

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.03.16

引用格式: 李国庆,黄菁华,刘冠,等. 基于 Landsat8 卫星影像土地利用景观破碎化研究——以陕西省延安麻塔流域为例[J]. 国土资源遥感,2020,32(3):121–128. (Li G Q,Huang J H,Liu G,et al. A study of the landscape fragmentations of land cover structure based on Landsat8 remote sensing image: A case study of Mata watershed in Yan'an,Shaanxi Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(3):121–128.)

基于 Landsat8 卫星影像土地利用景观破碎化研究

——以陕西省延安麻塔流域为例

李国庆^{1,2}, 黄菁华^{1,2}, 刘冠³, 李洁³, 翟博超³, 杜盛^{1,2}

(1. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所,杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学林学院,杨凌 712100)

摘要: 景观破碎化的过程将伴随着景观的功能衰退,因此对景观破碎化的研究对于及时监控生态安全与土地优化调整具有重要意义。以陕西省延安麻塔流域为研究对象,通过对 Landsat8 卫星影像的解译,获取土地利用图;利用 6 个景观指数评估麻塔流域在斑块、景观要素、景观 3 个层次的景观破碎化程度。研究结果表明: Landsat8 卫星能够准确地刻画该区的土地利用现状,监督分类精确度为 74%, Kappa 值为 0.68; 麻塔流域土地利用可以分成 6 个类型: 森林、灌木、草地、果园、农田和其他(道路和房屋),其中果园在所有土地利用类型中占据的面积最大; 森林、果园和其他 3 类土地利用类型的景观破碎化程度低,它们在生态防护和农业生产服务方面发挥重要的景观功能; 灌木、草地和农田的景观破碎化严重,它们在生态防护和农业生产方面的景观功能已经被削弱; 将灌木、草地和农田的小斑块改造成相邻大斑块的土地类型将提高麻塔流域景观整体化水平,有利于麻塔流域整体景观功能的提升。

关键词: 景观破碎化; 土地利用; 遥感影像; 随机森林; 麻塔流域

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)03-0121-08

0 引言

土地利用景观格局与破碎化是自然、经济和社会等因素相互作用的结果^[1-3]。通过对景观破碎化特征的研究,有助于帮助我们深入认识景观格局与生态过程的相互关系,进而推测内在景观破碎化的驱动力^[4-6]。准确获取景观土地利用图已成为景观格局和破碎化研究的关键。近年来遥感和 GIS 技术的快速发展为土地利用制图和景观破碎化研究提供了强有力的数据和技术支撑^[7-8]。遥感影像具有覆盖面广、时效性强和成本低的优势,已成为获取土地利用图数据的主要手段。2013 年 2 月 11 日美国国家航空航天局成功发射了 Landsat8 卫星,延续了 Landsat 系列卫星对地观测任务,因此成为获取当前遥感数据的重要来源^[9]。利用遥感影像进行土地利用解译一般的方法包括目视解译、监督分类和非监督分类^[10]。目前认为监督分类比目视解译和非

监督分类更客观、更精确^[11]。监督分类算法包括随机森林算法、最大似然法等,已经被广泛地应用在遥感影像解译^[12]陕西省其他领域的研究中^[13]。

陕西省延安周边地区从 20 世纪 70 年代年以来实施的水土保持工程以及 1999 年以来的退耕还林工程使得该区土地利用变化迅速^[14]。快速准确地获取该区土地利用变化信息以及评估当前土地利用景观破碎化对于及时监控生态安全与土地优化调整具有重要的科学意义^[15]。本文以延安麻塔流域为例,基于 Landsat8 影像数据,利用监督分类(随机森林算法和最大似然法)对该区近期的土地利用情况进行分类,然后分别从 3 个景观层次(斑块、景观要素及景观)对该地区土地景观的破碎化程度进行分析,以期阐明麻塔流域景观在斑块数量、斑块密度、最大斑块指数及香农多样性等方面的破碎化特征,为该地区土地利用结构调整和生态系统服务功能评估提供数据支持。

收稿日期: 2019-08-26; 修订日期: 2019-11-29

基金项目: 国家重点研发计划项目“黄土高原人工生态系统结构改善和功能提升技术”(编号: 2017YFC0504601)和国家自然科学基金项目“潜在植被约束条件下气候变化诱导树种聚合模式演变及其对森林经营启示——以黄土高原为例”(编号: 31971488)共同资助。

第一作者: 李国庆(1983-),男,副研究员,主要从事植被恢复与 GIS 模拟的研究。Email: liguqing@nwsuaf.edu.cn。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

