基于遥感生态指数模型的杨凌农业高新技术产业示范区生态环境评价

夏积德[1,2], 高焕霖[2], 李峰博[1], 雷小平[1], 仇文娟[3]

(1.杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 3.永寿县水利局, 陕西 永寿 713400)

摘　要:[目的] 定量揭示杨凌农业高新技术产业示范区(简称"杨凌区")生态环境质量的空间分布与变化特征,为该区及类似地区生态环境建设的规划和管理提供科学依据。[方法] 本文基于 Landsat8 卫星影像,利用主成分分析的遥感生态模型进行分析。[结果] 2013—2018 年,杨凌区生态环境质量总体呈上升趋势,遥感生态指数均值由 0.45 升至 0.50,呈上升趋势的面积为 50.77 km^2,占全区总面积的 38%;杨凌区生态环境状况的空间分布具有向西北优而东南城区差两极扩散的趋势;干度分量对生态指数模型整体影响最大。[结论] 杨凌区生态环境质量较差的区域主要集中在城区人为活动密集区和大型工业园区,体现出高度聚集的特点。在杨凌区未来规划和发展中,应控制并有效减小裸地和建设用地面积,重视生态景观和城区绿化。

关键词:生态环境质量;遥感生态指数;干度分量;主成分分析;杨凌农业高新技术产业示范区

文献标识码:B　　**文章编号**:1000-288X(2019)01-0167-05　　**中图分类号**:P237, X826

文献参数:夏积德, 高焕霖, 李峰博, 等.基于遥感生态指数模型的杨凌农业高新技术产业示范区生态环境评价[J].水土保持通报,2019,39(1):167-171.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.027; Xia Jide, Gao Huanlin, Li Fengbo, et al. Evaluation on ecological environment of Yangling Agricultura Hi-tech Industries Demonstration Zone based on remote sensing ecological index model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(1):167-171.

Evaluation on Ecological Environment of Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone Based on Remote Sensing Ecological Index Model

Xia Jide[1,2], Gao Huanlin[2], Li Fengbo[1], Lei Xiaoping[1], Qiu Wenjuan[3]

(1.*Yangling Vocational and Technical College*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*; 2.*Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*; 3.*Yongshou County Water Resources Bureau*, *Yongshou*, *Shaanxi* 713400, *China*)

Abstract: [Objective] To quantitatively reveal the spatial distribution and change characteristics of ecological environment quality in Yangling Agricultura Hi-tech Industries Demonstration Zone, in order to provide scientific basis for the planning and management of ecological environment construction. [Methods] Landsat 8 satellite images were collected, the remote sensing ecological model and principal component analysis was employed. [Results] From 2013 to 2018, the ecological environment quality of the district showed an overall upward trend, the average value of remote sensing ecological index increased from 0.45 to 0.50, and the area with an upward trend was 50.77 km^2, accounted for 38 % of the total area of the region. The ecological environment in the district was better in the northwest than in southeast. The dryness component had the greatest effect on the ecological index model. [Conclusion] The areas with poor ecological environment quality in the district are mainly concentrated in the urban areas with intensive human activities and large industrial parks. In the future planning and development of the district, the area of bare land and construction land should be controlled and reduced, and more attentions need to be paid to ecological landscape and urban greening.

Keywords: **ecological environment quality; remote sensing ecological index; component about dryness; principal component analysis; Yangling Agricultura Hi-tech Industries Demonstration Zone**

收稿日期:2018-09-28　　**修回日期**:2018-10-12

资助项目:陕西省水利厅科技项目"基于遥感和 GIS 技术的渭河流域(杨凌段)水边线变迁与区域生态环境变化效应研究"(2017Slkj-11);陕西省科技厅项目"利用关中黄土台塬坡耕地节水种草的肉羊生态养殖模式研究"(2016NY-091)

