doi: 10.6046/zrzyyg.2022099
引用格式: 王海雯,贾俊青,李北辰,等. 基于遥感和行业调查数据的城市土地集约利用水平评估[J]. 自然资源遥感,2023,35(2):149-156. (Wang H W, Jia J Q, Li B C, et al. Assessing intensive urban land use based on remote sensing images and industry survey data[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(2): 149-156.)

基于遥感和行业调查数据的城市土地集约利用水平评估

王海雯[1,2,3], 贾俊青[2], 李北辰[2], 董永平[4], 哈斯尔[4]
(1. 内蒙古师范大学地理科学学院,呼和浩特 010010; 2. 内蒙古自治区国土空间规划院,呼和浩特 010010; 3. 内蒙古自治区土地利用与整治工程技术研究中心,呼和浩特 010010; 4. 西安长林丰草生态科技有限公司,西安 710000)

摘要: 为科学评价城市功能区的土地适宜性、精准评估城市土地集约利用水平,以内蒙古自治区呼和浩特市为研究区,整合行业调查数据和利用遥感影像提取的信息,建立指标体系; 以土地为本底进行量化和融合,评估城市功能区划和土地集约利用水平。判别分析显示,93.0%的功能区有共同多元数量特征,表明功能定位和土地用途适宜。采用阴影面积占比、植被面积占比、影像主成分等遥感因子,碳储量、建筑密度、居住功能区地价、商业功能区地价等调查数据,建立高精度多元回归模型,推算容积率,可实现土地集约利用水平定量评估。研究表明,基于遥感和行业调查数据的城市土地集约利用水平评估方法可行,具有推广应用价值。

关键词: 土地资源; 城市土地集约利用; 遥感; 容积率
中图法分类号: TP 79; F 301.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)02-0149-08

0 引言

随着城市人口的不断增加,工业化和城镇化进程快速推进,我国城市空间过度扩张和土地利用效率低下的问题突出[1]。在国土空间规划改革背景下,城市由粗放扩张向内涵提升式发展,城市更新被赋予了更深刻的内涵,片区化的城市土地集约利用评价作为城市更新的基础亟待引起社会重视。国外城市土地集约利用研究经历了构建指标体系定量分析土地利用强度、研究中心城区的土地利用评价模式、利用系统网格探求影响土地集约利用的因素等过程[2]。国内城市土地集约利用研究则更偏重于城市土地集约利用区域综合评价,近年来梁流涛等[3]加入了生态健康及低碳发展的耦合,但均尚未深入到更小尺度城市土地集约利用涉及的多领域协调发展问题。

为将区域土地利用状况评价更为精细化,以社区为调查单位,按照主体功能进行分区,选取土地容积率作为区块土地利用评价状况的表征因子[4-5],表述区块是否得到有效合理利用,从而支撑区域土地利用更新,更好地节约资源,使土地的价值最大化。在以往研究中,针对城市土地利用评价体系,容积率的定量评估指标往往比较单一,测算方法耗费精力,评价范围受限[6-7]。而近年来遥感技术的发展为提取城市地表信息提供了更多可能,如遥感影像的光谱特征可反映地表不同景观类型,阴影能反映目标的高度信息及目标的形状和相关位置信息[8]; 绿地斑块的面积和空间分布与区域居住人口及用地规划密切相关[9]。

秦涛[10]通过分析城市道路结构来定量评价容积率,对道路的主要形态分析变量(如控制度、集成度与路线价)建立了多元线性回归方程; 刘恒慧[11]运用特征价格模型和地理信息系统(geographic information system, GIS)软件对湖泊景观对周边住宅价格影响的土地利用水平进行量化分析,表明城市湖泊景观对周边住宅价格带来显著的正向效应,且其影响距离梯度是随着距离的增大而逐渐减弱; 尹君等[12-13]在以遥感为主结合行业调查获取所有指标信息的基础上,应用人工神经网络(artificial neu-

收稿日期: 2022-03-21; **修订日期:** 2022-05-26
基金项目: 内蒙古自治区自然资源厅2017年研究项目"内蒙古土地集约利用模式与技术集成研究"项目资助。
第一作者: 王海雯(1981-),女,博士研究生,主要研究方向为土地集约利用与评价、各类自然资源等-级-价技术体系、全民所有自然资源资产清查核算体系建设、内蒙古土地资源利用和所有者权益等。Email: 85658772@qq.com。

ral network，ANN）模型对城市土地利用进行评价，发现除“城中村”外，绝大部分评价单元综合指数及集约水平区间确定的土地集约利用水平结果令人满意。

因此，本研究选择内蒙古自治区呼和浩特市为研究对象，综合使用遥感与行业调查数据，探究评估土地集约利用的规律，提出不同领域在土地集约利用方面的实用性功能，完成关键技术的有效验证，提出可供推广的技术。