麻塔流域位于陕西省北部延安宝塔区的南部 (N109.526 8°, E36.469 5°, 如图 1 所示), 流域面积 2.44 km², 海拔 1 185 ~ 1 379 m, 为典型的黄土丘陵区。气候属于干旱、半干旱气候, 夏季炎热, 冬季寒冷干燥。通过 1960—2000 年间的全球气候数据插值结果显示, 该地区年均温 8.8 °C, 多年平均降雨量 523 mm, 6—9 月份降雨量占据全年降雨量的 70% 以上。流域内土壤类型为黄绵土。麻塔流域 2012 年共有居民 337 人, 苹果产业是该地区农民的主要经济来源。

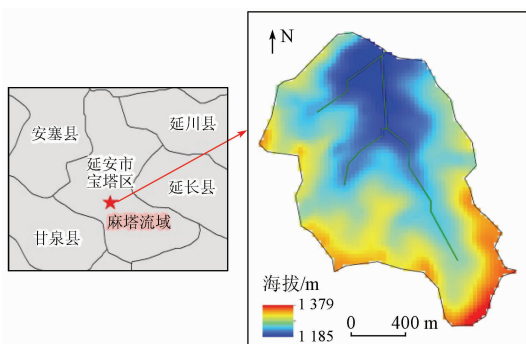


图 1 延安麻塔流域所在的位置

Fig. 1 Location of mata watershed in Yan'an City

1.2 数据源

本研究所用遥感影像来自 Landsat8 卫星, 通过地理空间数据云获得 (<http://www.gscloud.cn>), 成像时间为 2016 年 9 月 21 日 (列号 127、行号 35、云量 7.65%)。Landsat8 卫星共有 11 个波段, 波段 1—7, 9—11 空间分辨率为 30 m, 波段 8 为 15 m。考虑到各个波段的功能差异性, 本文主要选择 2—7 波段进行土地利用分类。这 6 个波段被广泛用于遥感假彩色图像的合成^[16-17], 并且在空间分辨率和光谱特性等方面与 Landsat1—7 保持了基本一致。

根据该地区相关的研究^[15,18]和麻塔流域的具体特点, 本研究将该流域土地利用类型划分为 6 类: 林地、灌木、草地、果园、农田和其他 (道路和房屋)。2017 年 10 月和 2018 年 10 月在流域内分别进行了土地利用类型的样点观测, 共获取 195 个地面观测点, 包括林地 35 个、灌木 21 个、草地 31 个、果园 51 个、农田 26 个和其他 31 个。

2 研究方法

2.1 土地利用分类

本文使用监督分类对该区进行了土地利用分

类, 使用算法包括随机森林算法和最大似然法 2 种。随机森林模型是一种基于分类回归树的算法, 通过对大量分类树的汇总提高了模型的预测精度^[13,19]; 最大似然分类又称贝叶斯分类法, 其核心是确定判别函数和相应的判别准则^[20]。遥感影像的土地利用分类步骤如下:

1) 地表反射率图层获取。用麻塔流域边界去裁切获取的 Landsat8 影像数据, 获得影像 2—7 波段的灰度值图层。由于地表反射率比灰度值具有更强的时空数据转移能力, 因此本研究使用 satellite 包^[21]中的 calcAtmosCorr 和 calcTopoCorr 函数对 6 个波段的灰度值进行了辐射定标、地形校正和辐射校正, 获取 6 个波段的地表反射率图层。辐射校正使用暗目标消减法 (DOS2) 实现, 地球大气层外的太阳辐射通过 satellite 包中的 calcTOAIrradTable 函数实现。地形校正中使用的坡度和坡向数据利用 satellite 包中的 demTools 函数从数字高程模型 (digital elevation model, DEM) 数据获取, DEM 数据来自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>)。

2) 监督分类及其评估。为了客观地评估监督分类的预测效果, 将 195 个地面观测点按照 3:7 比例随机分割成两部分, 其中 70% 的观测点数据用于构建随机森林分类模型和最大似然分类模型; 然后使用剩下的 30% 的观测点数据进行模型的评估。随机森林模型和最大似然模型通过 RStoolbox 包中的 superClass 函数实现^[21]。该函数对这两个监督模型评估的指标为: 预测正确率、Kappa 指标、敏感度指数和特异度指数。

预测正确率 = $\text{sum}(\text{对角线数}) / \text{总数} \times 100\%$, (1)

$Kappa = [\text{总数} \times \text{sum}(\text{对角线数}) - \text{sum}(\text{行总数} \times \text{列总数})] / [\text{总数}^2 - \text{sum}(\text{行总数} \times \text{列总数})]$ 。 (2)

以上指标是通过 m 维混合矩阵实现的, 它们从整体上反映模型的表现;

敏感度 = $\text{真阳性} / (\text{真阳性} + \text{假阴性})$, (3)

特异度 = $\text{真阴性} / (\text{假阳性} + \text{真阴性})$ 。 (4)