第一作者:夏积德(1980—),男(汉族),河南省鹿邑县人,副教授,主要从事耕作侵蚀机理及效应研究。E-mail: xiajide@126.com。

社会经济的良性发展离不开生态环境建设，准确而详细的掌握区域生态环境状况，有助于政府积极而正确地指引生态环境建设，从而更好地服务于区域社会经济发展。2006 年国家环境保护部颁布了《生态环境状况评价技术规范》，推出了基于遥感技术的生态环境状况指数(ecological index，EI)评测[1]。传统的 EI 是多个区域生态因子指数的加权结果，只能笼统地定性说明一个地区的生态状况，难以定量化地研究区域内生态环境状况和空间分布[2]。同时，很多研究基于遥感技术进行单一指标反演和评价，仅能片面的反映出生态环境质量在某一维度的变化，而实际的生态环境系统具有整体性和复杂性，生态系统中的每个影响因子都是无法分隔开来的。为此，基于遥感技术的遥感生态指数(remote sensing based ecological index，RSEI)从绿度、湿度、干度和温度 4 个维度出发评价生态环境质量[3-6]运用而生。与传统的 EI 相比，RSEI 能够快速、定量和客观的评价区域生态环境，并能获得区域生态环境的空间分布。

杨凌农业高新技术产业示范区(简称“杨凌区”)地处关中平原腹地、农业硅谷，是全国唯一的国家级农业高新技术产业示范区，是国家批准的向亚太经合组织开放的十大工业园区之一，也是国家重点支持的五大高新区之一。中国杨凌农业高新科技成果博览会是中国国家级四大科技展会之一，是农业高新技术、产品展示交易的重要平台，其规模和社会影响日益扩大。近年来，杨凌区借助自身科教优势，经济发展迅速，其依托西北农林科技大学和杨凌职业技术学院，采取“政府组织，企业带动，科技支撑，农户实施”的方式，大力发展生态友好型和资源节约型农业、畜牧业和养殖业等产业，产业示范作用不断增强，对农业、农村、农民的带动作用和辐射力逐步扩大，促进了农村发展和农民增收，将为国家乡村振兴战略的实施和实现作出较大贡献。但随着经济、人口、资源和环境的矛盾加剧，如何平衡经济发展与环境恶化的矛盾是杨凌区面临的严峻挑战。为此，本文将 RSEI 应用于杨凌区的生态环境状况监测之中，旨在快速、客观和定量的评价杨凌区生态环境状况及其时空变异规律，从而为环境决策方案提供帮助，为杨凌区更好地开展生态环境建设工作提供科学依据。

1 研究区概况

杨凌区(107.56°—108.08°E，34.14°—34.20°N)，位于陕西黄土高原南部、关中平原西部，总面积 135 km^2。地势总体平缓，呈现北高南低和西高东低的特点。东与武功县相邻，西倚扶风县，南濒渭河与眉县和周至县相接，北与武功县和扶风县接壤。属于暖温带半湿润半干旱气候，年均降水量为 637 mm 且多集中在夏秋季，年均气温约 13 ℃。境内塬、坡、滩地交错，土壤肥沃，适宜多种农作物生长。2017 年末，常住人口约2.80×10^5 人。

杨凌示范区在陕西省内 6 个地市建立了 13 个农业试验、示范基地，示范区两所高校在西部省份建立了 44 个实验与示范基地。近年来，杨凌示范区企业在农业结构调整、农民增收方面的带动作用较大，其不断探索“公司＋科技＋农户”等模式，为农户提供技术培训和指导，促进农民增收脱贫，据不完全统计，每年杨凌示范区科技推广带来的农民效益增加值超过1.00×10^{10}元人民币。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源及数据预处理

选用 2013 年 6 月和 2018 年 5 月的 Landsat 8 OLI 和 TIRS 遥感影像作为数据源。为了消除不同时相因大气传输特性、平台运行状况及传感器系统等因素所造成的误差，在 ENVI 5.3 下分别对两期影像进行辐射定标、大气校正、几何精校正和配准，保证得两期影像的准确性和可叠加性，最后对两期影像进行裁剪。

2.2 RSEI 模型

在反映生态环境质量的诸多因子中，绿度、温度、干度、湿度是人类直观感觉生态环境质量优劣的最重要指标，具有很强的代表性。RSEI 模型分别用植被覆盖度、地表温度、裸土和建筑指数、湿度指数来代表绿度、温度、干度和湿度作为评价指标[1]，并利用主成分分析对这 4 个重要影响因子进行了耦合，用于反映区域生态坏境质量和空间分布情况。RSEI 函数表达式如下：

$$RESI=f(VFC,LST,NDBSI,Wet) \quad (1)$$

式中：VFC——植被覆盖度(%)；LST——地表温度(℃)；NDBSI——裸土和建筑指数；Wet——湿度指数。

2.2.1 各指标分量计算 绿度指标分量：VFC 是植被在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比，是衡量地表植被覆盖的重要指标，与植物生长状况、叶面积指数息息相关。植被的自然表面像元的光谱能量值来自于绿色植被和裸露土地两部分，即：

$$VFC=(NDVI-NDVI_{soil})/(NDVI_{veg}-NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中：$NDVI_{soil}$——裸露的土壤的植被归一化指数(NDVI)；$NDVI_{veg}$——植被高度覆盖的 NDVI 值，可近似地认为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 为置信区间内的最大值和最小值，置信区间为 0.05～0.95。