1 研究区概况

当前，呼和浩特市土地利用浪费现象仍然存在，老城区交通拥挤，新城区人口稀少，各片区土地利用情况不均衡，土地利用结构和布局不尽合理，土地的综合经济效益不高，潜力有待充分发挥。无论是城镇还是农牧区人均建设用地规模较高，探索一条适合呼和浩特特有的城市建设用地空间利用方式，全方位拓展建设用地发展空间，有效提高土地利用效率，确保生态安全成为当前土地集约节约研究亟待解决的问题。前人城市土地集约利用研究主要是偏重于城市土地集约利用的专项研究，尚未深入到城市土地集约利用所涉及的多领域协调发展问题，因而目前的研究还不深入、研究方法也不够成熟，能够指导城市土地集约利用实践和研究成果也较少。

2 数据与方法

以社区为最小信息采集单元，收集呼和浩特市中心城区有关经济、交通、生态环境、城市规划、土地利用总体规划、土地功能和基准地价等多领域调查成果数据，进行以土地为本底的多领域调查数据的量化和融合；基于遥感和城镇调查成果，评价碳储量和生境质量等数据；结合利用遥感影像提取的阴影、植被覆盖、主成分等变量因子，判别分析功能区的土地适宜性；以功能区为单元确立理想值，对容积率与多领域调查数据和遥感变量因子的线性关系进行多元回归分析，分级评估土地利用水平。数据处理流程如图 1。

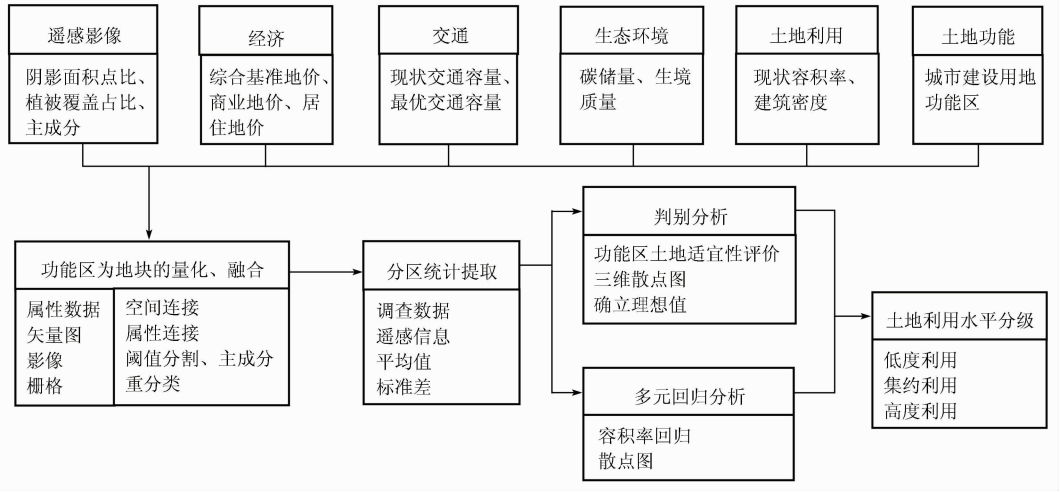


图 1 数据处理流程

Fig. 1 Flowchart of data processing

2.1 行业调查数据与评价因子计算

2.1.1 最优交通容量

参考李向朋[14]关于缓解城市交通拥堵研究里的组合 BPR 模型，基于区域路网容量的项目用地建模；考虑人对机动车、车辆之间等干扰因素，逐步计算每个路段合理分配的交通量，寻找超过合理容量的路段，求出区域路网阻抗最优条件下的交通量。

2.1.2 现状交通容量

主要调查内容包括道路交叉口流量、路段流量、道路等级、交通组织状况等，按照参数标定需求确定调查最小时长，调查时段选在一天中高峰时段。根据实际交通状况及调查数判定各个路段上的交通影响因子，在此基础上计算出自由行驶时间及最大交通量时的行驶时长[15]。

2.1.3 基准地价、现状容积率和建筑密度

按照呼和浩特市中心城区、功能区 2 个层级空间尺度，收集土地、建筑等行业统计资料和地籍、土地利用变更调查等资料，辅以街道（建制镇、管委会）、社区（居委会）等基层[16]统计调查区（单元）的统计数据，经整理汇总获得基准地价、现状容积率和建筑密度 3 个指标。

2.1.4 碳储量

基于已有地表覆盖土地利用过程，使用生态系统服务和权衡的综合评估模型（integrated valuation

of ecosystem services and trade – offs, InVEST) 模型[17],对城区土地碳元素的生产固定、传递利用、代谢消耗及分解降解的动态数值进行估算,具体包括地上生物量、地下生物量、凋落物及土壤碳库等。

