



松嫩平原西北部扎兰屯地区土地利用适宜性评价

高森¹, 陈彭^{1,2,3}, 孙浩¹, 荆元¹, 马骏驰¹, 汪春鹏¹

1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊 065000;

2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 3. 中国地质调查局华北地质科技创新中心, 天津 300170

摘要: 基于评价区自然资源现状, 利用 Logistic 回归模型和 GIS 技术对松嫩平原西北部扎兰屯地区土地利用进行适宜性评价。结果表明: 影响林地分布的指标主要为土层厚度、降雨量、坡向、坡度、高程; 影响草地分布的指标主要为土层厚度、道路距离、坡向; 影响耕地分布的指标主要为坡度、土层厚度、坡向、人口密度、高程。林地、耕地、草地 AUC 值分别为 0.961、0.938、0.755, 拟合程度良好。草地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 375.85 km², 占总面积的 20.11%; 耕地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 566.36 km², 占总面积的 21.25%; 林地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 5 449.91 km², 占总面积的 32.47%。

关键词: 适宜性评价; Logistic 回归; 土地利用; 松嫩平原

EVALUATION OF LAND SUITABILITY IN ZHALANTUN AREA, NORTHWESTERN SONGNEN PLAIN

GAO Sen¹, CHEN Peng^{1,2,3}, SUN Hao¹, JING Yuan¹, MA Jun-chi¹, WANG Chun-peng¹

1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China;

2. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

3. North China Center for Geoscience Innovation, CGS, Tianjin 300170, China

Abstract: Based on the current situation of natural resources in Zhalantun area of northwestern Songnen Plain, the land use suitability in the area is evaluated with logistic regression model and GIS technology. The results show that soil thickness, rainfall, slope aspect, slope gradient and elevation are the main indexes affecting the distribution of forest land; soil thickness, distance from roads and slope aspect for the distribution grassland; while slope gradient, soil thickness, slope aspect, population density and elevation, for the distribution of cultivated land. The AUC values of forest land, cultivated land and grassland are 0.961, 0.938 and 0.755, respectively, with good fitting degree. The highly suitable area in the grassland, cultivated land and forest land suitability zoning is 3 375.85 km², 3 566.36 km² and 5 449.91 km², accounting for 20.11%, 21.25%, and 32.47% of the total area, respectively.

Key words: suitability evaluation; logistic regression; land use; Songnen Plain

收稿日期: 2023-05-26; 修回日期: 2023-10-14. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“松嫩平原西北缘扎兰屯-扎赉特地区黑土地表基岩调查”(ZD20220108).

作者简介: 高森(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质、矿产地质调查以及资源与环境工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail// gaosen@mail.cgs.gov.cn

通信作者: 陈彭(1982—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事生态地质、地表基岩调查研究工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail// cpeng@mail.cgs.gov.cn

0 引言

土地利用适宜性评价主要包括自然、社会、经济等方面的内容^[1]. 当前学者通常在不同的区域选取不同指标采用多种方法开展土地利用适宜性评价, 而评价指标的筛选和指标权重的确定方法对土地适宜性评价的结果具有显著影响^[2]. 评价指标的筛选因地域和评价侧重点的不同而有不同的选取结果. 另一方面, 评价指标权重的计算方法可分为两类: 一是基于知识体系和经验的逻辑推理方法, 如层次分析法(AHP)、德尔菲法(Delphi)^[3-9]. 这一类方法的因子选择、得分和权重确定都来自知识与经验, 且评价过程很少基于反映实际历史趋势的评价数据^[10]. 二是基于数据挖掘的分析定权方法, 如神经网络方法、随机森林法、熵权法^[11-17]. 这类方法计算过程较为复杂, 在处理较多指标和较大区域的评价时运算量大^[18].

本文选取松嫩平原西北部扎兰屯地区作为研究区, 从林地、草地、耕地 3 种土地利用类型与自然环境、社会环境相关指标匹配关系的角度出发, 基于 Logistic 回归模型的客观性, 结合 GIS 技术对扎兰屯地区土地利用进行适宜性评价, 为该地区自然资源开发和国土空间规划提供科学依据, 也为其他类似研究提供借鉴与参考.

