doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.025

翁牛特旗景观格局尺度效应分析

王朋冲 于 强 裴燕如 王 戈 岳德鹏 侯宏冰
(北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 以内蒙古自治区赤峰市翁牛特旗为研究区,采用2008、2013、2018年相同月份的遥感影像,结合翁牛特旗地区土地利用数据,将景观类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类,进行景观格局指数分析,选取6个景观类型水平指数和6个景观水平特征指数,分析不同粒度对景观格局各指数的影响。研究结果表明:在景观水平格局指数中,斑块密度从0.40个/hm^2下降到0.32个/hm^2,香农多样性从1.37增加到1.45,香农均匀性从0.76增加到0.81,说明尚未形成优势景观,景观破碎度加剧;在景观类型水平上,随着粒度的变化斑块面积百分比没有明显变化,其他景观类型均随粒度的变化而变化。其中,在2013年和2018年水域对斑块密度的粒度效应反映较为强烈,分别从0.005个/hm^2增加到0.046个/hm^2、从0.010个/hm^2增加到0.046个/hm^2;未利用地对有效网格面积的粒度效应反映较为强烈,从24 596 m^2增加到40 697 m^2;建设用地对聚集度、凝聚度的粒度反映较为强烈,分别从0.9减少至0.3、从94%减少至49%。

关键词: 翁牛特旗; 景观格局; 尺度效应; 粒度
中图分类号: F301.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2020)05-0223-09 **OSID:**

Scale Effect Analysis of Landscape Pattern in Wengniute Banner

WANG Pengchong YU Qiang PEI Yanru WANG Ge YUE Depeng HOU Hongbing
(*Beijing Key Laboratory of Precision Forestry*, *Beijing Forestry University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The spatial scale of landscape pattern has become the basis of landscape ecology research. By analyzing the characteristics and changing rules of the same landscape pattern in different scales and clarifying the scale effect of regional landscape pattern characteristics, it can be known more about the real situation of landscape pattern. Wengniute Banner of Chifeng City, Inner Mongolia was taken as the research area. The remote sensing images of the same month in 2008, 2013 and 2018 were used to combine the land use data of Wengniute Banner area. Landscape types were divided into six categories: cultivated land, woodland, grassland, water area, construction land and unused land. Landscape pattern index was analyzed. Six landscape indices at patch type level and six landscape indices at landscape level were selected to analyze the effects of different grain sizes on landscape pattern indices. The results showed that in landscape level pattern index, the number of patches was decreased from 5 391 to 4 231, the density of patches was decreased from 0.40 per hectare to 0.32 per hectare, the diversity of Shannon was increased from 1.37 to 1.45, and the evenness of Shannon was increased from 0.76 to 0.81, which indicated that the dominant landscape had not yet been formed, and the fragmentation of landscape was increased. At the level of patch type, the percentage of patch area had no obvious change with the change of grain size, and other landscape types were changed with the change of grain size. Among them, in 2013 and 2018, the granularity effect of water area on patch density was strong, which was from 0.005 per hectare to 0.046 per hectare and 0.010 per hectare to 0.046 per hectare, respectively. The granularity effect of unused land on effective network size was strong, which was from 24 596 m^2 to 40 697 m^2. The granularity effect of construction land on aggregation and cohesion was strong, which was from 0.9 to 0.3 and 94% to 49%, respectively.

Key words: Wengniute Banner; landscape pattern; scale effect; grain size

收稿日期: 2019-09-06 修回日期: 2019-10-27
基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0507303-2)
作者简介: 王朋冲(1992—),男,博士生,主要从事3S技术在生态环境中的应用研究,E-mail: 13897923135@163.com
通信作者: 岳德鹏(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事景观生态学和土地评价研究,E-mail: yuedepeng@126.com

0 引言

景观格局研究在土地利用上已经成为全球关注的热点之一[1]。景观格局不仅是景观组分空间分布特征的表现,也是景观异质性的外在体现,长期以来一直是景观生态学理论研究的重要部分,主要包括空间异质性、相关性和空间规律性等内容。格局和过程是生态学研究的重点,要正确理解景观格局和过程的关系,就需明确区域景观格局的尺度效应[2-5]。

作为景观的自然属性,尺度效应具有重要的作用[6]。尺度对景观具有较大的影响,不同尺度下观测的结果和获得的变化规律是完全不同的[7-8]。从单个尺度得出的结果来看,反映的只是该尺度下的格局与过程。多尺度上的空间分析方法是尺度效应的基础,能够使研究中存在多个时空尺度,在景观等级结构识别特征尺度的研究中具有重要的作用。尺度在景观生态学中包括 2 个重要含义:粒度和幅度。空间幅度会随着研究范围的确定而确定,现阶段对尺度效应的研究主要集中在因粒度变化而引起的粒度效应,因此粒度便成为尺度效应的研究重点和热点。粒度是景观单元进行运算的最小单元,粒度的不同会影响计算的精度和准确性[9-10]。选取适宜的粒度是景观粒度效应研究的重要基础,在进行尺度选择时,需要充分考虑粒度效应的影响,保证合理有效地提取和传递景观中所包含的有效数据和完整信息[11-13]。

本研究以内蒙古自治区赤峰市翁牛特旗为研究区域,该区域属于中温带半干旱大陆性季风气候,受海拔的影响显著,是生态环境较脆弱的地区。本文在 RS 与 GIS 的支持下,利用 2008、2013、2018 年相同月份的 3 期遥感影像和土地利用数据,选取景观格局指数,通过分析斑块类型水平的空间效应和景观水平的空间效应,研究该区域景观格局特征及空间尺度效应。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

翁牛特旗位于大兴安岭山脉西南端与燕山山脉余脉(通称七老图山)交汇地带东麓,科尔沁沙地西端。地处 117°43′~120°43′E,42°26′~43°25′N。北隔西拉沐伦与林西县、巴林右旗、阿鲁科尔沁旗及通辽市开鲁县相望,东以老哈河为界与敖汉旗、通辽市奈曼旗毗邻,南与赤峰市松山区接壤,西与克什克腾旗相连,东西长约 250 km,南北宽约84 km,总土地面积为 11 889 km^2。翁牛特旗属于典型的中温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温 5.8℃,年日照时数 2 850~3 000 h,年降水量370 mm,无霜期 90~140 d,年平均风速为 3~4.2 m/s,最大风速 32 m/s。主要河流有少郎河、苇塘河、五分地河、四道杖房河、羊肠子河,分属西拉沐沦河、老哈河两大水系。研究区位置如图 1 所示。