这 2 个指标是通过 2 维混合矩阵实现的, 它们从不同土地分类方面反映模型的表现。

3) 最优结果的筛选。为了减少单次随机分割对模型评估不确定性, 通常采用 k-fold 交叉验证的方法^[22] (样本量较大) 或者 jackknife-1 的方法 (样本量较少); 也有采用大量重复随机分割的方法^[23], 然后从中寻找最优分割 (Top1) 结果, 或将前 10 优分割 (Top10) 的平均结果作为最终模型表现。本研究采用 Top1 最优分割方法, 即重复该步骤 100 次,

共获得 200 次分类结果(其中 100 次随机森林分类结果,100 次最大似然分类结果)。在这 200 次的分类结果中寻找预测正确率最高且 *Kappa* 值最大的那一次作为最优土地利用分类结果。根据 *Kappa* 值的大小判断模型的表现,分级指标设定为:*Kappa* 值 [0,0.2) 较差、[0.2,0.4) 一般、[0.4,0.6) 较准确、[0.6,0.8) 很准确、[0.8,1.0] 极准确。

4)土地利用图制图。为了掩盖随机因素对土地利用景观格局的影响,使用 *raster* 包^[24] 中的 *focal* 函数进行局部平滑算法(3×3)对土地利用分类图进行处理,并将平滑后的结果作为最终的土地利用图,用于麻塔流域土地景观破碎化指数的计算。所有的计算和作图都在 *R* 语言上完成(<http://www.r-project.org>)。

2.2 景观指数计算

本研究在 3 个景观层次(斑块、景观要素和景观)上计算麻塔流域的景观破碎化程度。斑块是外观上不同于周围栅格相对均质的非线性地表区域,是构成景观最基本的单元,也是最有用的单元;景观要素是组成景观的个体成分,是相似斑块的集合(指 6 种土地利用类型);景观是 6 种景观要素构成的集合(指麻塔流域)。使用的指标包括斑块数量、斑块面积、斑块密度、最大斑块指数、平均斑块大小与香农多样性^[25]。选择这些指标的原因是计算简单,并且能够描述景观破碎化的一般特征。大量的研究也证实了这些指标的可靠性^[1,5,26],其具体的含义见表 1。景观破碎化指数的计算使用 *R* 软件 *SD-MTools* 包实现^[27]。

表 1 景观破碎化指数及其含义

Tab.1 Indices of landscape fragmentation and their descriptions

层次	指标	描述	单位
斑块层次	斑块面积	斑块面积	hm ²
	斑块数量	景观要素斑块的个数	个
	斑块密度	景观要素斑块数量除以景观要素斑块面积	个/hm ²
	平均斑块面积	景观要素总面积除以景观要素斑块数量	hm ²
景观要素层次	香农多样性	反映景观要素内所有斑块的多样性	—
	斑块数量	景观斑块的个数	个
	斑块密度	景观斑块数量除以景观斑块面积	个/hm ²
	最大斑块指数	景观最大斑块面积除以景观总面积	%
景观层次	香农多样性	反映景观内所有斑块的多样性	—

3 计算结果

3.1 土地利用遥感解译结果

两种算法对土地利用的遥感解译表明,随机森林模型的预测整体准确性较高(准确度为 74%,*Kappa* 值为 0.68),最大似然法进行土地利用分类整体效果较差(准确度为 64%,*Kappa* 值为 0.55)。2 种算法对 6 种土地利用类型的敏感度和特异度的分析表明(图 2),随机森林模型和最大似然模型具有相似的格局:①二者都具有较高的特异度,6 种土地利用的特异度值均大于 0.83,表明两种算法对背景的侦测能力均较强,模型分类都具有较低的 I 型错误(即错误被预测为正确);②两者在敏感度上具有较大的变异性,6 种土地利用的敏感度值范围为 0.1~1.0,表明 2 种算法都在某些地类上的侦测能力较弱,模型分类有时会产生较大的 II 型错误(即正确被预测为错误)。如果以敏感度阈值 0.8 为界限,其中随机森林模型对森林、灌木、果园和其他土地类型具有较高的预测效果,而最大似然模型只对灌木和其他土地类型具有较好的预测效果;两种算法对农田的预测效果均较差,两者的敏感度值均小于 0.2(图 2)。

