

基于像元尺度的移民区资源承载力评价模型及应用

——以宁夏红寺堡区为例

郭慧秀, 贾科利* (宁夏大学资源环境学院, 宁夏银川 750021)

摘要 [目的]利用 GIS 技术从社会经济发达度和可利用资源两方面构建基于像元尺度的资源承载力综合评价模型。[方法]监测局部区域的资源承载力状况并分析空间变化趋势,以红寺堡区为例研究其资源承载力状况。[结果]红寺堡区资源承载力存在明显的区域差异,中部地区承载力较高,南部地区承载力较低,符合红寺堡区资源开发与利用现实状况。[结论]基于像元尺度的资源承载力评估模型能够将评价单元细化到像元尺度,有利于弥补传统评价方法无法反映区域内部异质性的不足。

关键词 移民区;像元尺度;资源承载力;红寺堡区

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)14-046-04

Assessment Model for Resource Carrying Capacity in Immigrant Area Based on Pixel Scale and Its Application——A Case Study of Hongsibao Region in Ningxia

GUO Hui-xiu, JIA Ke-li* (College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract [Objective] The comprehensive evaluation model for resource carrying capacity based on pixel scale was constructed from two aspects of economic development degree and available resource by using GIS technology. [Method] The status of resource carrying capacity in local region was monitored and spatial variation trend was analyzed. With Hongsibao Region as example, resource carrying capacity was studied. [Result] There were significant regional differences, the carrying capacity of the central region was higher and southern region was lower, which is in accordance with the reality of resource development and utilization in Hongsibao Region. [Conclusion] Resource carrying capacity evaluation model based on pixel scale can refine evaluation unit, which is conducive to make up for the deficiency that the traditional evaluation method can't reflect the regional internal heterogeneity.

Key words Immigrant area; Pixel scale; Resource carrying capacity; Hongsibao Region

资源承载力是区域资源占有与利用、供给与需求关系的定量表达,是人类生存与发展的基础^[1-3],党的十八大报告将资源安全提升到国家战略,纳入小康社会建设总体布局。在全国总体生态功能区划中,西北生态脆弱移民区地处草原生态系统和荒漠生态系统的过渡区域,有限资源与持续移民迁入之间的矛盾日益突出,资源承载力成为衡量移民区人口基本生存和发展支撑能力的重要指标^[3]。因此,开展生态脆弱移民区资源承载力状况准确客观的评估对推动区域资源可持续利用、保障移民区经济社会可持续发展具有重要的理论和现实意义。目前,学术界围绕区域资源承载力综合评估开展了较为广泛的讨论,方法集中在利用统计数据通过数学方法做以行政区划为单位的平均值评价:段新光等^[4]应用模糊综合评判模型评价了新疆水资源承载力的现状平均值变化;王长健等^[5]利用改进的相对资源承载力模型对塔里木河流域从行政区划单位对 42 个区县的相对资源承载力进行了比较;周亮广等^[6]利用主成分分析和熵值结合的方法对贵阳市水资源承载力的区域综合得分和今后发展进行了预测;此外,徐朗等^[7]、姜秋香等^[8]、张军等^[9]、周亮广等^[10]分别利用熵值法、层次分析法、生态足迹法对江苏省、三江平原、疏勒河流域和贵阳地区的资源承载力现状进行了行政单元平均值评估。纵观以往研究,虽然视角不同,量化方法各异,但均以行政区为评价单位进行了深入的研究,从而使移民区资源承载力评价单元细化研究具有一定的科学实践意义。笔者

利用 GIS 技术,建立社会经济-资源综合评价模型,探索以像元为评估单位的资源承载力评价模型,并以宁夏红寺堡区为例进行实证分析,旨在为移民区资源承载力定量评估工作提供新的思路和方法。

1 资源承载力评价模型

移民区资源承载力评价综合模型由社会经济发达度模型和可利用资源评估模型 2 部分组成。其中,社会经济发达度包括人口聚集度和经济发达度 2 个评价指标,可利用资源包括可利用土地资源和可利用水资源 2 个评价指标,评价指标体系见图 1。