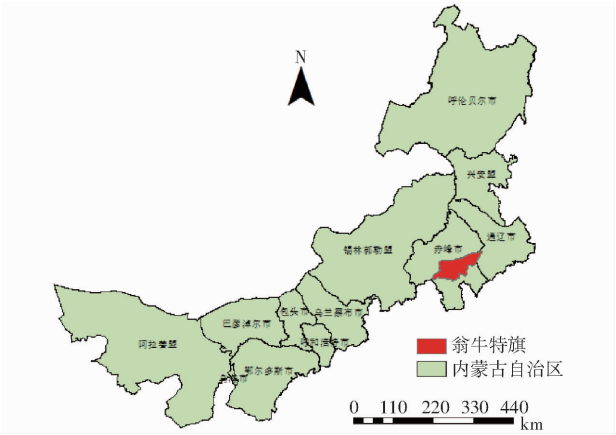

图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据来源与处理

本文主要数据源包括翁牛特旗 2008、2013、2018 年土地利用数据和地面数字高程(Digital elevation model, DEM)。其中 2008、2013 年土地利用数据遥感影像为 Landsat-5 TM 影像,由地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)提供。2018 年遥感影像来自美国地质勘探局官网(https://earthexplorer.usgs.gov/),为 Landsat-8 OLI 影像。上述遥感影像经过辐射定标、大气校正之后,进行 NDVI、MNDWI 提取,并利用监督分类,得到了研究区景观格局分布数据。本文采用的数字地面高程模型数据(DEM)为全球空间分辨率 30 m 数字高程数据,同样来自地理空间数据云。本文中采用的坡度、坡向数据均提取自该高程数据。

1.3 景观格局指数

景观格局分布特征的常用定量化研究方法是景观格局指数,许多学者利用该方法进行了相关研究[14]。根据所反映规律的尺度,景观格局指数分为景观、类型及斑块 3 种不同尺度类型的指数。目前大多从景观水平和景观类型水平选取指标反映景观格局的空间异变性[15-16]。

本研究结合翁牛特旗的具体情况,运用景观格局分析软件 Fragstats 4.2 计算景观格局指数,对翁牛特旗土地利用景观要素的空间格局特征进行分析。本文从景观水平和景观类型水平两方面选取了 10 个景观格局指数,在景观水平上选取斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、凝聚度(COHESION)、

香农多样性(SHDI)、香农均匀性(SHEI)和聚合度(AI)来表征在景观尺度景观格局特点；在景观类型水平上，选取了斑块密度(PD)、斑块面积百分比(PLAND)、周长面积分维数(PAFRAC)、聚集度(CLUMPY)、凝聚度(COHESION)、有效网格面积(MESH)6 个指数，以 GRID 格式土地利用图为数据源，导入 Fragstats 4.2 软件进行计算。具体指标的计算方法如下：

(1)斑块密度(PD)表现某种斑块在景观中的密度，可反映出景观整体的异质性与破碎度[17]，公式为

$$P_D = N_P / A \tag{1}$$

式中　N_P——斑块数量，个

A——景观或斑块的总面积，hm^2

P_D——斑块密度，个/hm^2

(2)最大斑块指数(LPI)用于确定景观中的优势斑块类型，间接反映人类活动干扰的方向和大小，公式为

$$L_{PI} = \frac{a_{\max}}{A} \times 100\% \quad (0 \leqslant L_{PI} \leqslant 100\%) \tag{2}$$

式中　$a_{\max}$——景观或某一种斑块类型中最大斑块的面积，hm^2

L_{PI}——最大斑块指数，%

(3)聚集度(CLUMPY)反映斑块在景观中的聚集和分散状态，数值在 -1 ~ 1 之间，当指数结果为 -1 时斑块为完全分散型状态，结果为 0 时呈随机分布，结果为 1 时为聚集状分布。

(4)凝聚度(COHESION)可衡量相应景观类型自然连接性的程度，可以反映斑块连通性，公式为

$$C_{ohEi} = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^{m} p_{ij}}{\sum_{j=1}^{m} p_{ij}\sqrt{a_{ij}}}\right)\frac{1}{1 - \frac{1}{\sqrt{A}}} \times 100\% \tag{3}$$

式中　a_{ij}——第 i 类景观中第 j 个斑块的面积，hm^2

p_{ij}——第 i 类景观中第 j 个斑块的周长，m

C_{ohEi}——凝聚度，%

m——景观中斑块类型的总数

(5)周长面积分维数(PAFRAC)指景观不规则几何形状的非整数维数，反映景观形状复杂程度，公式为

$$P_{AFRAC} = \frac{2\left(N\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln p_{ij}^2 - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln p_{ij}\right)}{N\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\ln p_{ij}\ln a_{ij}) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln p_{ij}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln a_{ij}} \tag{4}$$

式中　N——斑块数量

n——第 i 类景观斑块数量

(6)有效网格面积(MESH)是景观中斑块面积的平方和与景观总面积的比值，可用于比较景观中斑块的平均面积。景观总面积不变时，有效网格变大，反映该类型面积增加，表明其在景观中的比重加大[18]。

(7)香农多样性(SHDI)是各景观的面积百分比与其面积百分比的自然对数乘积的累加结果与 -1 的乘积，即

$$S_{HDI} = -\sum_{i=1}^{m} P_i \ln P_i \quad (S_{HDI} \geqslant 0) \tag{5}$$

式中　P_i——斑块类型 i 占整个景观的面积比

S_{HDI}——香农多样性

(8)香农均匀性(SHEI)反映在研究区内不同景观类型的分布状况，量化反映各景观类型在研究区内分布的均匀程度[19]，公式为

$$S_{HEI} = \frac{-\sum_{i=1}^{m} P_i \ln P_i}{\ln m} \tag{6}$$

(9)斑块面积百分比(PLAND)指景观中某一斑块类型占整个景观面积的相对比例，用来衡量景观的类型组成和相对大小[20]，公式为

$$P_{LAND} = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{A} \times 100\% \tag{7}$$

(10)聚合度(AI)反映景观中不同斑块类型的非随机性或其聚集程度。

1.4　尺度转换

本次研究以 2008、2013、2018 年土地利用数据为数据源。在 ArcGIS 9.4 软件的支持下，利用 ArcToolbox 中的重采样工具对原始栅格进行不同分辨率的重采样，将 3 期的土地利用数据转换为 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300 m 共 10 种粒度等级的栅格数据。在重采样过程中选用优势类型法进行赋值，即在生成的新像元中按照多数原则，采用像元数目较多的属性作为新产生像元的属性，若不同属性所占新像元的数目相同时则由程序随机决定新像元的类型。

1.5　景观类型水平的空间尺度效应

尺度效应对于景观格局研究具有重要的作用。只有了解景观格局指数的尺度效应，才能反映土地利用景观格局及其动态变化的信息，预测景观格局受自然或者人为因素的影响[21-22]。为研究景观指数随空间尺度变化的效应关系，借助软件

Fragstats 4.2,在景观类型水平上选取斑块密度(PD)、斑块面积百分比(PLAND)、周长面积分维数(PAFRAC)、聚集度(CLUMPY)、凝聚度(COHESION)、有效网格面积(MESH)6个指数进行分析。

1.6 景观水平的空间尺度效应

在景观水平上选取斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、凝聚度(COHESION)、香农多样性(SHDI)、香农均匀性(SHEI)和聚合度(AI)6个特征指数,反映景观水平指数随粒度变化的特征与规律。