2.1.5　生境质量

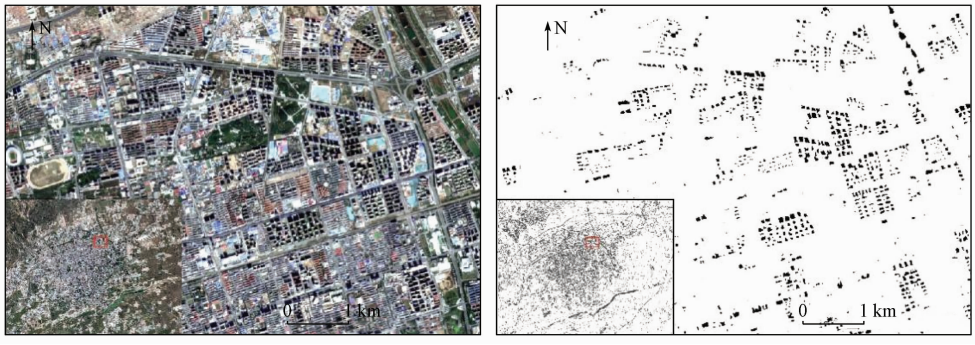
通过土地利用类型分级指数和各土地利用类型面积占比计算土地利用强度指数,用 Robert[18] 等提出的方法计算生态服务价值总和; 最后利用生态服务价值与土地利用强度指数的比值,获得以生态服务价值为背景的土地利用强度指数。土地利用强度指数越高,表示土地利用过程强度越高。

2.2　遥感影像主成分分析

主成分分析(principal component analysis,PCA)可以把原来多波段影像中的有用信息集中到较少的新的主成分影像中,使这些主成分影像之间互不相关,消除波段之间相似性,减少各波段信息的交叉和冗余[19],突出景观和主要地物特征。获取呼和浩特区域同期 Sentinel – 2 遥感影像,选择绿光波段、红光波段、3 个红边波段、近红外窄波段、短红外 2 个波段共 8 个波段数据进行 PCA 分析。选择 4 个主成分,得到第 1 ~ 4 主成分栅格影像,分别主要反映景观、植被、建筑、水体等特征。

2.3　建筑阴影与植被特征获取

基于第 1 主成分栅格影像,按照阴影区灰度值范围,采用阈值分割提取的灰度值区间[217,748],表征建筑阴影区域,能准确反映建筑物高度、体积的相对值(图 2)。

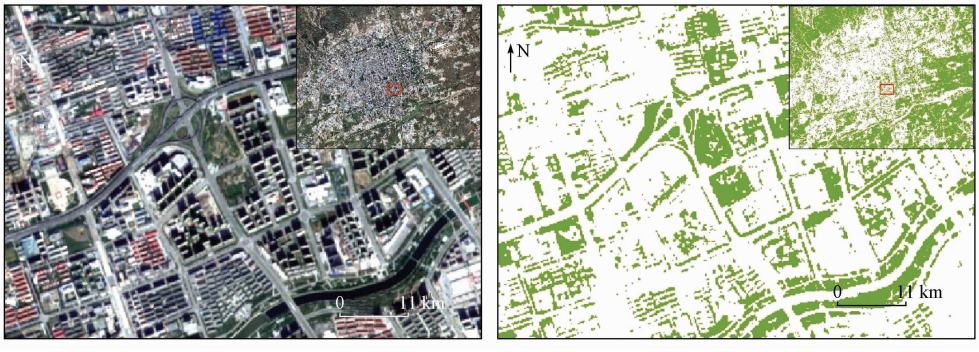


(a) Sentinel – 2 遥感影像　　(b) 提取出的阴影区域(局部放大)

图 2　阴影区域提取局部示意图

Fig. 2　Local schematic of shadow area extraction

基于红波段和近红外波段影像运算得到的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI),按照植被范围的栅格值变化范围,提取 NDVI 值在[0.587 4,0.999 4]的区间范围,采用影像阈值分割处理,将植被特征栅格分类。Sentinel – 2 影像成像时间选择的是 8 月份植被盛期,可准确反映城市绿地的面积与分布(图 3)。



(a) Sentinel – 2 遥感影像　　(b) 提取出的植被覆盖区域(局部放大)

图 3　植被覆盖区域提取局部示意图

Fig. 3　Partial schematic diagram of vegetation area extraction

2.4　空间分区统计

将上述的经 PCA 得到的 4 个主成分分量,及经影像阈值分割处理获取的阴影特征、植被特征等栅格因子,采用分区统计,以各功能区为单元提取其平均值、方差或总和。根据 4 个主成分提取的平均值和方差,以及阴影特征、植被特征提取总和,即可得

到每个中心城区功能区地块的阴影面积占比、植被面积占比。

2.5 功能区判别分析

以呼和浩特中心城区土地原始功能区为分组变量,遥感与调查数据变量及运算衍生的变量共 31 个为自变量,使用步进法,设置变量选入的 F 检验值为 3.84,去除值为 2.71,保存的预测组成员即为判别功能区,判别得分形成的三维散点图即为分组的聚类效果,用以指示功能区划分是否合理。