1.1 社会经济发达度模型

1.1.1 人口集聚度评价模型。人口集聚度模型用来评价研究区人口的集聚程度,人口集聚程度越高社会经济越发达,反之发展程度越低。

(1)人口集聚度模型。人口集聚度(Population Concentration, PC)主要考虑研究区的人口密度和流动强度 2 个指标。人口密度(Population Density, PD)是指研究区内单位面积居住的常住人口数量,流动强度(Flow Intensity, FI)是指研究区内移民的迁入迁出状况。构建人口集聚度模型,并进行归一化处理:

$$PC = PD * FI$$

$$PC_1 = (PC - PC_{\min}) / (PC_{\max} - PC_{\min}) \quad (1)$$

(2)技术计算过程。①人口密度。人口密度体现区域人口的聚集程度,由于人口的分布是以村庄、乡镇为聚居中心,距离村镇中心越近密度越大,且居民点是渐变而非离散,所以利用网格技术将研究区划分为若干等面积的网格,以每个网格为计算中心,利用核函数密度制图的方法,对研究区进

基金项目 教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJCZH059);宁夏大学研究生创新项目(GIP2015004)。

作者简介 郭慧秀(1989-),女,山西大同人,硕士研究生,研究方向:空间信息分析。*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事遥感与空间分析。

收稿日期 2016-04-06

行圆形搜索。②流动强度。移民区村镇行政边界变化快,不能以某年行政区划作为计算对象,所以利用网格技术将多年人口变化数据以当年的行政中心进行离散点插值,使每一个

像元都具备多年人口变化数据,并利用栅格计算功能计算出网格的人口变化强度。

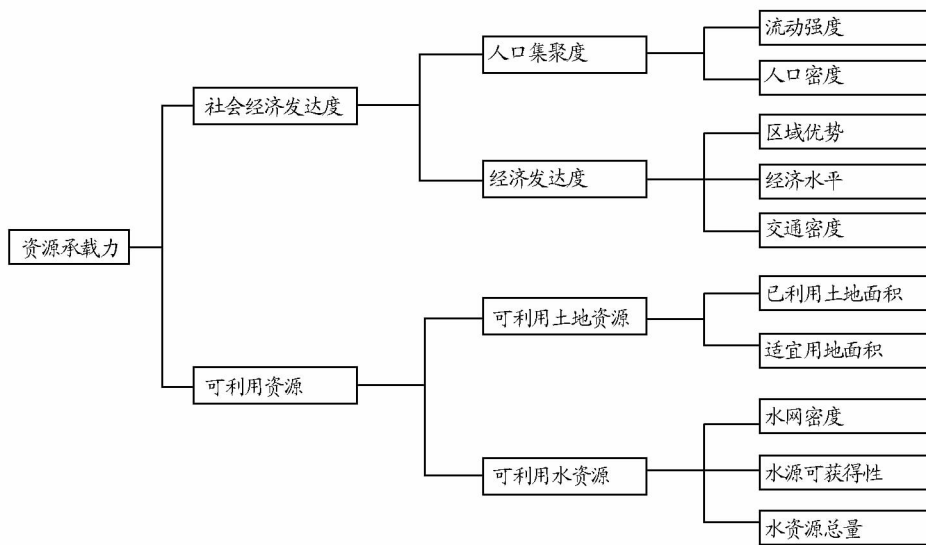


图1 资源承载力指标体系

Fig.1 The index system of resource carrying capacity

1.1.2 经济发达度评价模型。

(1)经济发达度模型。经济发达度(Economically developed Level, EDL)反映研究区经济的发展水平状况,通过经济水平(Economic Level, EL)、区位优势(Location Advantage, UI)以及交通密度(Traffic Density, TD)叠加运算并进行归一化处理。

(2)技术计算过程。①经济水平。是指研究区经济总量与人口数量的比值,一般利用行政区划进行平均值运算导致整个区域的经济水平不连续。所以,该研究采用克里金栅格插值技术,以乡村的平均经济数据进行插值生成一个以像元为单位的连续表面。②区位优势。区位优势(UI)是指区域社会经济发展的位置优势,随着距经济中心距离增加而逐渐下降,经济发达程度随之下降^[11-12]。但由于同一区域可能处于几个经济中心的影响之下,存在叠加影响,所以要利用GIS的距离制图功能计算网格距每一个经济中心的距离,再对这些数据进行叠加,建立区位优势度模型和归一化处理:

$$UI = \sum g(x)$$

$$g(x) = ax + max$$

$$UI_1 = (UI - UI_{min}) / (UI_{max} - UI_{min}) \quad (2)$$

式中, $g(x)$ 表示计算单元距经济中心的距离, $a(a < 0)$ 表示经济中心影响度衰减系数,随距离增加而减小。 MAX 代表经济中心的赋值,经济水平越高赋值越大。 UI_1 是归一化之后的区位优势度。