2 结果与分析

2.1 景观格局指数变化分析

基于 Fragstats 4.2 专业软件,将 2008、2013、2018 年 3 期的景观类型分布图转换为 geo Raster 格式,在景观和类型尺度上进行景观格局指数的计算,结果如表 1、2 所示。

表 1 景观水平指数

Tab. 1 Landscape level index

年份	PD/(个·hm^{-2})	LPI/%	COHESION/%	SHDI	SHEI	AI/%
2008	0.40	15.01	99.79	1.37	0.76	96.53
2013	0.31	13.23	99.73	1.45	0.81	96.85
2018	0.32	13.22	99.74	1.45	0.81	96.85

在景观水平上,PD 呈现了先减少后增加的变化趋势。景观水平的 LPI 在 10 年间出现下降趋势,从 15.01% 减少至 13.22%,说明该区域受到人类干扰,优势景观略微减少;COHESION 指数在 10 年间变化幅度不大,趋于稳定,说明该区域景观的自然连接性较好;SHDI 呈现先增加后不变的趋势,表明各斑块大小趋于均衡,景观区域破碎;SHEI 与 AI 的演变趋势与 SHDI 的变化规律相似,均说明不同斑块之间的均衡度越来越高,而优势景观尚没有形成,景观破碎度正在加剧。

表 2 景观类型水平指数

Tab. 2 Landscape pattern type level index

年份	景观类型	PLAND/%	PD/(个·hm^{-2})	PAFRAC	CLUMPY	COHESION/%	MESH/m^2
2008	耕地	21.67	0.10	1.34	0.95	99.50	2 266.41
	林地	5.76	0.08	1.25	0.94	97.60	20.13
	草地	47.34	0.08	1.33	0.94	99.87	41 010.92
	水域	3.59	0.01	1.45	0.96	99.69	698.87
	建设用地	2.11	0.09	1.24	0.91	94.67	1.58
	未利用地	19.54	0.04	1.28	0.96	99.87	16 255.33
2013	耕地	23.46	0.05	1.41	0.96	99.66	3 029.14
	林地	9.87	0.06	1.39	0.95	98.92	219.20
	草地	40.53	0.06	1.39	0.95	99.72	7 951.26
	水域	3.08	0.01	1.61	0.95	99.75	800.66
	建设用地	2.04	0.11	1.27	0.91	94.33	1.35
	未利用地	21.01	0.03	1.36	0.97	99.90	24 274.12
2018	耕地	23.69	0.05	1.38	0.96	99.70	4 551.70
	林地	9.95	0.06	1.38	0.95	98.91	219.40
	草地	40.24	0.06	1.38	0.95	99.72	7 819.50
	水域	3.06	0.01	1.57	0.95	99.69	748.52
	建设用地	2.10	0.11	1.28	0.91	94.51	1.95
	未利用地	20.95	0.03	1.35	0.97	99.90	24 254.29

在类型水平上,耕地景观的 PD 呈先下降后不变的趋势,PLAND 呈上升趋势,MESH 出现上升趋势,说明10 年间耕地成为主要景观;林地景观变化趋势与耕地相似。草地景观的 PLAND 呈下降趋势,MESH 出现下降趋势且下降速率较大,说明近 10 年该区域生态建设得到完善:建设用地景观的 PD 呈先增加后不变的趋势,PLAND 呈先减小后上升的趋势,表明连通性不断下降,景观格局越来越破碎化;水域景观与未利用地景观的景观格局变化也表现为优势景观缺失,连接性不高的特点。

2.2 景观类型水平的空间尺度效应变化分析

2.2.1 不同土地类型的多尺度格局分析

采用上述数据与方法计算得出翁牛特旗斑块类型水平上的指数值,运用 Excel 进行数理统计及尺度检测图的绘制,对 3 个时期不同土地利用类型进行多尺度格局分析,以直观反映同一土地利用类型不同指数随粒度的变化规律。

(1)耕地

由图 2 可以看出,耕地的斑块密度随着景观格

局分辨率的不断降低呈现先下降后趋于平缓的趋势，其中 2008 年下降速率较大，2013 年和 2018 年下降速率较小，趋于稳定且没有明显的转折点。斑块面积百分比随着景观格局分辨率的降低没有明显的变化，曲线基本保持水平，对粒度敏感性较小。其中，2008 年指数值最小，2018 年指数值最大。耕地的周长面积分维数随着景观格局分辨率的降低呈现不断上升的趋势，粒度在 30 ~ 90 m 时上升速率较大，在 90 m 之后上升速率变小。斑块聚集度变化趋势随着景观格局分辨率的下降呈现不断下降的趋势，没有明显的转折点，下降速率基本保持稳定。斑块凝聚度随着景观格局分辨率的不断降低呈现部分不同程度的下降趋势，2008 年变化较大，其中在粒度为 270 m 处出现明显转折点，2008 年在 270 ~ 300 m 下降速率最大，2013 年和 2018 年曲线变化趋势相似，270 ~ 300 m 呈现上升趋势，但上升速率平缓。耕地的有效网格面积指数随着粒度的增大表现为先增加后下降的变化规律，在 240 m 处出现转折点，2008 年在 240 m 之后出现下降趋势，2013 年和 2018 年在 240 m 处出现先下降后升高的趋势，其中 2018 年指数值最大。

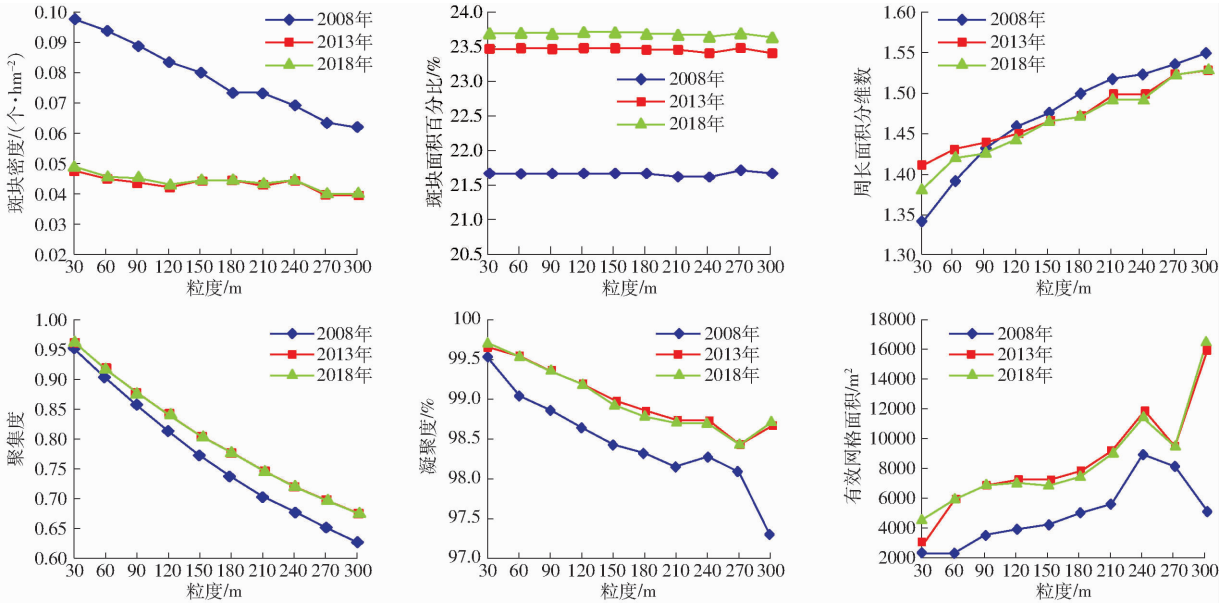

图 2　不同时期耕地类型指数随粒度的变化曲线

Fig. 2　Variation of cultivated land type index with grain size in different periods