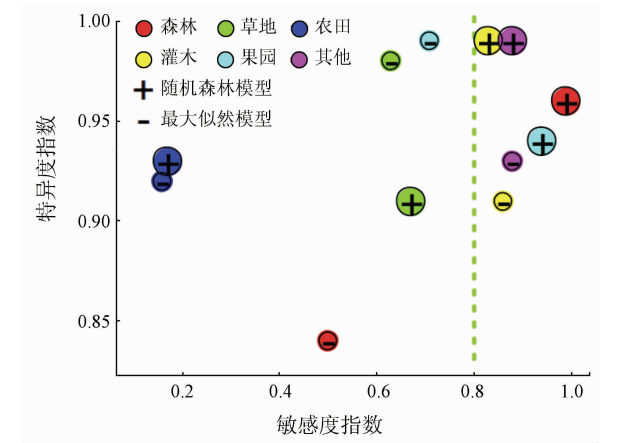


图 2 随机森林和最大似然模型的 6 种土地利用的敏感度和特异度指数

Fig.2 Sensitivity and specificity indices of 6 land uses in random forest and maximum likelihood models

综合模型的整体预测表现和各地类预测表现,认为随机森林模型比最大似然模型更能有效地进行土地利用类型的遥感解译。因此,本研究将随机森林算法预测的结果作为最优地类分类结果,其局部平滑后的分类图见图 3。总体上来说,果园属于麻塔流域的优势土地利用类型,其次为森林、草地和灌木;森林主要分布于麻塔流域的上游(南部)地区。

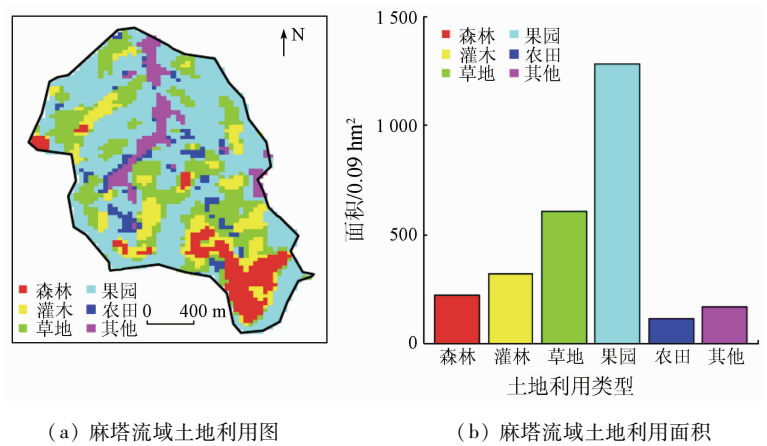


图 3 麻塔流域土地利用图及其对应面积分布

Fig.3 Land covers map and their corresponding area size in mata watershed

3.2 土地景观格局与破碎化

本研究景观格局与破碎化在 3 个空间尺度上进行分析,包括斑块层次、景观要素层次和景观层次。

3.2.1 斑块层次

斑块是由景观中的栅格组成,是景观中最有用的单元。研究结果显示在所有的土地类型产生的斑块中,果园具有最大斑块,面积 121.5 hm²。景观中斑块面积的频率分布图见图 4。小于 0.81 hm² 斑块占据总斑块数量的 67.7% (面积仅仅占据 9%)。大于 9 hm² 的斑块占有总斑块数量的比例很少,仅有 3 个斑块,分别为森林、草地、果园土地利用类型,相当于总斑块数量的 2.36%,但这 3 个斑块的面积却占据总流域面积的 58.86%,表明这 3 个斑块的土地类型在该流域发挥着重要的景观功能。

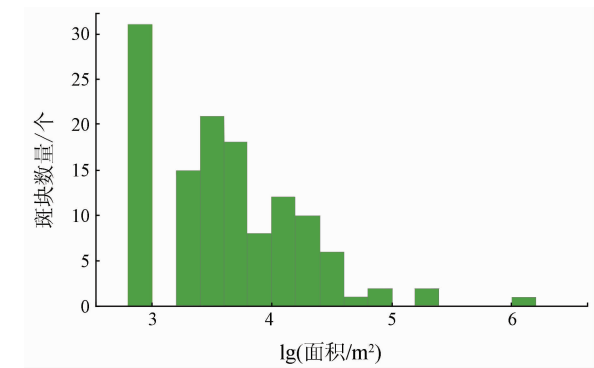


图 4 麻塔流域景观斑块面积对数值分布频率

Fig.4 Frequency map for logarithmic area of landscape patches in mata watershed

3.2.2 景观要素层次

景观要素是组成景观的个体成分,是相似斑块的集合。麻塔流域的景观由 6 个景观要素组成,森林、灌木、草地、果园、农田和其他类。每个景观要素的景观指数见表 2。森林景观斑块数量少、密度低、香农多样性低、意味着森林破碎化程度不高;灌木

斑块数量多、平均斑块小、香农多样性高,表明灌木破碎化严重;草地斑块数量多、斑块密度小、香农多样性高,表明草地破碎化严重;果园平均斑块大、斑块密度低、香农多样性低,表明果园破碎化程度不高;农田斑块小、斑块密度高、香农多样性高,表明农田破碎化度高;其他用地斑块数量少、斑块密度不高、平均斑块较小,香农多样性不高,表明其他用地破碎化程度不高。