温度指标分量:本文采用辐射传输法进行地表温度反演[7],利用热辐射传输模型计算相同温度黑体亮度值,再利用普朗克定律进行计算。由于 TIRS 中波段 11 辐射定标偏差较大,故选用波段 10 进行地表温度的反演,具体公式如下:

$$L_{10}=\tau_{10}[\varepsilon b_{10}(T_s)+(1-\varepsilon_{10})I_{10}\downarrow]+I_{10}\uparrow \tag{3}$$

$$T_s=k_2/\ln(\frac{k_1}{L_{10}}+1) \tag{4}$$

式中:L_{10}——传感器处的辐射亮度值;b_{10}——大气在热红外波段 10 的透过率;ε——地表比辐射率;$I_{10}\uparrow$——大气向上辐射亮度;$I_{10}\downarrow$——大气向下辐射亮度;$b_{10}(T_s)$——与 T_s 相同的黑体的辐射量度,可由普朗克公式计算;k_1,k_2——定标参数。

干度指标分量:裸土和建筑用地均会造成地表“干化”,因此,干度指标除了选择最显著的 IBI(建筑指数)[8]外,还应考虑研究区存在有大量的裸土,故以 IBI 为基础合成裸土指数 SI 来构建干度指标(NDBSI),合成的方法采用主成分变化分析方法。

$$\mathrm{NDBSI}=\mathrm{PCA}(\mathrm{IBI},\mathrm{SI}) \tag{5}$$

$$\mathrm{SI}=\frac{(\rho_{\mathrm{SIR1}}+\rho_{\mathrm{red}})-(\rho_{\mathrm{blue}}+\rho_{\mathrm{NIR}})}{(\rho_{\mathrm{SIR1}}+\rho_{\mathrm{red}})+(\rho_{\mathrm{blue}}+\rho_{\mathrm{NIR}})} \tag{6}$$

$$\mathrm{IBI}=\frac{\frac{2\rho_{\mathrm{SWIR1}}}{\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{NIR}}}-(\frac{\rho_{\mathrm{NIR}}}{\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{red}}}+\frac{\rho_{\mathrm{green}}}{\rho_{\mathrm{green}}+\rho_{\mathrm{SWIR1}}})}{\frac{2\rho_{\mathrm{SWIR1}}}{\rho_{\mathrm{SWIR1}}+\rho_{\mathrm{NIR}}}+(\frac{\rho_{\mathrm{NIR}}}{\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{red}}}+\frac{\rho_{\mathrm{green}}}{\rho_{\mathrm{green}}+\rho_{\mathrm{SWIR1}}})} \tag{7}$$

式中:ρ_i——OLI 影像各对应波段的反射率。

湿度指标分量:遥感影像缨帽变换所获取的湿度分量 Wet 反映了地表水体、植被和土壤的湿度状况,计算公式如下:

$$\mathrm{Wet}=0.151\,1\rho_{\mathrm{blue}}+0.197\,2\rho_{\mathrm{green}}+0.328\,3\rho_{\mathrm{red}}+0.340\,7\rho_{\mathrm{NIR}}-0.711\,7\rho_{\mathrm{SWIR1}}-0.455\,9\rho_{\mathrm{SWIR2}} \tag{8}$$