1 研究区概况

扎兰屯市位于内蒙古自治区东部, 地处大兴安岭与松嫩平原的过渡地带, 地理坐标 47°5′40″—48°36′34″N、120°28′51″—123°17′30″E, 海拔 184~1 708 m, 面积 16 784.3 km², 境内地势西高东低、北高南低(图 1). 区内主要有山地(中山、低山)、丘陵、平原和河谷 4 种地貌单元, 按其表面形态组合的自然分布, 可划分出中山分区、低山分区、丘陵分区和平原分区 4 个地貌分区^[19].

研究区属中温带大陆性季风气候. 气候特点是太阳辐射较强, 日照丰富. 冬季漫长, 严寒干冷. 夏季短而温热, 雨量集中. 无霜期短, 平均 114~121 d. 春季升温快, 秋天气温剧降. 西部和北部地区属于大兴安岭东部林缘温凉湿润—半湿润林牧业区, 东南部地区属于温暖半湿润农业区^[20]. 区内全年日照平均为 2 722 h, 平均气温 3.4 ℃, 10 ℃以上有效积温平均为 2 495 ℃. 全年平均降水量 510.7 mm, 降水主要集中在 6—9 月

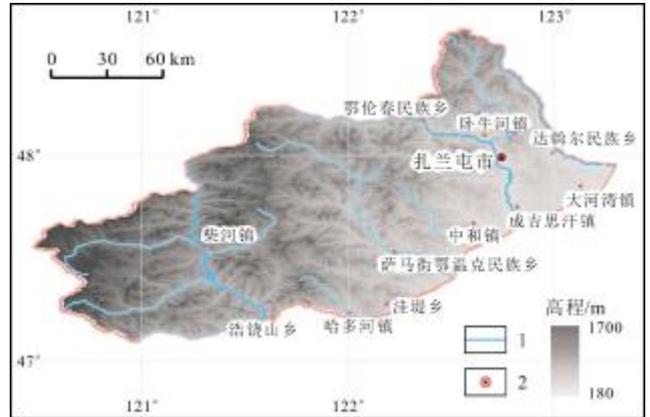


图 1 研究区地理地貌图

Fig. 1 Geographic and geomorphic map of the study area

1—河流(river); 2—城镇(city/town)

份. 年平均蒸发量 1 399.4 mm. 扎兰屯市境内河流密布, 水网发达, 形成音河、雅鲁河、济沁河、罕达尔河、绰尔河 5 个流域, 均属于嫩江水系右岸支流, 多年地表径流量 $24.13 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可利用量 $2.15 \times 10^8 \text{ m}^3$.

2 评价数据与方法

2.1 数据处理

本研究 Logistic 回归分析的数据主要有土层厚度、土地利用类型、人口密度、距道路距离、距水系距离、气温、降雨量、坡度、坡向、高程.

数据及来源: 1) 土地利用数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所的中国多时期土地利用遥感监测数据集; 2) DEM 来源于地理空间数据云的 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据; 3) 年均降水量、年均气温来源于美国国家气候数据中心; 4) 人口密度数据来源于国家地球系统科学数据中心共享服务平台; 5) 水系、道路数据下载自天地图; 6) 土壤厚度数据来源于地理遥感生态网科学数据注册与出版系统.

数据预处理: 坡度、坡向、高程、年均气温、降水数据、土层厚度、人口密度, 转化成 90 m 分辨率的栅格数据; 对道路网、河网水系数据, 利用欧式距离分析工具转化成 90 m 栅格数据, 以便于后期运算处理.