2.6 容积率多元回归分析

以容积率的自然对数为因变量,上述除容积率与容积率相关因子外的 34 个遥感与多领域调查数据变量因子为自变量,使用步进法,设置变量选入的 F 检验值为 0.10,去除值为 0.15,可得出容积率的自然对数与遥感及多领域调查数据之间的线性回归关系。

2.7 土地利用水平分级

吴嵩等[20]基于遥感和 GIS 对小城市建设用地集约利用状况进行了研究,针对不同功能区的容积率理想值进行了专家打分,结果为居住功能区的综合容积率理想值范围为 1.5 ~ 2.25,商业功能区为 1.2 ~ 3.0,教育功能区为 0.6 ~ 1.2,工业功能区为 0.5 ~ 1.0,行政办公功能区为 1.5 ~ 3.0。因此,各功能区低于该理想值范围即为低度利用,处于该理想值范围即为集约利用,超出该理想值范围则为高度利用。

3 分析与结果

3.1 功能区适宜性评价

将遥感与多领域调查数据变量因子按照功能区分组进行判别分类,结果见表 1 和图 4。在总共 356 个调查样本中,342 个调查样本被成功分类;按照百分比统计,正确地对 93.0% 个原始分组样本进行了分类,即分类精度平均可达到 90% 以上,说明绝大部分的功能区有其类别共性,功能定位准确,土地主要用途适宜。其中,居住功能区和教育功能区的判别成功率达到了 90% 以上,说明这 2 种功能定位在遥感与多领域调查数据变量因子体系中的异质性很明显,后续参照目前的功能区划分、分别确立不同的理想值是可行的。没有被成功分类的样本当中,有少量的工业功能区和商业功能区被分类为行政办公功能区,经遥感影像与地理位置核实,这些功能区位于中心城区周边,未被成功分类的原因可能是近几年城市周边的新型开发区建设的工业园区、商业体建筑密度低,规划空间充足,短期内配套缺乏,长期活动人口较少,以及与中心城区的行政办公区拥有相似的变量因子。

表 1 呼和浩特中心城区功能区判别分类结果

Tab. 1 Discrimination and classification results of functional areas in the central urban area of Hohhot

原始功能区类别	预测各组样本										总计/个
	居住功能区		商业功能区		教育功能区		工业功能区		行政办公功能区		
	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	
居住功能区	208	97.2	2	0.9	0	0	2	0.9	2	0.9	214
商业功能区	3	4.9	50	82	0	0	1	1.6	7	11.5	61
教育功能区	1	3.4	0	0	27	93.1	0	0	1	3.4	29
工业功能区	0	0	0	0	0	0	11	84.6	2	15.4	13
行政办公功能区	1	2.6	2	5.1	1	2.6	0	0	35	89.7	39
未分组个案	4	28.6	3	21.4	6	42.9	1	7.1	0	0	14

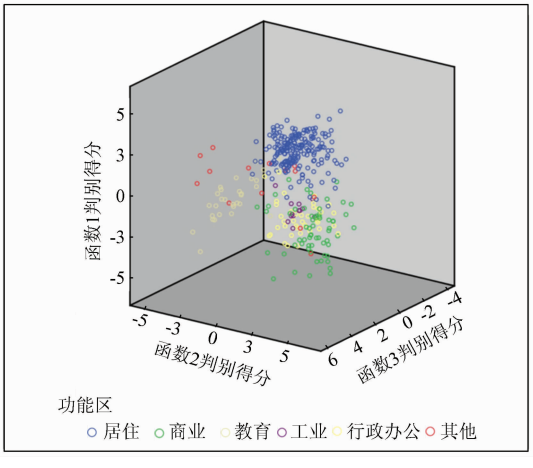


图 4 呼和浩特中心城区功能区分类三维散点分布

Fig. 4 Three – dimensional scatter plot of the classification of functional areas in the central urban area of Hohhot

3.2 容积率回归分析

容积率的自然对数与遥感及多领域调查数据之间的线性回归关系如表 2。其中,容积率的自然对数与阴影面积占比、碳储量的自然对数、建筑密度的倒数、植被面积占比与建筑密度的比值、建筑密度、综合基准价格、居住功能区地价、及第 1,2,3,4 主成分的平均值、第 3 主成分的标准差的线性相关显著性≤0.01,为极显著;与商业功能区地价的线性相关显著性≤0.05,为显著。

表 2　呼和浩特中心城区容积率自然对数的多元回归模型系数

Tab. 2　Coefficients of multiple regression model for natural logarithm of floor area ratio in the central area of Hohhot

