总计			
2005	杨树	100	196	67	0	0	12	375	26.67	52.29	0.40
	其他林地	25	180	56	4	26	20	311	57.88		
	耕地	30	24	289	0	26	24	393	73.54		
	水域	0	20	13	70	0	0	103	67.96		
	建设用地	0	0	21	0	58	26	105	55.24		
	裸地	7	16	29	0	34	44	130	26.15		
2010	杨树	140	237	99	0	0	39	515	27.18	52.91	0.41
	其他林地	71	301	60	9	38	26	505	59.60		
	耕地	26	28	277	0	30	32	393	70.48		
	水域	0	2	5	135	0	0	142	95.07		
	建设用地	0	0	41	0	87	62	190	45.79		
	裸地	11	24	26	0	41	79	181	22.65		
2013	杨树	79	159	85	0	0	34	357	22.13	51.15	0.38
	其他林地	40	145	49	8	29	29	300	48.33		
	耕地	31	29	294	0	19	20	393	74.81		
	水域	0	6	6	91	0	0	103	88.35		
	建设用地	0	0	21	0	55	29	105	52.38		
	裸地	20	11	31	0	22	46	130	16.92		
2015	杨树	105	142	27	0	0	8	282	37.23	54.45	0.43
	其他林地	26	114	34	2	12	34	222	51.35		
	耕地	28	34	216	0	16	18	312	69.23		
	水域	0	4	2	77	0	0	83	92.77		
	建设用地	0	0	21	0	50	27	98	51.02		
	裸地	14	10	24	0	18	37	103	17.48		

对 4 个年度的影像数据进行随机森林分类后,可以看出,该方法获得的分类总体精度为 52.70%,*Kappa* 系数为 0.41。其中,2005 年的总体精度是 52.29%,*Kappa* 系数是 0.40;2010 年的总体精度是 52.91%,*Kappa* 系数是 0.41;2013 年的总体精度是 51.15%,*Kappa* 系数是 0.38;2015 年的总体精度是 54.450%,*Kappa* 系数是 0.43。针对不同分类类别的用户精度分析显示,该方法对不同分类目标的分

析精度各不相同( $F = 56.410, P = 0.000\ 1$ ),对水域的区分精度较高,平均精度为 86.04%,而对杨树的区分精度相对较低,平均仅为 28.3%。

3.2 最大似然法提取杨树信息

本文利用最大似然分类法对 2005,2010,2013,2015 年的影像进行随机森林分类,得到的分类结果如表 2。

表 2 分类混淆矩阵表及总体精度

年份	类别	分类						总计	用户精度/%	总体精度/%	<i>Kappa</i> 系数
		杨树	其他林地	耕地	水域	建设用地	裸地				
2005	杨树	124	181	62	0	0	8	375	33.07	52.65	0.40
	其他林地	30	169	60	7	28	17	311	54.34		
	耕地	27	29	272	0	32	33	393	69.21		
	水域	0	12	5	86	0	0	103	83.50		
	建设用地	0	0	25	0	49	31	105	46.67		
	裸地	15	8	34	0	27	46	130	20.77		
2010	杨树	157	240	102	0	0	16	515	30.49	55.71	0.45
	其他林地	64	316	56	8	34	27	505	62.57		
	耕地	30	24	289	0	26	24	393	73.54		
	水域	0	8	10	124	0	0	142	87.32		
	建设用地	0	0	32	0	100	58	190	52.63		
	裸地	9	27	20	0	38	87	181	20.99		
2013	杨树	84	168	79	0	0	26	357	23.53	50.50	0.37
	其他林地	37	147	62	8	26	20	300	49.00		
	耕地	30	24	289	0	26	24	393	73.54		
	水域	0	12	5	86	0	0	103	83.50		
	建设用地	0	0	25	0	49	31	105	46.67		
	裸地	15	8	34	0	27	46	130	20.77		
2015	杨树	117	131	21	0	0	13	282	41.49	53.09	0.41
	其他林地	36	105	34	5	7	35	222	47.30		
	耕地	33	49	187	0	15	28	312	59.94		
	水域	0	7	5	71	0	0	83	85.54		
	建设用地	0	0	16	0	58	24	98	59.18		
	裸地	11	9	21	0	16	46	103	15.53		