(3)交通密度。交通密度(TD)是指研究区内交通网(铁路、公路、水路)的密集程度以及通达性,交通线路越密集代表该地通达性越好,经济发展水平越高。利用GIS技术的密度制图功能,建立研究区交通路线的矢量图数据库,以一定距离R为半径进行搜索,将搜索到的所有交通线路长度之和

相加,即该网格的交通网密度。建立交通密度计算模型,并进行归一化处理:

$$TD = L/S$$

$$TD_1 = (TD - TD_{min}) / (TD_{max} - TD_{min}) \quad (3)$$

式中, L 代表研究区内所有交通线路的长度之和, S 为以R为搜索半径的搜索单元的面积, TD_1 是归一化之后的交通密度。

1.1.3 社会经济发达度评价模型。采用平方根的方法计算在人口集聚度和经济发达度共同影响下的研究区社会经济发展状况。建立社会经济发达(Socio-Economic Capacity, SEC)评价模型,并进行归一化处理:

$$SEC = \sqrt{PC^2 + EDD^2}$$

$$SEC_1 = (SEC - SEC_{min}) / (SEC_{max} - SEC_{min}) \quad (4)$$

利用GIS中的栅格运算进行模型的运算,得到研究区社会经济承载力评价结果,并将最后的结果进行归一化和重分类。

1.2 可利用资源状况评价模型

1.2.1 可利用土地资源评价模型。根据《全国主体功能区划》^[13-15]中技术规程规定,可利用土地是指研究区内为社会经济发展而开发或者继续利用的土地,不包括研究区内已经被开发利用的土地。其中,适宜建设用地面积不包括不适宜利用的坡度、海拔高度、水体荒漠戈壁区域和退耕还林还草区域^[16-18];已利用建设用地面积包括研究区已被开发的城镇建设用地、居民点用地、基本农田建设用地、工矿用地、交通建设用地等用地类型^[19-20]。构建可利用土地资源评价(Land supporting Capacity, LC)模型:

$$LC = AL - UL - BF$$

$$LC_1 = (LC - LC_{min}) / (LC_{max} - LC_{min}) \quad (5)$$

式中, AL 表示研究区适宜建设用地面积, UL 表示已有建设土地面积, BF 表示基本农田建设用地面积。

(2) 技术计算流程。①适宜坡度、高度提取。利用数字高程模型(DEM)提取研究区坡度分级图和高度分级图,将研究区坡度按照 $<4^\circ$ 、 $4^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $>25^\circ$ 分为5个等级,同时将研究区高度按照 $<1\ 300$ 、 $1\ 300 \sim 1\ 800$ 、 $1\ 800 \sim 2\ 000$ 、 $2\ 100 \sim 3\ 000$ 、 $>3\ 000$ m分为5个等级,并分别赋值为1、2、3、4、5。利用GIS提取 25° 以下和高度 $3\ 000$ m以下的研究区区域,进行交集叠加运算作为后期运算的底图。②自然保护区面积提取。利用研究区有关自然保护区划分图,通过GIS矢量工具建立自然保护区的矢量数据库,并进行栅格化处理并赋予较低的值。③用地类型提取。利用ERDAS软件监督分类,将研究区内土地分为林地、草地、水域、建设用地、农田、荒漠和交通道路建设7个土地利用类型,并结合研究区实际的用地现状图以及Googleearth实景观测对分类结果进行验证。④基本农田面积。根据我国《省级主体功能区划分技术规程》规定,基本农田是指研究区内部适宜建设用地中的耕地面积,基本农田面积=(适宜建设用地内)耕地面积 $\times \beta$ (β 取0.8)。⑤通过GIS叠加运算保证可利用土地坡度小于 25° ,高度小于 $3\ 000$ m,且适宜建设不含基本农田的土地类型,最后与自然保护区面积进行叠加融合,生成可利用土地资源分布。

1.2.2 可利用水资源评价模型。可利用水资源是指研究区内可供经济社会发展利用的水资源量,体现水资源对本地可持续发展的有效支撑能力。综合考虑研究区水资源总量、水网密度以及像元距水源地的距离3个影响因素。