表 2 麻塔流域景观要素破碎化指数

Tab.2 Fragmentation indices of landscape classes in mata watershed

土地类型	斑块数量/ 个	斑块密度/ (个·hm ⁻²)	平均斑块 面积/hm ²	香农多样性
森林	9	0.40	2.50	0.89
灌木	35	1.20	0.84	3.08
草地	39	0.75	1.32	2.27
果园	11	0.09	11.04	0.63
农田	22	2.61	0.38	2.69
其他	11	1.01	1.00	2.05

3.2.3 景观层次

麻塔流域的景观是 6 种景观要素构成的集合。景观整体破碎化指标详细情况见表 3。麻塔流域总共有 127 个斑块,斑块面积总体变化较大(平均斑块大小为 1.92 hm²),斑块密度大小为 0.52 个/hm²;景观最大斑块指数为 42.57%,说明最大斑块主导景观的格局。景观香农多样性值为 2.83,相当于香

表 3 麻塔流域景观整体破碎化指数

Tab.3 Fragmentation indices of landscape in mata watershed

指标	数值	单位
斑块数量	127	个
斑块密度	0.52	个/hm ²
最大斑块指数	42.57	%
香农多样性	2.83	—

农多样性理论最大值的 58% (理论状态为斑块数保持不变,但斑块面积相等的景观格局的状态),表明麻塔流域的整体多样性并不高。

4 讨论

准确的土地利用图是进行景观格局分析的关键。过去的很多研究是通过搜集已经存在的图件进行的研究^[1,5,26]。这些图件在时间上不是最新的,在准确性上也是很难评估的。利用遥感影像解译土地利用图就能克服上述问题。本研究利用 Landsat8 卫星影像解译 2016 年的土地利用图,随机森林算法进行监督分类的准确性(准确度是 74%,Kappa 指标为 0.68)高于最大似然法进行的监督分类准确性(准确度是 64%,Kappa 指标为 0.55);同时,随机森林算法对各类土地利用类型的敏感度值均高于或等于最大似然法的预测表现(图 2)。两者都表明随机森林模型比最大似然法更适合用于麻塔流域的土地利用的遥感解译。随机森林模型的表现优于最大似然法的主要原因,可能是该算法采用了组合预测策略,通过大量分类数的汇总提高了模型的预测精度;而最大似然算法仅采用单一预测策略,依赖判别函数和规则的建立。许多研究的结果体现了组合预测策略的优越性,即组合预测能够克服单一预测策略的某些缺点^[28]。与很多专门致力于遥感影像解译的研究相比,如加入纹理特征或利用其他的算法来进行土地利用解译^[11,15,20],这些研究的土地利用图解译的准确度比本研究仅仅高出约 10 百分点。因此,本研究的解译结果能够满足景观破碎化分析的需求。

虽然随机森林模型比最大似然模型具有较高的整体预测准确性,但是随机森林模型依然在某些地类的解译中效果较差,例如农田(敏感度值为 0.17)。通过对随机森林模型预测 6 个地类的敏感度值与景观要素破碎指数进行简单的曲线拟合(图 5),发现斑块数量与敏感度指数之间存在较强的非线性、非单调函数关系(图 5(a));斑块密度、香农多样性与敏感度值之间存在较强的线性、单调递减的函数关系(图 5(b),(d));平均斑块面积与敏感度指数之间存在非线性、单调递减函数关系(图 5(c))。这些关系在最大似然模型中依然存在(最大似然法和随机森林法具有相似的敏感度指数格局,见图 2),表明景观破碎化程度的加剧可能是导致监督分类对农田预测敏感度降低

的主要原因,也是降低模型整体表现的主要原因。通过改进算法来提高监督分类对农田预测的敏感度可能作用不大(即减少模型的 II 型错误),而使用分辨率更高的遥感影像(如 1 m 分辨率),可能更有利于提高监督分类对农田的敏感度,因为更高分辨率的遥感影像更能够反映出农田小斑块内部的核心光谱特征。