（2）林地

由图 3 可以看出，随着景观格局粒度不断增大，林地的斑块密度出现下降趋势，2008 年下降速率较大，2018 年趋于平缓状态。林地的斑块面积百分比随着景观粒度增加没有明显变化，2018 年指数值最大，2008 年指数值最小。林地的周长面积分维数随着景观格局分辨率降低呈现上升趋势，其中，2008 年在 30 ~ 120 m 上升速率较大，120 m 之后上升速率较小。林地的聚集度和凝聚度都随景观格局粒度增加出现下降趋势，没有明显的转折点。林地的有效网格面积在 2013、2018 年随着粒度增加表现为先平缓后上升的变化规律，在 270 m 处出现明显的转折点，270 ~ 300 m 上升速率最大。

（3）草地

由图 4 可以看出，草地的斑块密度随着景观格局分辨率的不断降低呈现不同程度的变化，其中 2008 年在 180 m 处有明显的转折点，下降速率较大，2013 年和 2018 年呈现先上升后下降的变化趋势，趋于稳定并没有明显的转折点。斑块面积百分比随着景观格局粒度的增加没有明显的变化，曲线基本保持水平状态，对粒度敏感性较小。其中，2008 年指数值最大，2018 年指数值最小。草地的周长面积分维数随着景观格局粒度的增加呈现不断上升的趋势，2008 年在 30 ~ 90 m 上升速率较大，在 90 m 之后上升幅度较小，2018 年上升速率较大。斑块聚集度变化趋势随着景观格局粒度的增加呈现不断下降的趋势，没有明显的转折点，下降速率较为稳定。斑块凝聚度随着景观格局粒度的不断增加呈现部分不同程度的下降趋势，在 240 m 处出现明显转折点，在 240 ~ 270 m 时下降速率最大。草地的有效网格面积指数随着粒度的增加表现为先增加后下降的变化规律，在 240 m 出现转折点，2008 年在 240 m 之后出现下降趋势，2013 年和 2018 年在 240 m 处出现下降趋势，其中 2008 年变化幅度最大。