2.2.2　综合指数的构建　由于绿度、湿度、干度和温度指标的量纲有所不同,采用下式的归一化处理消除量纲差异对计算结果的影像。

$$\mathrm{NI}=(I-I_{\min})/(I_{\max}-I_{\min}) \tag{9}$$

式中:NI——标准化结果,为该指标数值大小;$I_{\max}$,$I_{\min}$——该指标在置信区间内的极大值和极小值,置信区间为 0.05～0.95。

主成分分析法(PCA)是一种将多个变量通过线性变换来选取少数重要变量的降维压缩技术[9-11]。本文采用主成分变换来构建综合的 RSEI。通过特征光谱空间坐标轴的旋转来去掉各个指标的相关性,把绿度、湿度、干度和温度的主要信息集中到主成分上。RSEI 值越大,说明生态环境质量越好。在 ArcGIS 中利用重分类函数,采用自然断点法,按照数值由小到大将 RSEI 划分为差(0～0.2)、较差(0.2～0.4)、中(0.4～0.6)、良(0.6～0.8)、优(0.8～1.0)这 5 个等级。同时,利用主成分分析的结果进行相关性分析,建立 RSEI 与各指标以及指标之间的相关系数矩阵,检验模型的适宜性。

3　结果与分析

3.1　各指标分量贡献率评价

通过对 4 个 RSEI 指标分量进行主成分分析,以明确各指标分量对整个生态环境质量的贡献。杨凌区 2013 年和 2018 年的 4 个 RSEI 指标分量的主成分分析结果见表 1。

表 1　杨凌区生态指数模型各指标主成分贡献度

指标分量	2013 年				2018 年			
	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4
绿　度	−0.57	0.67	−0.39	0.27	−0.61	0.56	−0.42	0.37
干　度	0.65	0.04	−0.46	0.60	0.69	0.06	−0.38	0.61
湿　度	−0.26	−0.18	0.59	0.75	−0.22	−0.18	0.67	0.68
温　度	0.43	0.71	0.54	−0.10	0.32	0.80	0.48	−0.15
特征值	0.05	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00
贡献率/%	75.05	16.88	5.86	2.21	78.38	15.47	4.40	1.76

由表 1 可以看出:①两个年份的第一主成分 PC_1 的特征值贡献率都大于 75%,说明第一主成分耦合了 4 个指标的大部分信息,具有代表 4 个指标的能力;②与 PC_2、PC_3 和 PC_4 相比,PC_1 的各指标贡献率相对平稳,未出现过大或过小的情况,这说明 PC_1 的结构更加合理,不会丢失某种指标大部分的信息;③在两个年份中,干度指标在 PC_1 的贡献率最大,其次为绿度和温度,而湿度指标在 PC_1 的贡献率最小,这说明干度对 RSEI 影响最大,而湿度影响最小;④在PC_1 的 4 个指标分量中,绿度和湿度指标是负值而干度和温度指标是正值,吻合了绿度和湿度指标对生态系统起正面的贡献,干度和温度指标起反面的贡献。

总体来看，PC_1 具有良好的结构、完整的信息量和合理的解释。因此，PC_1 可以用来创建综合的 RSEI，反映区域生态环境质量。

3.2 RSEI 与各指标分量相关性分析

通过构建相关系数矩阵，对 RSEI 与 4 个指标分量之间的相关性进行了分析，结果见表 2。

表 2 杨凌区生态指数模型指标相关系数矩阵

年份	指标	绿度	干度	湿度	温度
2013	绿度	1	−0.78	0.47	−0.41
	干度		1	−0.77	0.70
	湿度			1	−0.61
	温度				1
	RSEI	0.857	−0.969	0.753	−0.759
2018	绿度	1	−0.85	0.51	−0.36
	干度		1	−0.75	0.63
	湿度			1	−0.56
	温度				1
	RSEI	0.911	−0.983	0.725	−0.650

由表 2 可以看出：①干度指标与其他 3 种指标的相关度最强。其中 2013 年平均相关度高达 0.75，而 2018 年的平均相关度也高达 0.74。这说明干度对 PC1 的贡献率最大且基本一致；温度指标的平均相关度最低，平均为 0.49；②在两期影像中，RSEI 与 4 个指标具有较强的相关性，介于 0.65－0.98 之间，且其综合平均相关度高达 0.83，比干度指标的平均相关度高出 12.1%，比温度指标的平均相关度高出 69.3%。综合来看，RSEI 与各指标的相关度表现很好，结构合理和稳定，模型具有很强的适宜性，可用来综合反映杨凌区生态环境的质量。