2.2 评价方法

2.2.1 评价步骤

土地利用适宜性评价分 4 个步骤进行: 1) 编制扎兰屯地区土地适宜性评价数据清单, 对数据进行标准化, 构建土地适宜性评价指标体系; 2) 进行 Logistic 回

归分析,根据结果对评价指标进行筛选和影响程度排序;3)受试者工作特征曲线(ROC)分析,进行模型验证;4)根据计算结果确定各评价因子权重,绘制扎兰屯土地利用适宜性评价图。

2.2.2 Logistic 回归模型

Logistic 分类模型是在一个因变量和多个自变量之间构建的回归关系,根据某个自变量的变化,预测区域内某一事件发生的概率^[21]。本研究基于 Logistic 回归模型构建扎兰屯地区土地利用类型(林地、草地、耕地)与可能驱动该利用类型发生变化因素(高程、坡度、坡向、土层厚度、气温、降雨量、人口密度、距水系距离、距道路距离)的回归模型,分析各影响因素对土地利用类型变化的影响程度。具体公式如下:

$$\text{logit}(p_i) = \ln \left[\frac{p_i}{1-p_i} \right] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_m x_m$$

$$p_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_m x_m)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_m x_m)}$$

式中: p_i 为区域内出现某种土地利用类型的概率; β_0 为回归模型常数项; β_1, \dots, β_m 为第 1, \dots, m 种影响因素的回归系数; x_1, \dots, x_m 为第 1, \dots, m 种影响因素。采用 ROC 曲线对于 Logistic 回归结果进行拟合度评价^[22],通过线下面积 A 值来反映拟合程度,当 $A > 0.75$ 时表明回归结果拟合效果能够满足要求^[23]。

2.2.3 适宜性评价

根据 Logistic 分类模型计算结果确定各指标权重,按以下公式分别计算林地、草地、耕地 3 种土地利用类型的综合适宜性指数^[24]:

$$Z = w_1 y_1 + w_2 y_2 + \dots + w_n y_n$$

式中: z 为综合适宜性指数; w_n 为第 n 个指标的权重; y_n 为第 n 个指标的标准化数据。

采用自然断点法将计算结果分为 4 级: 高度适宜(I)、适宜(II)、基本适宜(III)和不适宜(IV)。

3 结果分析

3.1 土地利用空间分布

中国科学院地理科学与资源研究所的土地利用数据中,研究区域土地利用共有 15 类:旱地、水体、水浇地、湿地、灌木林地、硬化地、稀疏植被、稀疏的落叶阔叶林、稀疏的落叶阔叶林、草原、落叶灌木林地、裸地、郁闭的常绿针叶林、郁闭的落叶阔叶林、郁闭的落叶阔

叶林。本研究将原有土地覆被类型按照一级地类代码进行重分类,重新划分成 4 个大类,分别是耕地、林地、草地和其他用地(图 2)。通过统计分析,研究区内土地利用类型以林地为主,耕地、草地次之,其中林地面积 11 106.44 km², 占总面积的 66.17%;耕地面积 2 836.39 km², 占总面积的 16.90%;草地面积 2 669.71 km², 占总面积的 15.91%;其他用地面积 171.46 km², 占总面积的 1.02%。

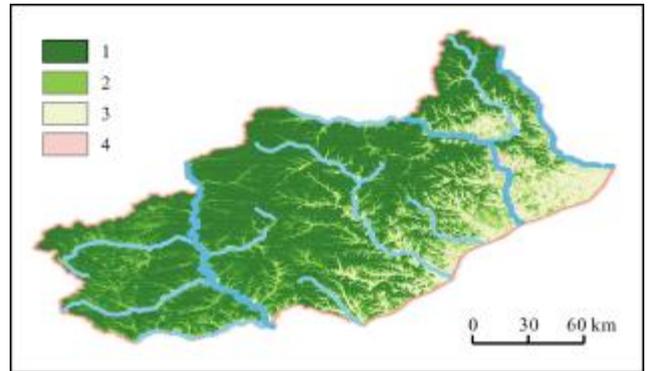


图 2 扎兰屯地区土地利用类型图

Fig. 2 Distribution map of land use types in Zhalantun area
1—林地(forest land); 2—草地(grass land); 3—耕地(cultivated land);
4—其他用地(other land uses)

3.2 Logistic 回归分析结果

土地利用类型受到自然与社会因素综合影响,二者所起的作用不同,自然因素在较短的时间里变化较小,而社会因素可能有较大的变化^[25]。本研究选取了自然和社会因素中的 9 个指标(图 3):高程、坡度、坡向、土层厚度、气温、降雨量、距水系距离、距道路距离、人口密度,对土地利用数据和评价因子进行 Logistic 回归分析(表 1)。