因子	未标准化系数	标准误差	标准化系数	t	显著性
建筑阴影面积占比	-1.668	0.553	-0.355	-3.015	0.003
碳储量的自然对数	0.176	0.027	0.236	6.525	0.000
影像第 1 主成分方差	0.000	0.000	0.298	5.555	0.000
建筑密度的倒数	-18.186	3.612	-0.408	-5.034	0.000
影像第 3 主成分方差	-0.001	0.000	-0.223	-3.554	0.000
影像第 2 主成分均值	-0.002	0.000	-0.585	-6.974	0.000
建筑阴影面积占比与建筑密度的比值	0.456	0.115	0.342	3.956	0.000
影像第 3 主成分均值	-0.001	0.000	-0.292	-5.386	0.000
影像第 4 主成分均值	-0.003	0.001	-0.209	-4.928	0.000
影像第 1 主成分均值	-0.001	0.000	-0.539	-4.960	0.000
建筑密度	-0.010	0.004	-0.170	-2.730	0.007
商业地价	0.000	0.000	0.506	4.701	0.000
住宅地价	0.000	0.000	-0.319	-3.900	0.000
综合地价	-3.054E-5	0.000	-0.135	-2.549	0.011

遥感与调查数据结合的变量因子与容积率的关系拟合结果如图 5。指数函数关系呈显著性,说明调查数据与遥感因子的整合可以比较准确地反映容积率的高低,容积率越高,则反映土地利用水平越高,反之则低; 还说明容积率是有一定弹性的"相对指标",总在一定区间范围内浮动。

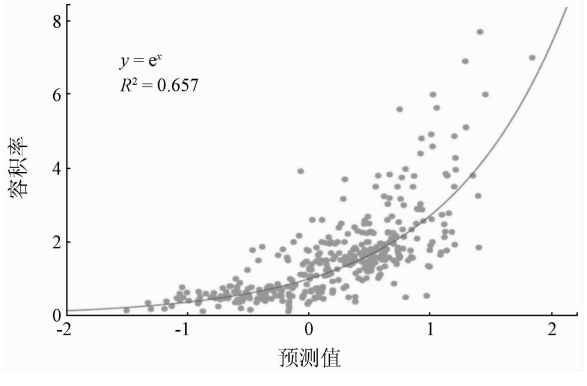


图 5　呼和浩特中心城区的容积率与变量因子多元回归分析预测值之间的关系

Fig. 5　Relationship between natural logarithm of floor area ratio and predicted value of the variable factor multiple regression analysis in the central area of Hohhot

因此,最终真实容积率与遥感结合多领域调查数据组成的变量因子的关系式为:

$$y = e^{\sum_{i=1}^{n} a_i x_i}, \quad (1)$$

式中: y 为功能区地块容积率; $a_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为多元回归分析系数; $x_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为遥感提取的阴影、植被覆盖、主成分与多领域调查数据结合组成的 n 个变量因子。

由遥感与多领域调查数据结合的变量因子多元回归分析得出的容积率预测值较为准确、客观地反映了呼和浩特中心城区的真实土地利用水平,由中心向四周逐渐辐射的规律显著(图 6)。

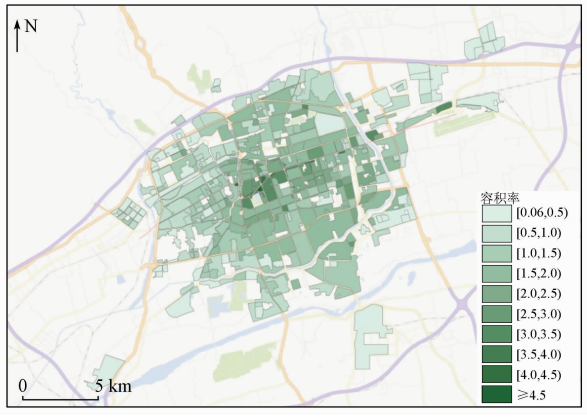


图 6　呼和浩特中心城区功能区地块容积率预测值

Fig. 6　Predicted value of plot ratio in functional areas in the central urban area of Hohhot

3.3　土地利用水平分级

根据吴嵩[20]针对不同功能区的容积率理想值进行的专家打分,得出呼和浩特中心城区功能区土地利用评价结果分布。从呼和浩特各类功能区的土地利用评价指标计算结果(表 3)来看,各功能区都呈现了低度利用面积占比 > 集约利用面积占比 > 高度利用面积占比的特点。除商业功能区、教育功能区外,城市建设用地的土地利用水平较低,特别是行政办公功能区和工业功能区。从功能区与土地利用水平的结果可以看出,功能区的划定符合呼和浩特市土地功能的实际使用结构,土地利用水平符合呼和浩特市的实际趋势。商业功能区主要分布在城区中心,大部分片区土地利用在集约利用水平,个别达到高度利用(如维多利片区、万达片区等); 居住功能区在城区广泛分布,超过 50% 的片区在低度利用水平,越靠近城区中心,集约利用水平的居住功能区开始出现,甚至极个别达到高度利用(如中山路的居住片区); 工业功能区主要分布在城区外围,且单