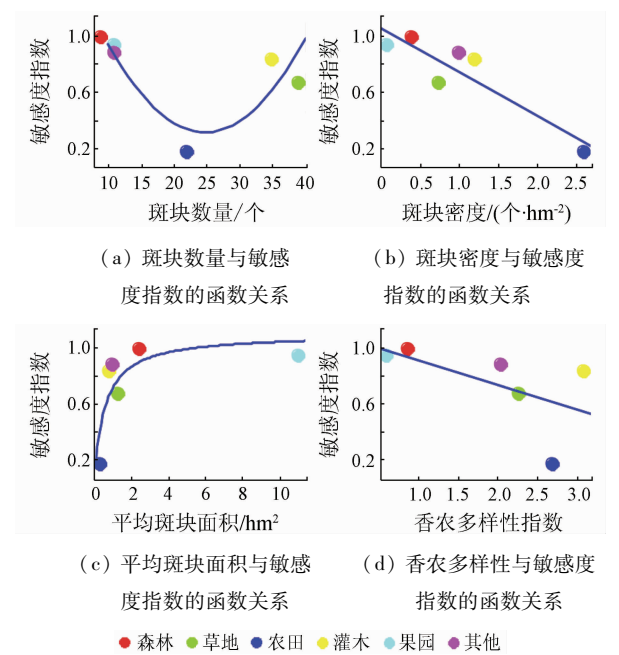


图 5 敏感度指数与景观要素破碎指数的函数关系
Fig. 5 Functional relationship between sensitivity index and landscape fragmentation index

本研究将麻塔流域 6 类土地利用类型划分成 3 个类别^[15]:生态防护型(林地、灌木和草地)、农业生产型(果园和农田)和生活服务型(其他)。生态防护型用地占据总流域面积的 42.3%,农业生产型用地占据总流域面积的 53.2%,生活服务型占据总流域面积的 4.5%。在所有的 6 种土地利用类型中,果园类型的土地占据最大面积 121.5 hm²,相当于流域总面积的 49.8%,表明果园景观在整个流域生态系统中的优势地位。

景观破碎化的过程伴随着斑块的穿孔、分割、缩小、磨蚀等过程,进而导致景观要素连接性的降低,使破碎斑块对外部干扰表现得更加脆弱^[4]。景观破碎化给景观生态过程带来不同方面的影响,例如生物多样性降低、可入侵性增强、物种迁移能力减弱等^[3,29]。本研究的景观破碎化分析表明麻塔流域的森林、果园和其他 3 类土地利用类型的景观破碎化程度不高,它们拥有较大的斑块,意味着它们具有较好的连通性,因此,麻塔流域的

森林能够较好地保存生物多样性,果园能够抵抗杂草的入侵以及有利于昆虫的传粉^[30],其他地类(道路和房屋)能够有利于当地居民的日常出行与农业生产运输,这也突出显示了这 3 个土地利用类型在景观功能上发挥着生态防护、农业生产和生活服务的能力。灌木、草地和农田的破碎化严重,这 3 种土地利用类型拥有较大的斑块数量和香农多样性,其中灌木和草地属于生态防护型土地利用类型,且占有景观面积较大,说明生态防护功能会受到一定的削弱作用,主要表现在物种多样性保存能力可能减弱、外来植物种入侵可能性加剧、小斑块中的物种或将成为 meta 种群,更容易受到较强 Allee 效应和边缘效应的影响而具有较高的灭绝风险^[31];农田属于农业生产型土地利用类型,农田破碎化的加剧可能会带来农民经营管理成本增加、杂草入侵加剧、鼠虫害频繁和昆虫传粉受限等危害,但其占有面积相对于果园面积可以忽略不计,因此,农田破碎化对麻塔流域整体的农业生产功能影响不大。

王宪礼等^[5]在研究辽河三角洲湿地的景观格局中认为,土地类型表现出景观要素多样性下降,并且伴随着景观要素破碎化严重。本研究的结果与其存在显著不同。本研究发现景观要素多样性的顺序为:灌木>农田>草地>其他>森林>果园,即随着麻塔流域景观要素多样性的下降,景观要素破碎化程度减少。这种差异的原因可能是辽河三角洲湿地的景观功能主要体现在生态防护方面,而麻塔流域的景观功能体现在生态防护、农业生产和生活服务 3 个方面,表明人类活动在景观格局形成中的作用存在差异性。麻塔流域人类的干扰将有利于该地区景观向整体化方向发展,即从自然景观向农业景观方向的发展。另外,麻塔流域中小于 0.81 hm²斑块占据景观总斑块数量的 67.7%,而面积仅仅占据流域总面积的 9%。因此,将这些小斑块改造成相邻景观的土地利用类型,能够减少麻塔流域景观破碎化程度,从而提高麻塔流域景观整体化水平,有利于麻塔流域景观的可持续发展。

5 结 论

Landsat8 卫星延续了 Landsat7 卫星对地持续观测的能力。本研究通过对麻塔流域 Landsat8 卫星遥

感影像的解译,获取了麻塔流域土地利用图,进而利用各种景观指数评估了该地区土地景观破碎化程度。

1) 土地利用遥感解译结果认为随机森林算法比最大似然法更适用于麻塔流域的土地利用分类;解译结果认为果园在所有 6 种土地类型中占据最大的面积比例。

2) 景观破碎化分析认为森林、果园和其他 3 类土地利用类型的景观破碎化程度不高,表明它们在生态防护、农业生产、生活服务方面发挥重要的景观功能;灌木、草地和农田的景观破碎化严重,意味着它们在生态防护和农业生产方面的景观功能已经被削弱。