3.3 杨凌区生态环境状的空间分布与总体评价

杨凌区 2013 年和 2018 年的 RSEI 空间分布见图 1—2。

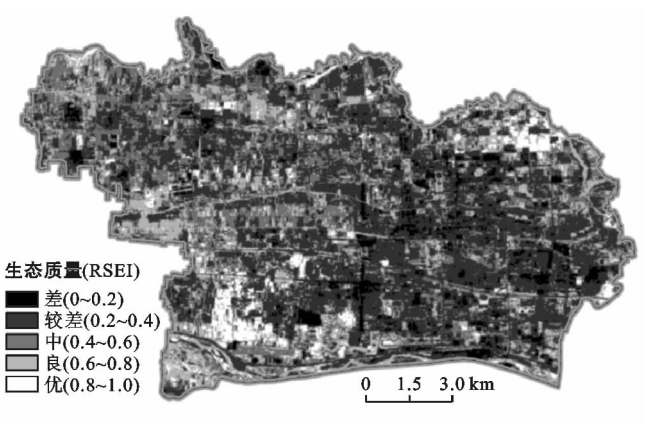


图 1 2013 年杨凌区 RSEI 空间分布

从图 1 可看出，杨凌区 2013 年的生态质量较差的区域集中在杨凌城区和西北方向的五泉镇附近，生态环境质量较好的区域集中在西南，东北方向的渭河沿岸和崔西沟区域。由图 2 可知，杨凌区 2018 年生态环境较差的区域集中在杨凌城区，东北方向的五泉镇区域生态环境质量明显改善，且最差的区域也高度集中于城区的人口密集度大的区域和大型工业园区。

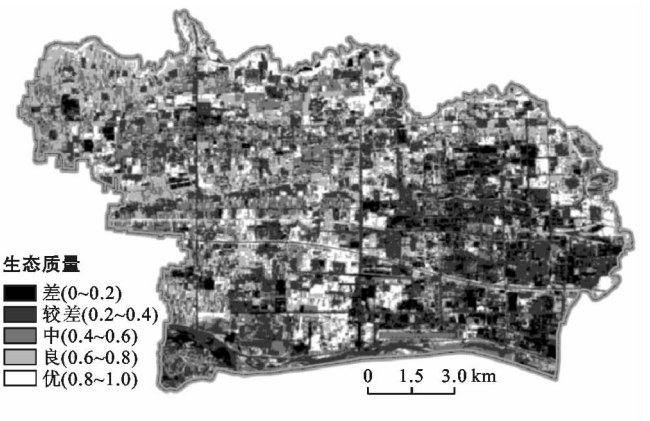


图 2 2018 年杨凌区 RSEI 空间分布

2013 和 2018 两个年份各 RSEI 分级面积及其占比结果如表 3 所示。从表 3 可看出，2013 年 RSEI 平均为 0.45，2018 年 RSEI 平均为 0.50，这说明杨凌区的 RESI 等级总体上处于中等水平，2013－2018 年间生态环境状况有所好转，生态环境质量呈增长趋势。2013 年至 2018 年，虽然 RSEI 值在 0.6 以上的区域面积虽有较大的提高，但是 0.6 以下的区域面积也在增大，特别是较差的区域面积增大了 37.8%。总的来看，2013 年杨凌区生态环境质量集中在较差、中和良这 3 个等级，2018 年虽然和 2013 年的情况类似，但出现了向两极（优或差）逐渐分布的情况，这说明杨凌区的生态环境改善工作确实取得了较大的进步，但也面临着一些挑战。

表 3 2013－2018 年杨凌区生态环境状况面积转移矩阵

RSEI 等级	2013 年		2018 年	
	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%
差	5.67	4.3	7.87	5.9
较差	54.47	41.0	39.52	29.8
中	44.08	33.2	41.53	31.3
良	23.21	17.5	32.11	24.2
优	5.28	4.0	11.69	8.8
合计	132.72	100.0	132.72	100
RSEI 均值	0.45		0.50	
RSEI 标准差	0.17		0.20	

3.4 生态环境面积转移矩阵分析

为了探究 2013－2018 年杨凌区生态环境质量变

化的内部规律,构建各等级面积转移矩阵来分析其变化特征(详见表 4)。

表 4　2013—2018 年杨凌区生态环境面积转移矩阵

2018 年		2013 年面积比例/%				
		差	较差	中	良	优
面积比例	差	28.5	7.3	3.0	3.8	2.1
	较差	42.1	43.0	20.7	16.4	16.3
	中	16.3	26.8	39.6	30.7	26.5
	良	8.3	16.0	29.4	35.7	31.1
	优	4.8	6.9	7.3	13.4	24.0