表 3 呼和浩特中心城区不同功能区土地利用评价面积与占比

Tab. 3 Land use evaluation area and proportion of different functional areas in the central city of Hohhot

功能区类别	低度利用		集约利用		高度利用		总计/hm²
	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	
居住功能区	6 579.26	54.97	4 581.69	38.28	807.86	6.75	11 968.82
商业功能区	289.48	46.35	264.97	42.43	70.10	11.22	624.55
教育功能区	559.48	51.60	400.72	36.96	124.09	11.44	1 084.29
工业功能区	2 075.31	74.71	638.45	22.98	64.10	2.31	2 777.86
行政办公功能区	176.96	94.48	10.34	5.52	0.00	0.00	187.30
合计	9 680.49	58.17	5 896.18	35.43	1 066.15	6.41	16 642.82

个片区面积较大,超过 70% 的属于低度利用水平,制约其利用水平的主要影响因素是城市区位及地区经济发展,单位用地固定资产投资和单位用地工业产值较低使得工业功能区整体集约利用水平偏低[21-23];教育功能区在市区中心大学街连片分布,建筑密度较高,单位用地服务学生数较大[24-25],达到集约利用甚至高度利用,其余为零星分布,以低度利用为主;行政办公功能区面积最少,零星分布于周边新型开发区,超过 90% 属于低度利用水平。

在空间结构上,位于中心圈层的老城区,由于开发早、基础设施完善、人口密集、利用强度高[26-29],多为高度利用或集约利用。利用类型为低度利用的土地主要分布在开发较晚、基础设施尚不完善、人口相对稀疏、建设强度不高的外围城区。此外,市区中心或市郊新建成的居住用地,规划设计合理[24],土地利用集约水平高(图 7)。

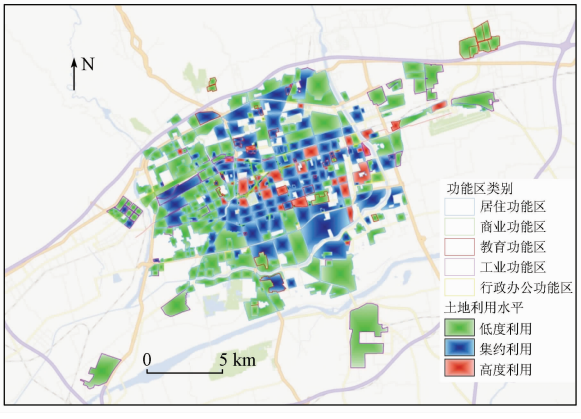


图 7 呼和浩特中心城区功能区地块土地集约利用水平

Fig. 7 Level of intensive land use in functional areas in the central urban area of Hohhot

4 讨论

1)本文提出的分析方法能够比较准确地评估中心城区容积率的趋势,从而反映土地集约利用的水平。已有研究表明,交通容量、生境质量等因子对土地集约利用水平均有正向效应,与本文的研究结果相符,也贯彻了城市土地集约利用不仅要关注经济效益、而且应该包括环境效益和社会效益等综合效益最大化的发展理念。

2)基于遥感技术结合多领域调查数据获取的城市土地利用水平信息,比以往采用的土地利用、城镇地籍、城建规划等单一资料更具时效性,实用性更强,工作更快捷、方便,节省人力、物力和财力。同时,以其为基础获取信息具有及时、客观性,能够为政府快速科学决策提供依据,促进城市土地利用结构和布局的优化。

5 结论与建议

1)结合遥感影像提取的阴影、植被覆盖占比、主成分特征因子和多领域的调查数据,通过建立指标体系,划分功能区,计算多元回归容积率,确立理想值,定量分析土地利用程度。经验证,可采用遥感和多领域调查数据判别分析城区功能区土地利用状况,成功率达到 90%;可用多元回归方程推算城区真实容积率,科学客观地反映每个区块的土地集约利用水平。

2)中心城区功能区的地块以整个片区为单元,面积较大,可能包含了不同的容积率、土地利用单元。如能采用更加细化的社区单元或者城市建筑物单元,会更精准地反映容积率、建筑密度等参数。

3)获取高分遥感数据,更加精确地提取阴影、植被等波谱特征,可能会进一步提高研究方法的准确率。

参考文献(References):

[1] 黄凌翔. 土地供给经济系统运行时空变化特征及政策绩效评价研究——基于宏观调控视角[J]. 当代经济管理,2015,37(4):74-78.
Huang L X. A study from the macroeconomic regulation perspective on the spatial-temporal change character of land supply economic system and the land policy performance evaluation[J]. Contemporary Economic Management,2015,37(4):74-78.