由表 1 可以看出,草地类型中各指标重要性排序为:土层厚度>距道路距离>坡向>降雨量>坡度>高程>人口密度>距水系距离>气温;耕地类型中:坡度>土层厚度>坡向>人口密度>高程>距道路距离>降雨量>距水系距离>气温;林地类型中:土层厚度>降雨量>坡向>坡度>高程>距道路距离>人口密度>气温>距水系距离。距水系距离和气温对林地、草地、耕地的影响很小,原因为研究区主要为丘陵区,气温差异性不明显,除一、二级支流外其余河流均为季节性河流。因此,水系和气温对土地利用类型影响程度较低,土层厚度、坡度、坡向对土地利用类型影响程度较为突出。

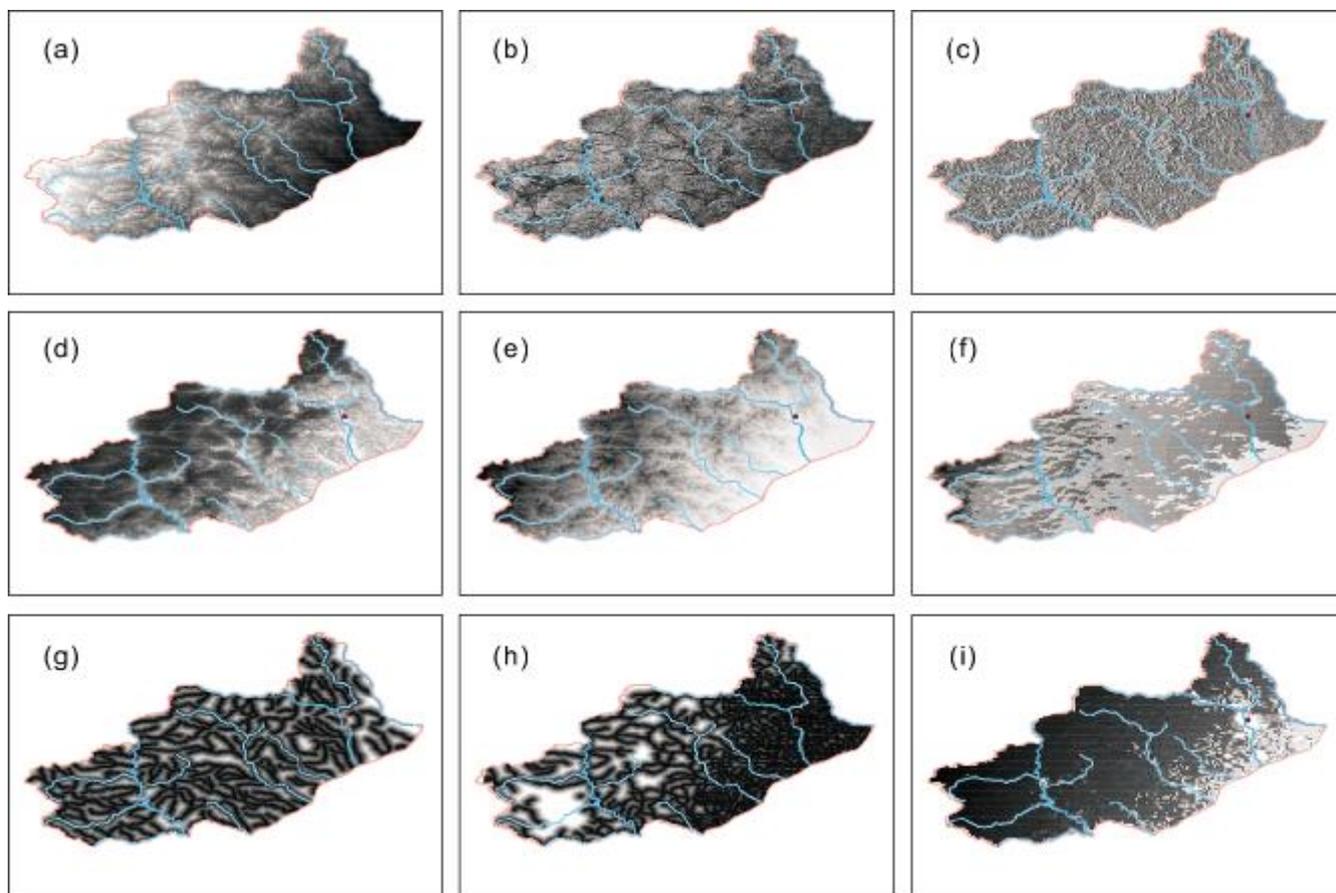


图3 适宜性评价指标体系

Fig. 3 Index system of suitability evaluation

a—高程(elevation); b—坡度(slope gradient); c—坡向(slope aspect); d—土层厚度(soil thickness); e—气温(temperature); f—降雨量(rainfall);
g—距水系距离(distance from rivers); h—距道路距离(distance from roads); i—人口密度(population density)

表1 Logistic 回归分析结果参数列表

Table 1 Results of logistic regression analysis

驱动力	草地		耕地		林地	
	回归系数	P	回归系数	P	回归系数	P
高程	0.39037	0.000***	-1.23257	0.000***	-4.24234	0.000***
坡度	-0.90789	0.000***	-10.73192	0.000***	4.33385	0.000***
坡向	-2.73847	0.000***	2.75661	0.000***	4.69190	0.000***
气温	-0.11240	0.000***	-0.09913	0.00010	0.38273	0.000***
降雨量	-2.14573	0.000***	0.34794	0.00104	6.34964	0.000***
距水系距离	0.26423	0.000***	-0.22589	0.000***	0.25610	0.000***