3) 将灌木、草地和农田的小斑块(小于 0.81 hm²)改造成相邻大斑块的土地利用类型将有利于提高麻塔流域景观的整体化水平,有利于麻塔流域景观的可持续发展。

参考文献 (References):

[1] 马克明,傅伯杰.北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J].植物生态学报,2000,24(3):320-326.
Ma K M, Fu B J. Landscape pattern and fragmentation in Dongling-shan Mountain region[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(3):320-326.

[2] 洪鸿加,彭晓春,陈志良,等.长沙市景观破碎化时空分异特征研究[J].国土资源遥感,2011,23(1):133-137. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 01. 27.
Hong H J, Peng X C, Chen Z L, et al. The investigation of spatio-temporal patterns of landscape fragmentation during rapid urbanization in Changsha City[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23(1):133-137. doi:10.6046/gtzyyg. 2011. 01. 27.

[3] Nagendra H, Munroe D K, Southworth J. From pattern to process: Landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2004, 101(2-3):111-115.

[4] 邬建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2000.
Wu J G. Landscape ecology: Pattern, process, scale and hierarchy [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.

[5] 王宪礼,肖笃宁,布仁仓,等.辽河三角洲湿地的景观格局分析[J].生态学报,1997,17(3):317-323.
Wang X L, Xiao D N, Bu R C, et al. Analysis on landscape patterns of Liaohe delta wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3):317-323.

[6] Ferreira I J M, Bragion G D, Ferreira J H D, et al. Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in southern Brazil [J]. Southern Forests, 2019, 81(2):175-184.

[7] Wang B, Li J, Jin X F, et al. Mapping tea plantations from multi -

seasonal landsat-8 OLI imageries using a random forest classifier [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2019, 47 (8): 1315-1329.

[8] 魏彦昌, 吴炳方, 张喜旺, 等. 基于高分辨率影像的景观格局定量分析[J]. 国土资源遥感, 2009, 21(2): 76-81, 86. doi: 10.6046/gtzyyg. 2009. 02. 16.

Wei Y C, Wu B F, Zhang X W, et al. A quantitative analysis of the landscape pattern based on high resolution satellite image[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2009, 21(2): 76-81, 86. doi: 10.6046/gtzyyg. 2009. 02. 16.

[9] 徐涵秋, 唐菲. 新一代 landsat 系列卫星: Landsat8 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.

Xu H Q, Tang F. Analysis of new characteristics of the first Landsat8 image and their ecoenvironmental significance[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3249-3257.

[10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

Zhao Y S. Principles and methods of remote sensing for applied analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.

[11] 王敏, 高新华, 陈思宇, 等. 基于 Landsat 8 遥感影像的土地利用分类研究——以四川省红原县安曲示范区为例[J]. 草业科学, 2015, 32(5): 694-701.

Wang M, Gao X H, Chen S Y, et al. The land use classification based on Landsat8 remote sensing image: A case study of Anqu demonstration community in Hongyuan County of Sichuan Province [J]. Pratacultural Science, 2015, 32(5): 694-701.

[12] 许伟, 奚砚涛. 基于 Landsat8 遥感影像的合肥市土地利用分类[J]. 湖北农业科学, 2015, 54: 3625-3629, 3637.

Xu W, Xi Y T. Research on land use classification in Hefei based on Landsat8 images [J]. Hubei Agricultural Science, 2015, 54 (15): 3625-3629, 3637.

[13] 李国庆, 张晓芹, 杜盛. 基于随机森林模型的黄土高原林草界线模拟研究[J]. 中国科技论文, 2017, 12(15): 1780-1784.

Li G Q, Zhang X Q, Du S. Simulating the boundary of forest and grass on the Loess Plateau based on random forest model[J]. China Sciencepaper, 2017, 12(15): 1780-1784.

[14] 杜盛, 刘国彬. 黄土高原植被恢复的生态功能[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

Du S, Liu G B. Ecological functions of vegetation restoration on the loess plateau[M]. Beijing: Science Press, 2015.

[15] 买凯乐, 张文辉. 黄土丘陵沟壑区遥感影像信息面向对象分类方法提取[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 153-158.

Mai K L, Zhang W H. Object oriented classification approach for remote sensing imagery information extraction in loess hilly gully region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 153-158.

[16] 谭莹, 徐军亮, 毛华英. 基于 landsat8 影像的植被信息提取最佳波段组合研究——以浙江省龙泉市为例[J]. 华东森林经理, 2019, 33: 71-76.