[2] 楚 立. 基于两种方法下的城市土地集约利用评价研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2021.
Chu L. The evaluation of urban land intensive utilization based on

two methods: Take Zhengzhou City as an example[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing),2021.

[3] 梁流涛,樊鹏飞. 基于生态健康与低碳发展的城市土地集约利用评价及障碍因子诊断研究[C]//中国土地学会. 2015 海峡两岸土地学术交流会,2015,79 - 88.
Liang L T,Fan P F. Evaluation of urban land intensive use and diagnosis of obstacle factors based on ecological health and low - carbon development[C]//Chima Land Society. 2015 Cross - Strait Land Academic Exchange Conference,2015,79 - 88.

[4] 孙 峰,郑振兴. 兼顾总量平衡与刚柔适度的容积率控制方法[J]. 规划师,2013,29(6):47 - 51.
Sun F,Zheng Z X. Balanced FAR control in general amount and rigidity - flexibility[J]. Planner,2013,29(6):47 - 51.

[5] 路 昊,罗 霞. TOD 模式下轨道交通站点周边土地利用优化模型[J]. 综合运输,2020,42(1):38 - 43.
Lu H,Luo X. Optimization model of land use surrounding rail transit stations based on TOD[J]. China Transportation Review,2020,42(1):38 - 43.

[6] 闫晓丹,乌兰高娃,陈 飞. "容积率"对城市土地利用的影响[J]. 内蒙古科技与经济,2012(21):8 - 9.
Yan X D,Wu L G W,Chen F. The impact of "FAR" on urban land use[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy,2012(21):8 - 9.

[7] 邓凌云,尹长林. 科学发展观下容积率的合理制定[J]. 山西建筑,2006,32(20):53 - 55.
Deng L Y,Yin C L. Rational setting down floor area ratio under the guidance of scientific development view[J]. Shanxi Architecture,2006,32(20):53 - 55.

[8] 刘小洲,周石琳,李智勇. 高分辨率遥感图像中建筑物阴影的提取[J]. 计算机仿真,2008,25(8):197 - 200.
Liu X Z,Zhou S L,Li Z Y. Extraction of building shadows from urban high resolution remote sensing image[J]. Computer Simulation,2008,25(8):197 - 200.

[9] 刘恒慧,曾忠平. 武汉东湖风景区对周边住宅价格影响的研究[J]. 资源开发与市场,2013,29(6):585 - 589.
Liiu H H,Zeng Z P. Impacts of east lake scenic area in Wuhan on values of adjoining residential property[J]. Resource Development & Market,2013,29(6):585 - 589.

[10] 秦 涛. 基于空间句法的徐州市道路结构与地价关系分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2010,31(1):55 - 59.
Qin T. The relation of the city traffic network and the land prices based on the space syntax: For Xuzhou[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition),2010,31(1):55 - 59.

[11] 刘恒慧. 基于 HPM 和 GIS 的武汉市湖泊景观对周边住宅价格影响的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2013.
Liu H H. Research on the influence of lake landscape in Wuhan to the values of adjoining residential property based on HPM and GIS[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology,2013.

[12] 尹 君,谢俊奇,王 力,等. 基于 RS 的城市土地集约利用评价方法研究[J]. 自然资源学报,2007,22(5):775 - 782.
Yin J,Xie J Q,Wang L,et al. The evaluation of urban land intensive use based on RS[J]. Journal of Natural Resources,2007,22(5):775 - 782.

[13] 王 力,牛 铮,尹 君,等. 基于 RS 和 ANN 的城市土地集约利用潜力评价[J]. 重庆建筑大学学报,2007,29(3):32 - 35.
Wang L,Niu Z,Yin J,et al. Potential evaluation of land intensive use in metropolis based on RS and ANN[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University,2007,29(3):32 - 35.

[14] 李向朋. 缓解城市交通拥堵对策——封闭型小区交通开放研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2014.
Li X P. Urban traffic congestion countermeasures: Opening research of enclosed type district traffic[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology,2014.

[15] 吴瑞艳. 内蒙古中西部能源开发典型区——东胜区土地生态安全评价[D]. 内蒙古师范大学,2018.
Wu R Y. Study on land ecological security evaluation in DongSheng district: The typical area of energy development in central and western region of Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University,2018.

[16] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):105 - 111.
Zhuang D F,Liu J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China[J]. Journal of Natural Resources,1997,12(2):105 - 111.

[17] Robyn L,Kelli O'Neill. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems[J]. Pacific Conservation Biology,2000,6(3):274 - 274.

[18] Robert C,Ralph d'Arge,Rudolf de Groot,et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[M]. Nature,1997,387(6630):253 - 260.

[19] 严红萍,俞 兵. 主成分分析在遥感图像处理中的应用[J]. 资源环境与工程,2006,20(2):168 - 170.
Yan H P,Yu B. The principal component analysis for RS image processing[J]. Resources Environment & Engineering,2006,20(2):168 - 170.