距道路距离	-2.95071	0.000***	-0.62598	0.000***	4.00546	0.000***
人口密度	0.37784	0.000***	-1.75278	0.000***	-0.55465	0.000***
土层厚度	-104.35083	0.000***	-5.08008	0.000***	-40.79570	0.000***

注:***、**、* 分别代表 1%、5%、10%的显著性水平。

计算 ROC 曲线线下面积, $AUC_{\text{草地}}$ 为 0.755, $AUC_{\text{耕地}}$ 为 0.938, $AUC_{\text{林地}}$ 为 0.961, 拟合度均大于 0.75, 且林地优于耕地优于草地。

3.3 适宜性评价

根据 Logistic 回归分析结果, 确定林地、草地、耕地适宜性各评价指标权重, 绘制适宜性评价图(图 4)。

草地、耕地、林地适宜性分区与扎兰屯自然资源分布现状有较高吻合度^[26]。草地主要分布在海拔较高的缓坡与坡度较小的沟谷处; 耕地适宜区主要分布在东部平原台地区域; 林地适宜区主要分布在西部坡度较大的山地丘陵区域。

草地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 375.85 km², 占总面积的 20.11%; 适宜+高度适宜区域面积为 7 992.55 km², 占总面积的 47.62%。草地适宜区主要控制因素为土层厚度、距道路距离、坡向、降雨量、坡度和高程。扎兰屯市草地分布现状与草地适宜性分区中适宜和高度适宜区差异较大的区域主要集中在西部。

耕地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 566.36 km², 占总面积的 21.25%; 适宜+高度适宜区域面积为 7 675.97 km², 占总面积的 45.73%。耕地适宜区主要控制因素为坡度、土层厚度、坡向、人口密度、高程、距道路距离。同整个扎兰屯区域相比, 地势越平缓、海拔越低越易被开发为耕地。

林地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 5 449.91 km², 占总面积的 32.47%, 适宜+高度适宜区域面积为 10 566.25 km², 占总面积的 62.95%。林地适宜区主要控制因素为土层厚度、降雨量、坡向、坡度、高