（4）水域

由图 5 可以看出，水域的斑块密度随着景观格

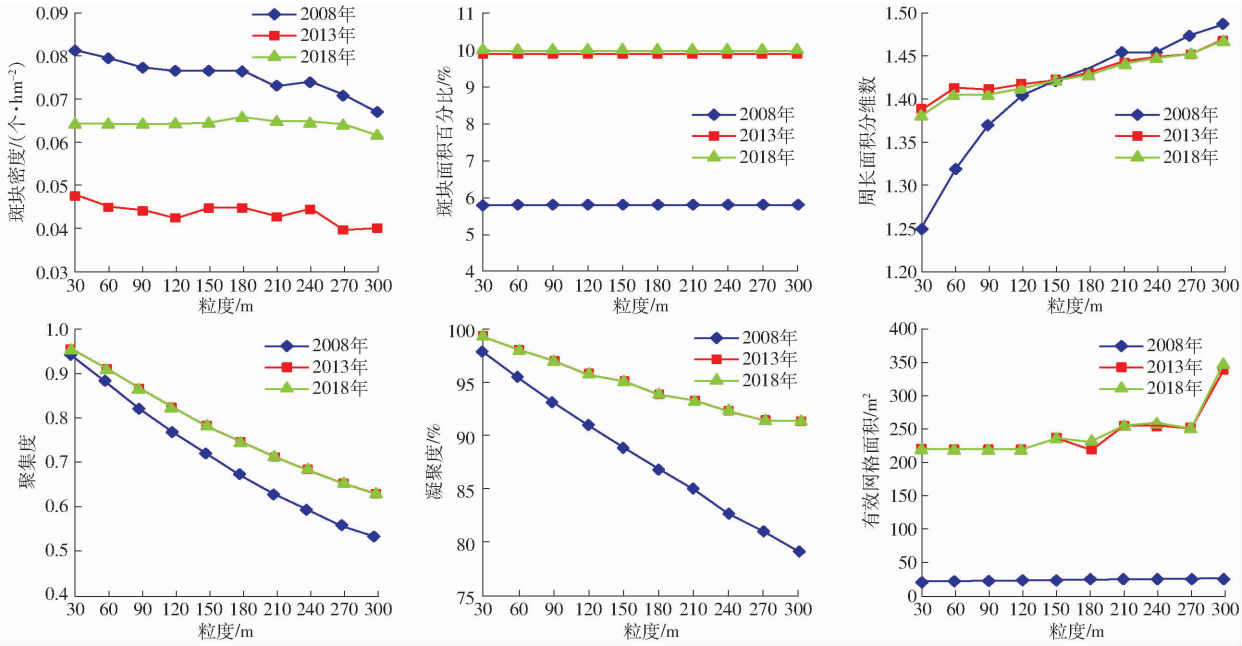

图 3 不同时期林地类型指数随粒度的变化曲线

Fig. 3 Changes of forest land type index with grain size in different periods

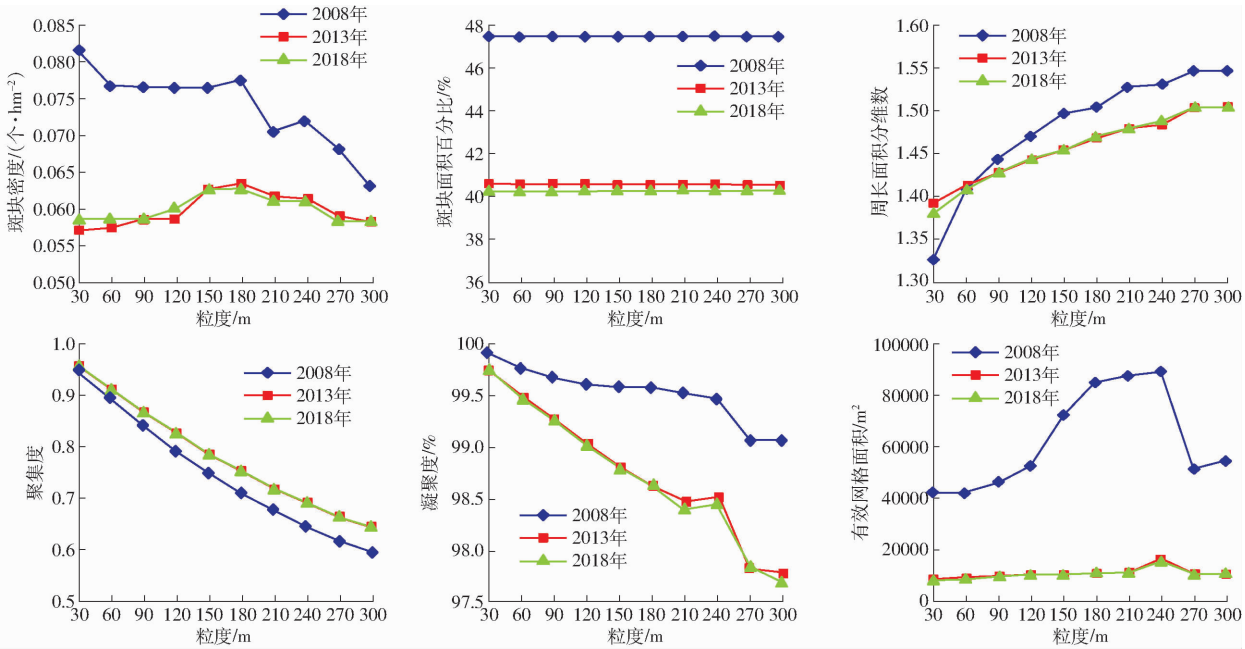

图 4 不同时期草地类型指数随粒度的变化曲线

Fig. 4 Changes of grassland type index with grain size in different periods

局粒度的增加呈现不同程度的变化，其中 2008 年出现先上升后趋于平缓的状态，在 210 m 有明显的转折点，但变化幅度不大。2013 年和 2018 年呈现先上升后下降的变化趋势，分别从 0.005 个/hm^2 增加到 0.046 个/hm^2，从 0.010 个/hm^2 增加到 0.046 个/hm^2。30 ~ 120 m 上升速率较大，在 180 m 处有明显的转折点。斑块面积百分比随着景观格局粒度的增加没有明显的变化，曲线基本保持稳定，2008 年指数值最大。水域的周长面积分维数随着景观格局粒度的增加呈现先上升后平缓的趋势，在 30 ~ 60 m 时上升速率较大。斑块聚集度变化趋势随着景观格局粒度的增加呈现不断下降的趋势，没有明显的转折点，下降速率较为稳定。斑块凝聚度随着景观格局粒度的增加呈现部分不同程度变化趋势，在 240 m 处出现明显转折点，在 240 ~ 270 m 下降速率最大。水域的有效网格面积指数随着分辨率的下降表现为先下降后上升的变化规律，在270 m 出现转折点，2008 年在 270 m 之后出现上升趋势，2013 年和 2018 年在 240 m 处出现下降趋势。

(5) 建设用地与未利用地

建设用地和未利用地的景观格局指数随着粒度变化出现相应的变化，其趋势和规律与耕地基本相

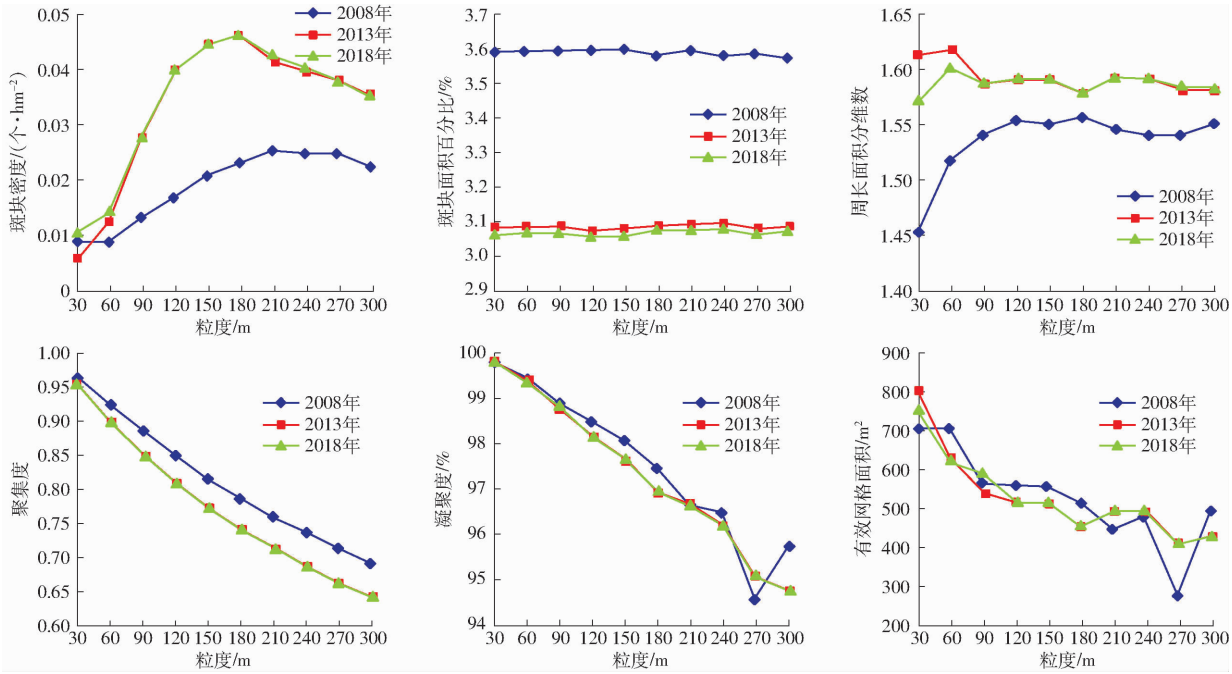

图 5　不同时期水域类型指数随粒度的变化曲线

Fig. 5　Variation of water type index with particle size in different periods

似。从而也论证了景观格局粒度效应的本质是粒度的改变导致不同栅格单元对斑块的融合、分割和边界改变。因此不同时期的数据并不影响研究结果。

2.2.2　斑块类型指数对空间尺度变化的响应

本次研究选取了 2018 年斑块类型指数数据，对 6 种不同土地类型景观格局指数随粒度变化的规律进行综合对比分析，结果如图 6 所示。

由图 6 可以看出，斑块密度的粒度效应具有如下特征：不同土地利用类型的斑块密度随粒度增大变化幅度不大，其中水域变化较为明显，出现先上升后下降的趋势，在 60 ~ 150 m 范围内上升速率较大，粒度在 180 m 时出现转折，粒度大于 180 m 时，曲线变为下降趋势。其次为耕地，耕地曲线变化趋势为先平缓后下降，耕地是唯一下降的土地类型。林地、草地、建设用地和未利用地曲线变化趋势基本相似。这是因为随着粒度的增加，景观中较小的斑块被周围较大的斑块合并，使得耕地成为优势类型，因此耕地的斑块密度下降。