(1) 可利用水资源评价模型。由于研究区可利用水资源(Available water Resources, AW)包括水资源总量(Water resources, WR)、水网密度(Water network Density, WN)、水源可获得性(Water source Distance, WD)3个正向评价指标,所以建立基于以上3个指标的可利用水资源评价模型,并进行归一化处理。

$$AW = \sqrt[3]{WR * WN * WD}$$

$$AW_1 = (AW - AW_{min}) / (AW_{max} - AW_{min}) \quad (6)$$

(2) 技术计算流程。①水资源总量。由于水资源总量来源于统计数据,若按照行政区计算平均值的结果是离散非连续的,为方便运算以采样点为中心进行插值运算,使每一个像元都拥有不同的值参与后期运算^[21-22]。②水源可获得性。水源可获得性指评价单元距离水源地的远近,随距离增加获取水资源能力下降。由于距离水源地1 km的范围内,农业灌溉和生产生活用水可以获取,利用研究区DEM和GIS水文分析工具求研究区河流数据并进行矢量化处理后建立河流1 km缓冲区栅格,再计算像元距离水源地的距离后标准化。③水网密度。评价区域的水网密度是指单元内河流数量的密集程度,密度越大研究区内的可利用水资源越丰富。根据矢量化的研究区水网数据并利用GIS工具密度制图工具计算每个像元的水网密度值。

1.2.3 可利用资源评价模型。研究区可利用资源(Available Resources, AR)包括可利用土地资源和可利用水资源两部分,每一个像元同时受土地资源和水源的限制,资源中的

最小值是限制该区域发展潜力的决定因素。

(1) 可利用资源评价模型。根据最小值法,建立可利用资源的最小值模型并进行归一化处理。

$$AR = \min(LC, AW)$$

$$AR_1 = (AR - AR_{min}) / (AR_{max} - AR_{min}) \quad (7)$$

(2) 技术计算流程。根据式(7),利用GIS软件栅格计算工具计算每一个像元可利用资源的最小值,得到研究区像元尺度的可利用资源状况。

1.3 资源承载力评价模型 移民区资源承载力(Resource carrying Capacity, RC)评价模型包括正向指标可利用资源和负向指标社会经济发达度,建立评价模型,并进行归一化处理。

$$RC = \frac{AR}{SEC}$$

$$RC_1 = (RC - RC_{min}) / (RC_{max} - RC_{min}) \quad (8)$$

2 案例研究

2.1 研究区概况 红寺堡自1998年正式列为国家重点生态移民项目以来,截至2014年搬迁安置贫困人口18.96万人,所辖4个乡镇,59个行政村,是全国最大的生态脆弱移民区。红寺堡地处黄土沟壑区向干草原的过渡地带,地形平坦开阔,由东南向西北倾斜。自然水系少,可利用地表水主要以引黄灌溉的沟渠为主。随移民大量迁入,区内人口与可利用资源呈现不协调的发展态势,资源承载力与人口高速增长之间的矛盾日益尖锐。根据上述模型,红寺堡区资源承载力指研究区内可利用资源对社会经济的承载能力。

2.2 评价结果

2.2.1 社会经济发达度评价。根据社会经济发达度评价模型(4),将人口集聚度和经济发达度2个指数进行开方运算得到每一个像元的社会经济发达度数据,评价结果见图2。由图2可知,红寺堡区中西部镇区及其周边有片状高值区域,北部交通密集区带状高值区域,南部特别是东南部是连片社会经济低值区。红寺堡镇整体社会经济发达度最高,太阳山镇和大河乡次之,南川乡发达度最低。