程, 坡度大、土层厚度较薄的山区较易被开发为林地。

4 讨论与结论

本研究将 Logistic 回归分析用于土地适宜性评价, 结果显示, 影响林地分布的指标重要性排名为: 土层厚度>降雨量>坡向>坡度>高程>距道路距离>人口密度>气温>距水系距离; 影响草地分布的指标重要性排名为: 土层厚度>距道路距离>坡向>降雨量>坡度>高程>人口密度>距水系距离>气温; 影响耕地分布的指标重要性排名为: 坡度>土层厚度>坡向>人口密度>高程>距道路距离>降雨量>距水系距离>气温。ROC 拟合程度良好, 林地、耕地、草地 AUC 值分别为 0.961、0.938、0.755, 拟合度耕地优于林地优于草地。草地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 375.85 km², 占总面积的 20.11%; 适宜+高度适宜区域面积为 7 992.55 km², 占总面积的 47.62%。耕地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 3 566.36 km², 占总面积的 21.25%; 适宜+高度适宜区域面积为 7 675.97 km², 占总面积的 45.73%。林地适宜性分区中, 高度适宜区域面积为 5 449.91 km², 占总面积的 32.47%; 适宜+高度适宜区域面积为 10 566.25 km², 占总面积的 62.95%。草地适宜区主要分布海拔较高的缓坡处, 耕地适宜区主要分布在东部平原台地区域, 林地适宜区主要分布在西部山地丘陵区域, 这与扎兰屯自然资源分布现状有较高吻合度。

根据此次适宜性评价结果和地形、降雨、水系、道路等因素, 将扎兰屯地区土地利用规划划分为两个区(图 5): 生活保障区和生态保障区。生活保障区主要分布在卧牛河镇—萨马街鄂温克民族乡—浩饶山镇—线

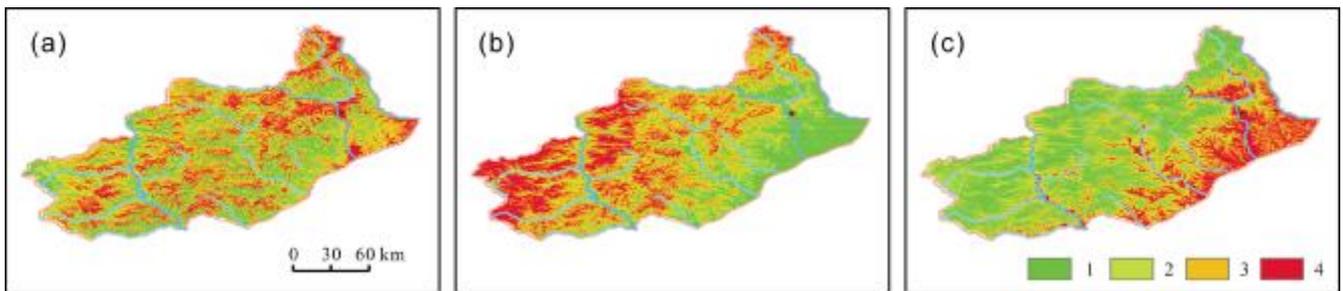


图 4 扎兰屯地区土地适宜性分区

Fig. 4 Land suitability zoning maps of Zalantun area

a—草地适宜性(grassland suitability); b—耕地适宜性(cultivated land suitability); c—林地适宜性(forest land suitability); 1—高度适宜(highly suitable); 2—适宜(suitable); 3—基本适宜(basically suitable); 4—不适宜(unsuitable)

的东南部,该区包含了扎兰屯市的主要人口,地势平坦,交通便利,土层较厚,适宜农业开发和生产生活,可以优先落实耕地保护目标任务,保障农业生产用地,在海拔较低的丘陵处可设置为林牧交错带.生态保障区主要分布在卧牛河镇—萨马街鄂温克民族乡—浩饶山镇一线的西北部,该区包含了扎兰屯域内主要的林地,主要为中低山区,海拔较高,人口稀少,背倚大兴安岭,可以设立生态保护红线空间,做好生态服务或生态产品为主体功能的国土空间的保护与利用,土地利用类型主要设置为林地,在坡度较缓的沟谷处,可适当设置农牧用地.