不同土地利用类型斑块面积百分比的粒度效应曲线基本保持水平状态，随着粒度的增大，原有面积基本保持不变。其中，草地所占景观面积比最大，其次是耕地和未利用地，建设用地最小。从中可以看出，草地、耕地是该区域的主要土地类型，景观多样性较低。

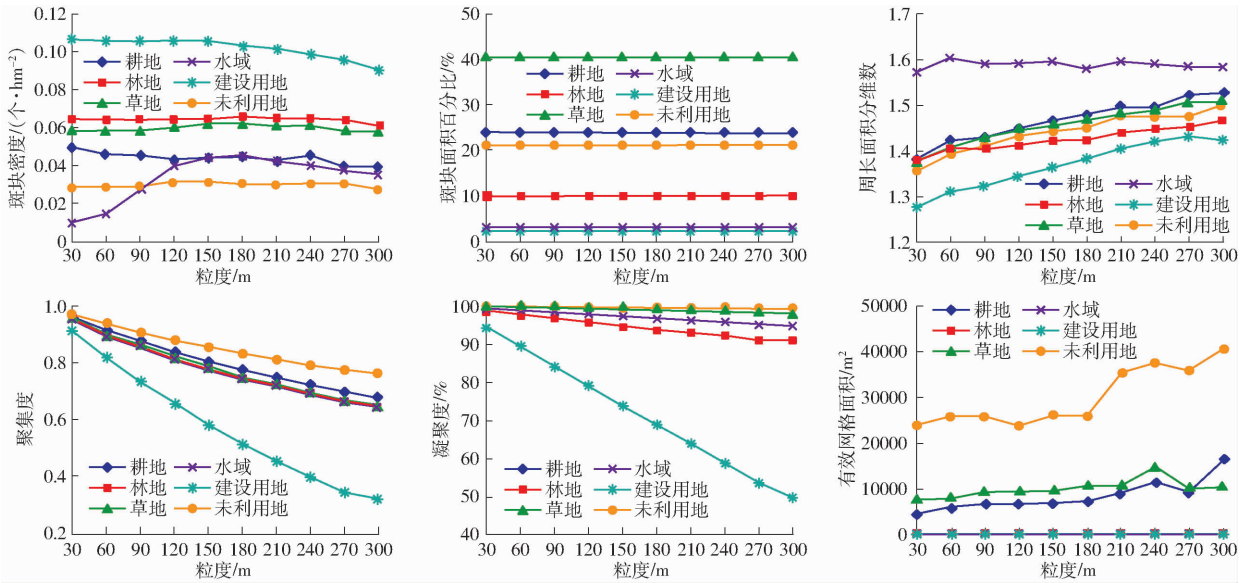

图 6　不同土地类型景观指数粒度效应

Fig. 6　Granularity effect of landscape index of different land types

不同土地利用类型的周长面积分维数变化的趋势基本相似，均呈先上升后平缓的状态，其指数在 1.25 ~ 1.60 之间变化。其中建设用地的变化幅度最大，从 1.27 增加至 1.43，水域变化最为稳定，基本保持水平，其他 4 种土地类型在粒度 30 ~ 60 m 时，上升速率较大。总体来看，研究区的土地利用类型的斑块形状相对较规则，粒度变化对分维数指数的影响较小。

从聚集度效应曲线来看，曲线总体变化均为下降趋势，当粒度在 30 m 时，土地利用类型的聚集度接近 1.0，在 30 ~ 300 m 粒度范围内，其聚集度指数在 0.3 ~ 1.0 之间变化。其中，建设用地的变化幅度较大，聚集度从 0.9 减少至 0.3，其他变化幅度较小，在粒度 240 m 时，曲线趋于平缓。

从凝聚度效应曲线来看，随着粒度的增加，不同土地类型的凝聚度出现不同程度的下降。其中，建设用地下降幅度最大，指数从 94% 减少至 49%，草地和未利用地基本没有变化，曲线保持水平，说明两种类型的斑块连通性较好，林地、耕地和水域的指数值变化较小，在 240 m 后指数值趋于平缓。

从有效网格面积效应曲线来看，随着粒度的变化，未利用地、草地和耕地变化较大，说明粒度对上述 3 类土地类型的平均面积影响较大，未利用地在粒度为 180 m 时变化较大，上升速率较大，草地和耕地在粒度为 240 m 时出现转折，曲线趋势为先下降后增加。林地、水域和建设用地指数变化不大，影响较小，说明斑块平均面积随粒度变化较小。

2.3 景观水平指数随粒度的变化

对 2008、2013、2018 年 3 个不同时期的景观水平指数进行计算对比，结果如图 7 所示。

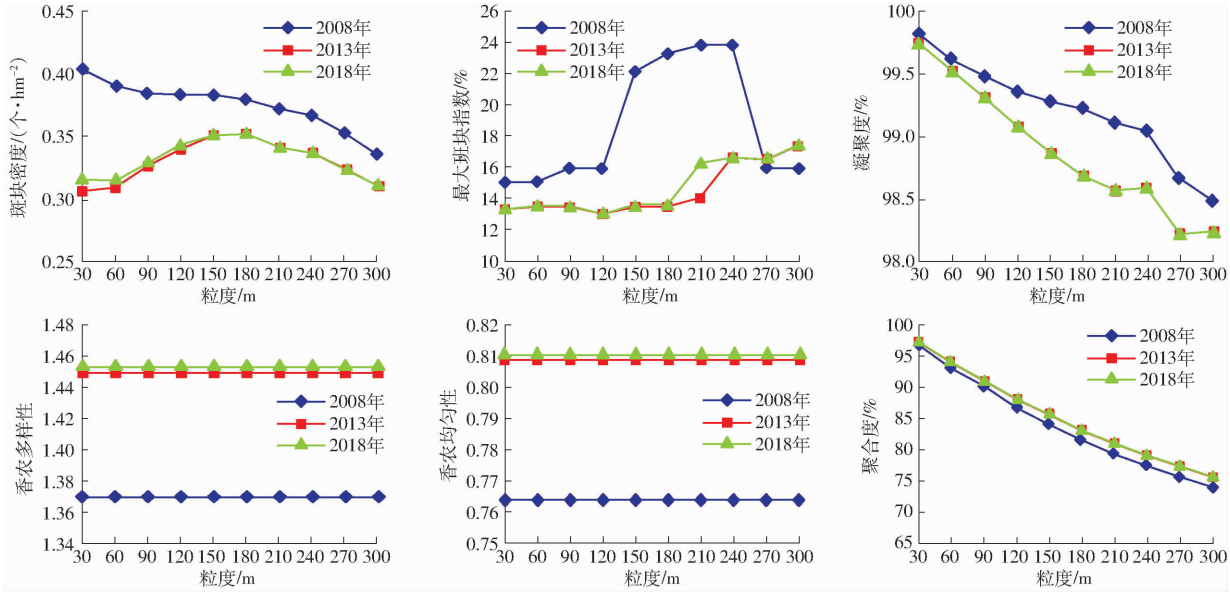

图 7 不同景观水平指数随粒度的变化曲线

Fig. 7 Changes of landscape horizontal index with grain size

由图 7 可以看出，斑块密度随着粒度的变化出现不同程度的变化趋势，2008 年呈现下降趋势，2013 年和 2018 年呈现先上升后下降的趋势，在粒度为 150 m 时出现明显的转折点。说明斑块密度具有明显的粒度效应。