由表 4 和图 1 可看出:①从 2013—2018 年总体而言,RSEI 各等级都有向其他等级区域面积转移的情况,没有出现不被转移的情况;②转移强度最大的是 2013 年的差区域向 2018 年的较差区域转移,转移率高达 42.1%;转移强度最小的是 2013 年的优区域向 2018 年的差区域转移,转移率为 2.1%,说明生态环境有所改善;③纵观 5 个等级,差区域和优区域的变化率最大,平均变化率分别约为 72%和 76%;而较差区域的变化率最小约为 57%,这反映了这 5 a 间生态变化比较剧烈,生态系统变化相对复杂,说明了人为因素对生态环境变化的影响较大;④2013 年至 2018 年杨凌区生态环境质量提高的面积 50.77 km^2,占转移面积的 38.3%;生态环境质量下降的面积 30.09 km^2,占转移面积的 22.7%;杨凌区生态环境质量总体有较大的提升。

4　结论

本文基于遥感数据,利用主成分分析耦合生态环境的 4 个分量构建遥感生态指数模型,对杨凌区生态环境状况和空间分布状况进行了分析。研究分析方法克服了以往生态质量评价因子难以可视化表达的缺点,通过遥感定量解译和空间耦合,能够客观定量地揭示杨陵区生态环境质量的空间分布与变化特征,对杨陵区生态环境建设的未来规划和管理具有重要的参考价值。

从主成分贡献度和 RSEI 相关度分析可知,经过主成分变化耦合 4 个生态分量(绿度、干度、湿度和温度)的第一主成分 PC_1,具有良好的结构、完整的信息量和合理的解释,由 PC_1 经过归一化后得出的 RSEI 具有较好的刻画杨凌区生态环境质量。

杨凌区 2013—2018 年间,RESI 均值由 0.45 上升至 0.50,生态环境质量提高的面积达到 50.77 km^2,占全区总面积的 38%,这说明在杨凌区在经济飞速发展的 5 a 间,生态环境建设工作也取得了一定的成果。从杨凌区生态环境空间布局来看,生态环境差异空间分布更加合理,生态环境质量较差的区域主要集中在城区人为活动密集区和大型工业园区,体现出高度聚集的模式。

在影响杨凌区生态环境质量的各指标中,干度分量影响最大,其次为绿度、温度和湿度。这说明杨凌区的生态环境质量主要受到裸地和建筑用地面积偏大的影响,而水域和植被面积偏小。因而,在杨凌区未来规划中,应结合生态美丽乡村建设,控制并有效减小裸地和建设用地面积,积极关注生态景观特别是城区绿化和海绵城市建设。

本文研究成果在全国同类地区发展中具有参考价值,其推广应用的适宜性问题有待今后进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013,33(24):7853-7862.

[2] 刘敏. 生态环境综合指数法在规划环评中的应用研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.

[3] 吴志杰,王猛猛, 陈绍杰,等. 基于遥感生态指数的永定矿区生态变化监测与评价[J]. 生态科学,2016,35(5):200-207.

[4] 员智凯. 关中—天水经济区的辐射带动作用和发展路径选择[J]. 人文地理,2009,24(2):63-66.

[5] 马娜,胡云锋,庄大方,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学,2012,32(2):251-256.

[6] 刘广峰, 吴波, 范文义,等. 基于像元二分模型的沙漠化地区植被覆盖度提取:以毛乌素沙地为例[J]. 水土保持研究,2007,14(2):268-271.

[7] Camagni P, Sandroni S. Optical Remote Sensing of Air Pollution[M]. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc, 1984.

[8] Li Fei, Chen Wei, Zeng Yuan, et al. Improving Estimates of Grassland Fractional Vegetation Cover Based on a Pixel Dichotomy Model: A Case Study in Inner Mongolia, China [J]. Remote Sensing, 2014,6(6):4705-4722.

[9] 吴志刚,江滔,樊艳磊,等. 基于 Landsat 8 数据的地表温度反演及分析研究:以武汉市为例[J]. 工程地球物理学报,2016,13(1):135-142.

[10] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析[J]. 生态学报,2009,29(5):2456-2462.

[11] 崔璇,武亮. 主成分分析(PCA)在地学研究中的应用进展[J]. 中山大学研究生学刊:自然科学·医学版,2009(4):41-48.