对 4 个年度的影像数据进行最大似然法分类,从混淆矩阵表中可以看出,2005 年的总体精度是 52.65%,*Kappa* 系数是 0.40;2010 年的总体精度是 55.71%,*Kappa* 系数是 0.45;2013 年的总体精度是 50.50%,*Kappa* 系数是 0.37;2015 年的总体精度是 53.09%,*Kappa* 系数是 0.41。这 4 a 的平均总体精度是 52.99%,平均 *Kappa* 系数是 0.41。针对不同分类类别的用户精度分析显示,该方法对不同分类目标的分析精度与随机森林分类法基本一致,对水域的区分精度较高,平均精度为 84.96%;而对杨树的区分精度相对较低,平均精度为 32.14%。

3.3 光谱角填图法提取杨树信息

该方法是通过计算遥感影像上每个像元的光谱与参考光谱的角度  $\theta_i$ ,来实现影像信息提取的方法。如果要评估 2 者光谱之间的相似性,要计算测试光谱和参考光谱之间的夹角, $\theta$  值域为  $0-\pi/2$ , $\theta=0$  时即 2 个光谱重合,表示 2 者相同,而  $\theta=\pi/2$  时则 2 个光谱夹角最大,表示完全不同。本文在 ENVI 5.0 中利用光谱角填图控件对 2005,2010,2013,2015 年的影像进行光谱角填图分类,得到的分类结果如表 3。



表 3 分类混淆矩阵表及总体精度

年份	类别	分类						总计	用户精度/%	总体精度/%	Kappa 系数
		杨树	其他林地	耕地	水域	建设用地	裸地				
2005	杨树	158	140	49	0	0	28	375	42.13	60.83	0.51
	其他林地	29	180	50	4	19	29	311	57.88		
	耕地	20	19	290	0	33	31	393	73.79		
	水域	0	2	2	99	0	0	103	96.12		
	建设用地	0	0	19	0	67	19	105	63.81		
	裸地	7	5	21	0	29	68	130	22.31		
2010	杨树	180	205	109	0	5	16	515	34.95	59.71	0.50
	其他林地	38	334	59	5	35	34	505	66.14		
	耕地	29	20	301	0	21	22	393	76.59		
	水域	0	5	16	121	0	0	142	85.21		
	建设用地	0	0	27	0	113	50	190	59.47		
	裸地	6	22	24	1	27	101	181	14.92		
2013	杨树	148	132	54	0	0	23	357	41.46	62.54	0.53
	其他林地	24	169	54	6	25	22	300	56.33		
	耕地	21	24	299	0	25	24	393	76.08		
	水域	0	5	3	95	0	0	103	92.23		
	建设用地	0	0	15	0	69	21	105	65.71		
	裸地	10	6	15	0	11	88	130	8.46		
2015	杨树	147	106	12	0	0	17	282	52.13	62.91	0.54
	其他林地	20	154	22	0	5	21	222	69.37		
	耕地	26	41	207	0	15	23	312	66.35		
	水域	0	6	2	75	0	0	83	90.36		
	建设用地	0	0	5	0	72	21	98	73.47		
	裸地	19	15	19	0	13	37	103	12.62		

对 4 个年度的影像数据进行光谱角填图分类,从混淆矩阵表中可以看出,2005 年的总体精度是 60.83%,*Kappa* 系数是 0.51;2010 年的总体精度是 59.71%,*Kappa* 系数是 0.50;2013 年的总体精度是 62.54%,*Kappa* 系数是 0.53;2015 年的总体精度是 62.91%,*Kappa* 系数是 0.54。平均总体精度为 61.50%,*Kappa* 系数为 0.52,较随机森林和最大似然法获得的分析精度都要高。针对不同分类类别的用户精度也较高,如水域区分精度高达 90.98%,对杨树的区分精度也达到 42.67%,对其他目标的区分精度也有显著提高。

3.4 确定最优分类方法

上述 3 个方法是遥感影像信息提取较为常用的分类方法,分类提取结果比较显示(见表 4),对不同分类目标区分的总体精度大小顺序为随机森林法<最大似然法<光谱角填图法,光谱角填图的分类精度最好,随机森林法和最大似然法的分类精度和 *Kappa* 系数相差不大,光谱角填图法的平均总体精度达到 61.50%,较随机森林和最大似然法获得的分析精度都要高,且差异显著 ( $F = 34.428, P = 0.000\ 1$ )。

就杨树影像信息的分类提取精度而言,光谱角填图法较随机森林法和最大似然法的分类效果也最好 ( $F = 4.549, P = 0.043\ 1$ ),平均精度达到 42.67%。