随着粒度的增大，该区域最大斑块指数出现波动较大的变化，其中 2008 年波动幅度最大，变化趋势为先缓慢上升再快速上升后急速下降，在 30 ~ 120 m 上升幅度较小，在 120 ~ 180 m 上升速率较大，在 240 m 出现明显的拐点，240 m 之后出现明显下降。2013 年和 2018 年变化趋势相似，均为上升趋势，在 210 ~ 240 m 上升速率较大。

凝聚度随着粒度的增加呈现下降的趋势，3 期均在粒度为 240 m 时出现明显的拐点，但 2013 年和 2018 年在粒度为 270 m 出现第 2 次拐点。香农多样性随着粒度的增加波动不大，其中 2018 年最大。说明在 30 ~ 300 m 的区间内，景观的斑块类型没有发生显著变化。香农均匀性与香农多样性变化类似，也是波动较小，其中 2018 年最大。景观内各斑块的均匀性随粒度变化不大，这说明各类斑块的均匀程度基本不受粒度的影响，对粒度变化的敏感性较低。对于景观水平的聚合度，与斑块类型景观指数的聚集度相似，都随着粒度的增大而逐渐降低，这说明无论从各个斑块的角度来看，还是从整体景观角度来看，斑块形状逐渐趋于平缓，且不同斑块会随粒度的增大而融合成为一体。因此，聚合度也会随着粒度增大而逐渐降低。

综上所述，随着粒度的增加，不同景观水平指数

对尺度变化的响应不同，表明空间尺度变化对景观特征指数具有显著影响，且在粒度变化达到一定阈值时，景观指数的尺度效应检测曲线会发生一定程度的趋势变化，出现明显或不明显的转折点，这是因为分辨率的改变引起栅格单元面积的变化，伴随着不同景观斑块间的分割或融合，影响斑块边界长度和面积的固定关系，从而改变了景观的相关特征，导致不同景观特征指数发生一系列的变化。

3　结论

（1）以翁牛特旗为研究区，通过利用翁牛特旗 2008、2013、2018 年 3 期土地利用数据，将景观类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地，运用 Fragstats 4.2 专业软件进行景观格局指数运算。从 2008 年到 2018 年，在景观水平上，斑块密度、最大斑块指数、凝聚度分别减少了0.08 个/hm^2、1.79 个百分点、0.05 个百分点，香农多样性、香农均匀性和聚合度分别增加了 0.08、0.05 和 0.32 个百分点，说明优势景观尚未形成，景观破碎度正在加剧。

（2）从景观类型和景观水平两个方面对翁牛特旗景观空间尺度进行分析，阐述了景观指数随粒度变化的规律性，最终得出该区域形成了以耕地、林地和草地为主的景观格局。

（3）在景观类型上，2008 年耕地的凝聚度变化较大，减少了 2.23 个百分点，并在粒度为 270 m 时发生转折；草地的斑块密度波动较大，减少了 0.018 个/hm^2，并在粒度为 150 m 和 210 m 处存在拐点；水域的周长面积分维数呈增长趋势，增加了 0.1。2013 年和 2018 年水域的斑块密度呈增长趋势，分别从 0.005 个/hm^2 增加到 0.046 个/hm^2、从 0.010 个/hm^2 增加到 0.046 个/hm^2。2013 年，耕地的有效网格面积变化较大，增加了12 966 m^2，粒度为 270 ~ 300 m 时景观指数变化幅度较大；草地的凝聚度在粒度为 240 ~ 270 m 时波动幅度较大，减少了 1.95 个百分点。

（4）在景观水平上，2008 年最大斑块指数随着粒度变化发生较大波动，呈现先增大后减小的趋势，粒度为 240 m 处出现拐点；2018 年的凝聚度随着粒度变化波动较大，粒度在 240 ~ 270 m 变化较大，减少了 1.48 个百分点。

参　考　文　献

[1] 陈慧中. 不同地貌类型景观格局分析及尺度效应研究[D]. 南京：南京农业大学，2009.
CHEN Huizhong. Landscape pattern analysis and scale effect of different geomorphic types [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. (in Chinese)

[2] 高凯. 多尺度的景观空间关系及景观格局与生态效应的变化研究[D]. 武汉：华中师范大学，2010.
GAO Kai. Multi scale spatial relationship of landscape and change of landscape pattern and ecological effect [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2010. (in Chinese)

[3] ZHOU Z Z. Landscape changes in a rural area in China[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, 47(1 – 2): 33 – 38.

[4] 邬建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志，2000，19(1)：42 – 52.
WU Jianguo. Landscape ecology—concepts and theory[J]. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(1): 42 – 52. (in Chinese)

[5] 张娜. 景观生态学[M]. 北京：科学出版社，2016.

[6] 吕一河，傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法[J]. 生态学报，2001，21(12)：2096 – 2105.
LÜ Yihe, FU Bojie. Methods of scale and scale transformation in ecology [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(12): 2096 – 2105. (in Chinese)

[7] 赵文武，傅伯杰，陈利顶. 景观指数的粒度效应[J]. 第四纪研究，2003，23(3)：326 – 333.
ZHAO Wenwu, FU Bojie, CHEN Liding. Grain size effect of landscape index [J]. Quaternary Research, 2003, 23(3): 326 – 333. (in Chinese)

[8] 朱明，濮励杰，李建龙. 遥感影像空间分辨率及粒度变化对城市景观格局分析的影响[J]. 生态学报，2008，28(6)：2753 – 2763.
ZHU Ming, PU Lijie, LI Jianlong. Influence of spatial resolution and granularity change of remote sensing image on analysis of urban landscape pattern [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2753 – 2763. (in Chinese)

[9] 陈命男，郑磊夫. 城市景观格局的空间尺度效应——以上海市为例[J]. 绿色科技，2013(8)：1 – 9.
CHEN Mingnan, ZHENG Leifu. Spatial scale effect of urban landscape pattern: a case study of Shanghai [J]. Green Technology, 2013(8): 1 – 9. (in Chinese)

[10] 杨晓玲. 江苏东台围垦区景观格局变化及其尺度效应研究[D]. 南京：南京师范大学，2011.
YANG Xiaoling. Landscape pattern change and scale effect in Dongtai reclamation area, Jiangsu Province [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011. (in Chinese)