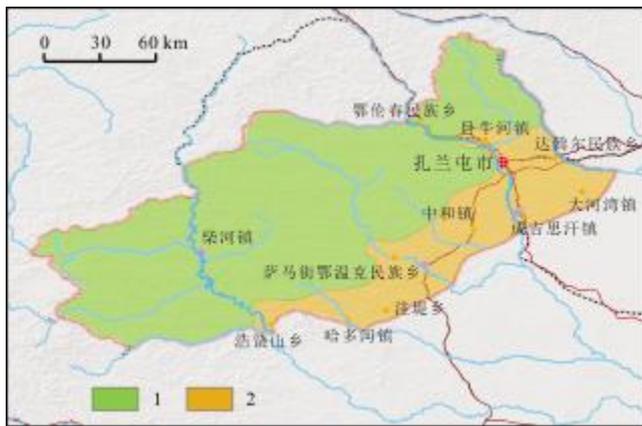


图5 扎兰屯地区国土空间规划建议图

Fig. 5 Suggested map for land space planning in Zhalantun area
1—生态保障区 (ecological security zone); 2—生活保障区 (living security zone)

参考文献 (References):

- [1]王奎博,闫敏,张丽,等.基于LandUSEM模型的海南岛海岸带土地利用适宜性评价[J].遥感技术与应用,2022,37(5):1140-1148.
Wang K B, Yan M, Zhang L, et al. Evaluation of land use suitability in the coastal zone of Hainan Island based on landUSEM[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(5): 1140-1148.
- [2]郑艺文,李福杰,刘晓煌,等.工业化背景下30年来中国东北地区自然资源时空变化及其生态环境效应[J].中国地质,2022,49(5):1361-1373.
Zheng Y W, Li F J, Liu X H, et al. Temporal and spatial variation of natural resources and their ecological environment effects in Northeast China in the past 30 years under the background of industrialization [J]. Geology in China, 2022, 49(5): 1361-1373
- [3]Kim H, Shim K. Land suitability assessment for apple (*Malus domestica*) in the Republic of Korea using integrated soil and climate information, MLCM, and AHP [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(2): 139-144.
- [4]翟文侠,黄贤金,张强,等.基于层次分析的城市开发区土地集约利用研究——以江苏省为例[J].南京大学学报(自然科学版),2006,42(1):96-102.
Zhai W X, Huang X J, Zhang Q, et al. Land intensive use in city development zones based on analytic hierarchy process: A case study of Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2006, 42(1): 96-102.
- [5]Syahid L N, Sakti A D, Virtriana R, et al. Determining optimal location for mangrove planting using remote sensing and climate model projection in Southeast Asia[J]. Remote Sensing, 2020, 12(22): 3734.
- [6]黄巧,彭玉玲,秦文杰.老挝沙湾水经济区土地利用适宜性评价[J].国土资源遥感,2018,30(4):156-162.
Huang Q, Peng Y L, Qin W J. Research on land use suitability evaluation: A case study of Savan water economic zone in Laos [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2018, 30(4): 156-162.
- [7]刘韵雅,张文秀.四川省土地可持续利用评价——基于德尔菲法[J].农村经济与科技,2014,25(2):14-15.
Liu Y Y, Zhang W X. Evaluation of sustainable land use in Sichuan Province: Based on the Delphi method [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2014, 25(2): 14-15. (in Chinese)
- [8]Bagheri M, Zaiton I Z, Mansor S, et al. Land-use suitability assessment using Delphi and analytical hierarchy process (D-AHP) hybrid model for coastal city management: Kuala Terengganu, Peninsular Malaysia[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(9): 621.
- [9]陈根良.湿地资源质量评价方法——以湖南东洞庭湖国际重要湿地为例[J].测绘通报,2022(3):28-31,82.
Chen G L. Quality evaluation method of wetland resources: A case study the international important wetlands of East Dongting Lake in Hunan Province [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2022(3): 28-31, 82.
- [10]卢东标.基于决策树的数据挖掘算法研究与应用[D].武汉:武汉理工大学,2008.
Lu D B. Research and application on the data mining algorithm based on decision tree [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [11]Wang F. The use of artificial neural networks in a geographical information system for agricultural land-suitability assessment [J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 1994, 26(2): 265-284.
- [12]叶云,赵小娟,胡月明.基于GA-BP神经网络的珠三角耕地质量评价[J].生态环境学报,2018,27(5):964-973.
Ye Y, Zhao X J, Hu Y M. Evaluation of cultivated land quality in Pearl River Delta based on GA-BP neural network [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(5): 964-973.
- [13]Ding W J, Wang R Q, Wu D Q, et al. Cellular automata model as an intuitive approach to simulate complex land-use changes: An