综合考虑,基于 Landsat 遥感影像的杨树信息提取方法以光谱角填图法较为适宜。

表 4 各类方法总体精度比较

项目	分类方法	2005 年	2010 年	2013 年	2015 年	总体精度/%	显著水平
总体精度	随机森林法	52.29	52.91	51.15	54.45	52.70±1.37	b
	最大似然法	52.65	55.71	50.5	53.09	52.99±2.14	b
	光谱角填图	60.83	59.71	62.54	62.91	61.50±1.49	a
杨树分类精度	随机森林法	26.67	27.18	22.13	37.23	28.30±6.37	b
	最大似然法	33.07	30.49	23.53	41.49	32.15±7.42	b
	光谱角填图	42.13	34.95	41.46	52.13	42.67±7.09	a

显著水平栏中,不同小写字母表示精度间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )

4 结论

首先对研究区的 4 个时相共 40 幅影像进行了辐射定标和大气校正,消除了大气的影像。进而进

行影像的拼接和镶嵌,获得 4 a 的整幅影像。对每年的影像进行了 NDVI,SR,SAVI,EVI,ARVI 5 种植被指数的提取,并对影像进行了第一主成分分析和纹理特征分析提取,最后将植被指数和主成分、纹理叠加在一起作为最后分类的基础图像。然后通过随机森林法、最大似然法和光谱角填图法等杨树信息提取方法进行了分类精度比较。

结果显示:基于随机森林法的总体精度为 52.70%,*Kappa* 系数为 0.41;最大似然法的总体精度为 52.99%,*Kappa* 系数为 0.41;光谱角填图法的总体精度为 61.50%,*Kappa* 系数为 0.52。其中,光谱角填图分类的总体精度最高,因此确定光谱角填图法作为最优分类方案对全省进行杨树信息的分类提取。综合考虑上述分类方法,数据精度并不是很高,分析其原因,也是由于 Landsat 5 和 Landsat 8 影像的分辨率仅有 30 m,分辨率略低,而且包含的波段也不多,使地物的一些特征非常相似,以致出现错分、漏分等。今后可以使用分辨率更高、质量更好的遥感图像,使得更容易识别具体树种,同时还要结合更多卫星数据进行多源数据的树种信息提取研究,信息提取的结果将会更加准确。

在使用光谱角填图进行杨树信息的提取过程中,仍存在一定问题,如何确定分类阈值的大小,如何更高效地选取训练区样本,如何建立更为真实的地物光谱函数等,这些都需要在后期研究中积极探索,以便使得分类结果更准确。

#### 参考文献:

- [1] 董 斌,过家春,田劲松.基于广义 3S 技术的城市森林资源监测与评价研究[J].安徽农业大学学报,2008,35(1):128-131.
- [2] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003:166-211.
- [3] 田琼花.遥感影像纹理特征提取及其在影像分类中的应用[D].武汉:华中科技大学,2007:19-20.
- [4] FRASER R H, OLTHOF I, POULIOT D, et al. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks[J].Remote Sensing of Environment,2009,113(7):1397-1409.
- [5] MASELLI F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data[J]. Remote Sensing of Environment,2004,89(4):423-433.
- [6] 全志杰,褚泓阳,毛晓利,等.Markov 链在森林资源格局动态变迁研究中的应用[J].西北林学院学报,1996(4):60-64.
- [7] 臧淑英,高亦珂.基于 GIS 的优势树种与地形空间关系格局探讨[J].东北林业大学学报,2000,28(5):120-121.
- [8] 赵宇鸾,李秀彬,辛良杰,等. TM 图像杨树林识别的 MLC 与 LSU 算法应用分析——以河北省文安县为例[J].地球信息科学学报,2011,13(2):252-259.
- [9] 刘孝赵,熊显名,滕惠忠,等.基于 TM 遥感图像的预处理分析[J].科技创新导报,2008(9):26-27.
- [10] 雷 震.随机森林及其在遥感影像在遥感影像处理中应用研究[D].上海:上海交通大学,2012:23-24.
- [11] 王增林,朱大明.基于遥感影像的最大似然分类算法的探讨[J].河南科学,2010,28(11):1458-1461.
- [12] 李明泽,张培赢.基于 SAM 算法的遥感影像湿地植被分类[J].森林工程,2015(2):8-13.