[11] 徐建华，岳文泽. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例[J]. 地理学报，2004，59(6)：1058 – 1067.
XU Jianhua, YUE Wenze. Spatial statistical law of scale effect of urban landscape pattern: a case study of Shanghai central city [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 1058 – 1067. (in Chinese)

[12] 李秀珍，布仁仓. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. 生态学报，2004，24(1)：123 – 134.
LI Xiuzhen, BU Rencang. Response of landscape pattern index to different landscape patterns [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 123 – 134. (in Chinese)

[13] 付博杰，吕一河，陈利顶，等. 国际景观生态学研究新进展[J]. 生态学报，2008，28(2)：799 – 800.
FU Bojie, LÜ Yihe, CHEN Liding, et al. New progress in international landscape ecology research [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 799 – 800. (in Chinese)

[14] 李月臣，刘春霞. 锡林浩特市土地利用/覆盖变化研究[J]. 水土保持通报，2006，26(2)：60 – 64.
LI Yuechen, LIU Chunxia. Study on land use/cover change in Xilinhot City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(2): 60 – 64. (in Chinese)

（下转第 181 页）

characteristics of leaf based on RGM[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(6): 868 – 874. (in Chinese)
[12] JACQUEMOU D, STEPHAN E, VEHOE F, et al. PROSPECT + SAIL models: a review of use for vegetation characterization [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113: S56 – S66.
[13] BARRY K, NEWNHAM G. Quantification of chlorophyll and carotenoid pigments in eucalyptus foliage with the radiative transfer model PROSPECT 5 is affected by anthocyanin and epicuticular waxes[C]// Proceedings of the Geospatial Science Research Symposium-GSR_2, 2012.
[14] LI Y, CHEN Y, HUANG J. An approach to improve leaf pigment content retrieval by removing specular reflectance through polarization measurements[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2018, 99: 1 – 14.
[15] WANG S, YU C, SUN Y, et al. Specular reflection removal of ocean surface remote sensing images from UAVs[J]. Multimedia Tools & Applications, 2018, 77(3): 11363 – 11379.
[16] LI Y, HUANG J. Remote sensing of pigment content at a leaf scale: comparison among some specular removal and specular resistance methods[J]. Remote Sensing, 2019, 11(8):983.
[17] LI D, CHENG T, JIA M, et al. PROCWT: Coupling PROSPECT with continuous wavelet transform to improve the retrieval of foliar chemistry from leaf bidirectional reflectance spectra[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 206:1 – 14.
[18] 陈玉泉,季耿善,杨静,等. 水体遥感的镜面反射特性研究[J]. 环境遥感, 1994(3): 195 – 202.
CHEN Yuquan, JI Gengshan, YANG Jing, et al. A study of remote sensing on water body mirror reflection[J]. Remote Sensing of Environment, 1994(3): 195 – 202. (in Chinese)
[19] 邓钧元. 蜡质层覆盖明显叶片的镜面反射特性研究[D]. 长春:东北师范大学, 2012.
DENG Junyuan. The study of specular reflection from waxy layer covered leaf[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2012. (in Chinese)
[20] 周建彤. 无人机影像水体高光去除方法研究[D]. 武汉:武汉大学, 2018.
ZHOU Jiantong. Study on the removal method of water highlight in unmanned-aerial-vehicle image[D]. Wuhan: Wuhan University, 2018. (in Chinese)
[21] FERET J B, FRANÇOIS C, ASNER G P, et al. PROSPECT – 4 and 5: advances in the leaf optical properties model separating photosynthetic pigments[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 112(6): 3030 – 3043.
[22] 丁妍,程明霄,朱倩,等. 基于在线拉曼光谱仪预测石脑油组成的方法研究[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(12): 69 – 72.
DING Yan, CHENG Mingxiao, ZHU Qian, et al. Research on method of composition prediction of naphtja based on online Raman spectrometer[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2012, 31(12): 69 – 72. (in Chinese)
[23] 陈拉,黄敬峰,王秀珍. 不同传感器的模拟植被指数对水稻叶面积指数的估测精度和敏感性分析[J]. 遥感学报, 2008,12(1): 143 – 151.
CHEN La, HUANG Jinfeng, WANG Xiuzhen. Estimating accuracies and sensitivity analysis of regression models fitted by simulated vegetation indices of different sensors to rice LAI[J]. Journal of Remote Sensing, 2008,12(1): 143 – 151. (in Chinese)
[24] 杨嘉,郭铌,黄蕾诺,等. 西北地区 MODIS – NDVI 指数饱和问题分析[J]. 高原气象, 2008(4): 896 – 903.
YANG Jia, GUO Ni, HUANG Leinuo, et al. An anlyses on MODIS – NDVI index saturation in Northwest China[J]. Plateau Meteorology, 2008(4): 896 – 903. (in Chinese)

(上接第 231 页)

[15] 乌云娜,李政海. 锡林郭勒草原景观多样性的时间变化[J]. 植物生态学报,2000,4(1):58 – 63.
WU Yunna, LI Zhenghai. Temporal change of grassland landscape diversity in Xilinguole [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000,4(1): 58 – 63. (in Chinese)
[16] 刘学录. 盐化草地景观中的斑块形状指数及其生态学意义[J]. 草业科学,2000,17(2):50 – 56.
LIU Xuelu. Patch shape index and its ecological significance in salinized grassland landscape [J]. Grassland Science, 2000, 17(2): 50 – 56. (in Chinese)
[17] 杨欢, 刘学录. 基于分形理论的云南红河县景观斑块尺度效应[J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2636 – 2644.
YANG Huan, LIU Xuelu. Scale effect of landscape patches in Honghe County, Yunnan Province based on fractal theory [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(9): 2636 – 2644. (in Chinese)
[18] WU Jianguo. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations[J]. Landscape Ecology, 2004,19(2): 125 – 138.
[19] 杨莎莎, 汤萃文, 刘丽娟,等. 流域尺度上河流水质与土地利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1953 – 1961.
YANG Shasha, TANG Cuiwen, LIU Lijuan, et al. The relationship between river water quality and land use on a watershed scale [J]. Journal of Applied Ecology, 2013, 24(7): 1953 – 1961. (in Chinese)
[20] SANTIAGO S, MARTÍNEZ-MILLÁN J. Landscape patterns simulation with a modified random clusters method [J]. Landscape Ecology, 2000, 15(7): 661 – 667.
[21] 常学礼, 张安定, 杨华,等. 科尔沁沙地景观研究中的尺度效应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 635 – 641.
CHANG Xueli, ZHANG Anding, YANG Hua, et al. Scale effect in landscape research of Horqin sandy land [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(4): 635 – 641. (in Chinese)
[22] 于兴修,杨桂山,李恒鹏,等. 典型流域土地利用/覆被变化及其景观生态效应——以浙江省西苕溪流域为例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 13 – 19.
YU Xingxiu, YANG Guishan, LI Hengpeng, et al. Land use/cover change and its landscape ecological effect in typical watershed: a case study of Xitiaoxi watershed in Zhejiang Province [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(1): 13 – 19. (in Chinese)