- evaluation of two multi-state land-use models in the Yellow River Delta[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2013, 27(4): 899-907.
- [14] Wang Y, Feng Z K, Ma W Y. Analysis of tree species suitability for plantation forests in Beijing (China) using an optimal random forest algorithm[J]. *Forests*, 2022, 13(6): 820.
- [15] Pimenta F M, Speroto A T, Costa M H, et al. Historical changes in land use and suitability for future agriculture expansion in Western Bahia, Brazil[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(6): 1088.
- [16] 张蕾, 齐伟, 杜腾飞, 等. 基于熵权法的土地多功能利用评价——以淄博市为例[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(3): 31-36.
Zhang L, Qi W, Du T F, et al. Multi-purpose land use evaluation based on entropy weight method: Taking Zibo City as an example[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(3): 31-36.
- [17] 曹竞文, 李淑杰, 李高行, 等. 基于 PSR 模型和熵权法的扶余市城市土地集约利用评价[J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 2019, 51(1): 125-132.
Cao J W, Li S J, Li G H, et al. Evaluation of land intensive use of Fuyu City based on PSR model and the entropy weight method[J]. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 2019, 51(1): 125-132.
- [18] 谭衢霖. 鄱阳湖湿地生态环境遥感变化监测研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2002.
Tan Q L. Study on remote sensing change detection and its application to Poyang international importance wetland[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2002.
- [19] 周立宏, 宋丽瑛, 王洪丽, 等. 扎兰屯地区近 30 年气象条件变化及与作物产量的关系[J]. *气象*, 2006, 32(8): 113-117.
Zhou L H, Song L Y, Wang H L, et al. Relationship between crops output and changes of meteorological conditions in Zhalantun area for recent 30 years[J]. *Meteorological Monthly*, 2006, 32(8): 113-117.
- [20] 郝世文. 扎兰屯市林业工程建设对森林资源的影响分析[J]. *内蒙古林业调查设计*, 2015, 38(1): 83-85.
Hao S W. Analysis of the impact of forestry engineering construction on forest resources in Zhalantun City[J]. *Inner Mongolia Forestry Investigation and Design*, 2015, 38(1): 83-85. (in Chinese)
- [21] 蒙吉军, 严汾, 赵春红. 大城市边缘区土地利用变化模拟研究——以北京市昌平区为例[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2010, 18(2): 197-208.
Meng J J, Yan F, Zhao C H. Land use change simulation on the edge of metropolis: A case study of Changping District in Beijing[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2010, 18(2): 197-208.
- [22] 王海军, 孔祥冬, 张勃. 祁连山黑河山区土地适宜性评价[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(5): 1440-1446.
Wang H J, Kong X D, Zhang B. Suitability evaluation of the lands in Heihe mountainous areas in the Qilian Mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(5): 1440-1446.
- [23] 刘艺梁, 殷坤龙, 刘斌. 逻辑回归和人工神经网络模型在滑坡灾害空间预测中的应用[J]. *水文地质工程地质*, 2010, 37(5): 92-96.
Liu Y L, Yin K L, Liu B. Application of logistic regression and artificial neural networks in spatial assessment of landslide hazards[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2010, 37(5): 92-96.
- [24] 易小波. 六道沟流域土地适宜性评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
Yi X B. Land suitability evaluation in Liudaogou watershed[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012.
- [25] 张明. 土地利用结构及其驱动因子的统计分析——以榆林地区为例[J]. *地理科学进展*, 1997, 16(4): 19-26.
Zhang M. A statistical analysis on land use structure and its driving forces: Taking Yulin Prefecture as an example[J]. *Progress in Geography*, 1997, 16(4): 19-26.
- [26] 陈彭, 侯红星, 马骏驰, 等. 低山丘陵区黑土地地表基质调查研究思路——以扎兰屯地区为例[J]. *中国国土资源经济*, 2023, 36(2): 81-89.
Chen P, Hou H X, Ma J C, et al. Investigation and research idea on black soil surface matrix in low mountain and hilly regions: A case study of Zhalantun area[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2023, 36(2): 81-89.