[20] 吴 嵩,姜琦刚. 基于 RS 和 GIS 的小城市建设用地集约利用状况评价[J]. 中国人口资源与环境,2015,25(s1):53 - 57.
Wu S,Jiang Q G. Evaluation of intensive land use in the small city based on RS and GIS[J]. China Population,Resources and Environment,2015,25(s1):53 - 57.

[21] 苑 伟. 基于 GIS 的天津城镇土地级别调整与基准地价更新[J]. 山西建筑,2013,39(29):205 - 207.
Yuan W. On land level filtering and update of datum land price of towns in Tianjin based on GIS[J]. Shanxi Architecture,2013,39(29):205 - 207.

[22] 强 真,朱道林,毕继业. 城市基准地价合理性判别方法研究[J]. 中国土地科学,2005,19(1):56 - 61.
Qiang Z,Zhu D L,Bi J Y. Study on methods of judging the rationality of base land price[J]. China Land Science,2005,19(1):56 - 61.

[23] 安艺明,赵文武,姜广辉,等. 基于 MapGIS 地价系统的城镇土地定级研究——以德州市城区商服用地定级为例[J]. 中国农学通报,2013,(23):51 - 58.
An Y M,Zhao W W,Jiang G H,et al. Study on urban land grading based on the MAPGIS land price system: Taking the commercial land in Dezhou City for example[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2013(23):51 - 58.

[24] 聂 艳,周 勇,于 婧,等. 基于 GIS 和模糊物元分析法的农用地定级评价研究[J]. 农业工程学报,2004,20(5):297 - 300.

Nin Y, Zhou Y, Yu J, et al. Gradation of agricultural land based on GIS and the fuzzy – material analysis method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5): 297 – 300.

[25] 李龙华. 基于 GIS 的石泉县城镇土地基准地价评估研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
Li L H. Study on the assessment of Shiquan County town benchmark land price based on GIS[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.

[26] 盛艳蕊. 基于 GIS 的城镇土地定级和标定地价的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
Sheng Y R. Study of urban land grading and demarcated land price based on GIS[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007.

[27] 高 璐. 基于 GIS 的城镇土地定级与基准地价更新研究——以淄博市周村区为例[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
Gao L. Studies on the grade of cities land and the update of the datum land prices based on the GIS: A case of Zhoucun, Zibo City [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2013.

[28] 孙一鸣, 张宝钢, 吴其重, 等. 国产维景一号小卫星影像的城市裸地识别应用[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(1): 189 – 197. doi: 10.6046/zrzyyg.2021056.
Sun Y M, Zhang B G, Wu Q Z, et al. Application of domestic low – cost micro – satellite images in urban bare land identification[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(1): 189 – 197. doi: 10.6046/zrzyyg.2021056.

[29] 吴琳琳, 李晓燕, 毛德华, 等. 基于遥感和多源地理数据的城市土地利用分类[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(1): 127 – 134. doi: 10.6046/zrzyyg.2021061.
Wu L L, Li X Y, Mao D H, et al. Urban land use classification based on remote sensing and multi – source geographic data[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(1): 127 – 134. doi: 10.6046/zrzyyg.2021061.

Assessing intensive urban land use based on remote sensing images and industry survey data

WANG Haiwen[1,2,3], JIA Junqing[2], LI Beichen[2], DONG Yongping[4], HA Sier[4]

(1. *School of Geography Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot* 010010, *China*; 2. *Inner Mongolia Land and Space Planning Institute, Hohhot* 010010, *China*; 3. *Inner Mongolia Autonomous Region Land Use and Renovation Engineering Technology Research Center, Hohhot* 010010, *China*; 4. *Xi'an Changlin Fengcao Ecological Technology Co., Ltd., Xi'an* 710000, *China*)

Abstract: To scientifically evaluate the land suitability of urban functional areas and to accurately assess the intensive urban land use (IULU) in Hohhot City, this study built an indicator system by integrating the industry survey data and the features extracted from remote sensing images. Then, it assessed the urban function zoning and the IULU in Hohhot through quantification and integration based on land. The results show that 93.0% of the functional areas share common multivariate quantitative characteristics, indicating suitable functional orientation and land use. Moreover, this study built a high – precision multivariate regression model using remote sensing factors (i.e., the principal components of images and the proportions of the shadow and vegetation areas) and survey data (i.e., carbon stock, building density, and the land prices of residential and commercial functional areas). Then, the floor area ratio was calculated based on the model, thus achieving the quantitative assessment of the IULU. The results of this study show that the assessment of IULU based on remote sensing images and industry survey data is feasible and has value in popularization and applications.

Keywords: land resources; intensive urban land use; remote sensing; floor area ratio

(责任编辑: 李 瑜)