Tan Y, Xu J L, Mao H Y. Research of optimum bands combination for vegetation information extraction based on Landsat8 image: A case study of Longquan City, Zhejiang Province [J]. East China Forest Management, 2019, 33(2): 71-76.

[17] 张金龙, 常胜. Landsat8 影像在土地利用分类中的最大波段组合研究——以湖北恩施市为例[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2015, 33(4): 467-470.

Zhang J L, Chang S. Optimum bands combination of Landsat8 image in land use classification: A case study of Enshi City, Hubei Province [J]. Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition), 2015, 33(4): 467-470.

[18] 侯晓瑞, 薛志婧, 程曼, 等. 黄土丘陵区纸坊沟小流域土壤有机碳储量研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 21-25.

Hou X R, Xue Z J, Cheng M, et al. Soil organic carbon storage in Zhifanggou watershed of loess hilly region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(2): 21-25.

[19] Breiman L. Random forests [J]. Machine Learning, 2001, 45: 5-32.

[20] 魏娜思. 基于高分影像的林地图覆盖遥感动态监测[J]. 信息通信, 2019, 3: 19-22.

Wei N S. Dynamic sensing remote monitoring of forest cover based on high resolution images [J]. Information and Communications, 2019, 3: 19-22.

[21] Thomas N, Hanna M, Florian D, et al. Satellite: Manipulating satellite data with satellite [EB/OL]. 2016, URL, <https://cran.r-project.org/web/packages/satellite/index.html>.

[22] Li G Q, Du S, Wen Z M. Mapping the climatic suitable habitat of oriental arborvitae (Platycladus orientalis) for introduction and cultivation at a global scale [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 30009. doi: 10.1038/srep30009.

[23] Stockwell D, Peters D. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1999, 13(2): 143-158.

[24] Hijmans R J. Raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.5-8 [EB/OL]. 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.

[25] McGannon K R, Marks B J. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [R]. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

[26] 王斌, 刘华, 张硕新, 等. 秦岭火地唐林区景观格局破碎化分析[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 111-113, 143.

Wang B, Liu H, Zhang S X, et al. Study on landscape fragmentation of Qinling huoditang forest region [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 111-113, 143.

[27] Vanderwal J, Falconi L, Januchowski S, et al. SDMTTools: Species distribution modelling tools: tools for processing data associated with species distribution modelling exercises. R package version 1.1-221 [EB/OL]. 2014. <https://CRAN.R-project.org/package=SDMTTools>.

[28] Araujo M B, New M. Ensemble forecasting of species distributions [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2007, 22(1): 42-47.

[29] Desmet P G. Using landscape fragmentation thresholds to determine ecological process targets in systematic conservation plans [J]. Biological Conservation, 2018, 221: 257-260.

[30] Minor E S, Tessel S M, Engelhardt K A M, et al. The role of land-

scape connectivity in assembling exotic plant communities: A network analysis[J]. Ecology, 2009, 90(7): 1802–1809.

Allee effect[J]. Ecological Modelling, 2001, 143(1–2): 9–16.

[31] Brassil C E. Mean time to extinction of a metapopulation with an

A study of the landscape fragmentations of land cover structure based on Landsat8 remote sensing image: A case study of Mata watershed in Yan'an, Shaanxi Province

LI Guoqing^{1,2}, HUANG Jinghua^{1,2}, LIU Guan³, LI Jie³, ZHAI Bochao³, DU Sheng^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The process of landscape fragmentation is accompanied by the decline of landscape function. Therefore, the study of landscape fragmentation is of great significance for timely monitoring of ecological security and adjustment of land cover structure. This research was designed to map the current status of land cover structure of Mata watershed using supervised classification algorithms in south of Yan'an City based on Landsat 8 satellite data and to describe its landscape fragmentation using six fragmentation indices at three organization levels: patch, class, and landscape. The results are as follows: ① The status of land cover in this area can be characterized accurately based on Landsat8 satellite image and the accuracy of supervised classification is 74% together with the kappa value of 0.68; ② Mata watershed can be classified into 6 land cover classes, i. e. , forest land, shrub land, grass land, orchards land, farm land, and others land (road and village). The orchard land occupies the largest area in all land cover types; ③ The extent of landscape fragmentation for shrub, grass and farm lands is relatively more serious than that of forest, orchard and others lands, indicating that landscape functions of shrub, grass and farm lands have been weakened in capability of ecological protection and agricultural production; ④ Transforming small patches of shrub, grass and farm lands into adjacent land type with large patches should improve the integration level of landscape in the Mata watershed, which is conducive to the improvement of landscape function in Mata watershed.

Keywords: landscape fragmentation; land cover; remote sensing image; random forest; Mata watershed
(责任编辑: 李 瑜)