2.2.2 可利用土地资源评价。根据评价模型(5),研究区的可利用土地资源指在研究区适宜建设用地面积中剔除掉已有建设用地面积和基本农田建设用地面积。

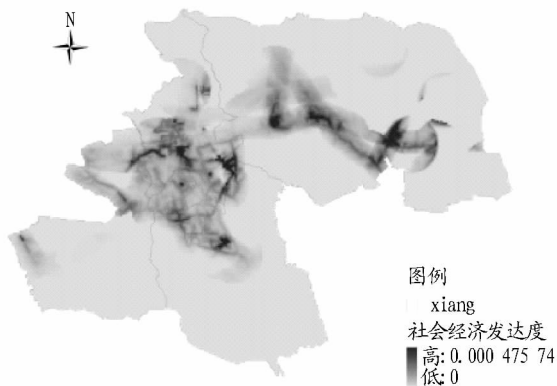


图2 红寺堡区社会经济发达度

Fig. 2 Social economic development of Hongsibao

由图 3 可知,红寺堡区可利用土地资源总量不大且分布不均,西北部局部地区和东北部局部地区可利用面积较大,东南部和北部局部区域可利用程度成片低值。其中,红寺堡区西北部可利用土地资源较丰富,镇区中部和东南部可利用土地资源较少;太阳山镇东南部可利用土地资源丰富但北区域出现明显低值;南川乡大罗山区域和西南山区可利用土地资源匮乏;大河乡沿河荒漠戈壁出现可利用土地资源 0 区域,总体可利用程度低。

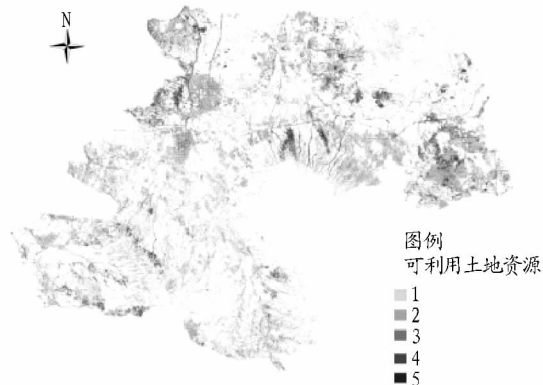


图 3 红寺堡区可利用土地资源

Fig. 3 Available land resources of Hongsibao

2.2.3 可利用水资源评价。根据评价模型(6),研究区可利用水资源同时受缓冲区、河流密度和人均水资源量的影响,将结果图叠加运算得到研究区可利用水资源分布结果(图 4)。由图 4 可知,红寺堡区东北部可利用水资源较多,其中,太阳山镇中部出现高值。西南部可利用水资源较低,其中,红寺堡镇中心可利用程度较高。

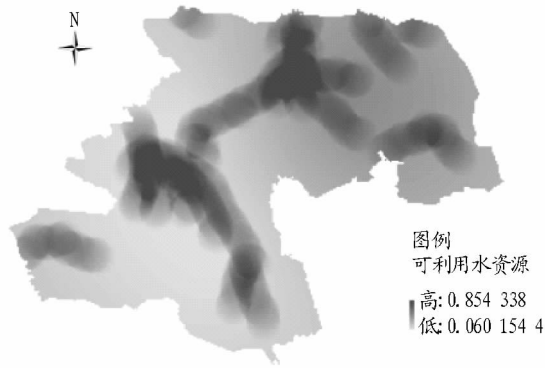


图 4 红寺堡区可利用水资源

Fig. 4 Available water resources of Hongsibao

2.2.4 资源承载力评价。红寺堡区资源承载力指可利用资源对社会经济的承载程度,根据模型(6)得到资源承载力评价结果(图 5)。由图 5 可知,红寺堡区资源承载力分布存在地区差异,中部地区承载力较高,南部和东北部地区出现承载力低值区域。其中,红寺堡镇是该区资源承载力的高值区域,镇区南部承载力较高,北部居民区集中地区承载力较低;太阳山镇西南部资源承载力较高,东部地区承载能力差;南川乡北部可利用水资源丰富的地区资源承载力较高,西南部和东部山区承载能力较差;大河乡整体资源承载力较高,但

乡东部承载力出现低值。

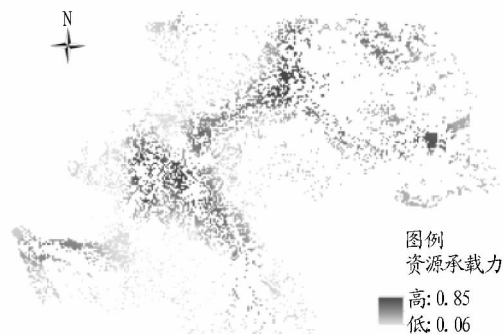


图 5 红寺堡区资源承载力

Fig. 5 Resources carrying capacity of Hongsibao

3 结论与讨论

(1)该研究利用 GIS 技术建立包括社会经济发达度和可利用资源的承载力评价模型,将移民区资源承载力现状评价单元细化至像元。通过实证分析结果看,评价过程较简便,结果相对客观,能够反映区域内部的差异性,基本符合红寺堡区资源开发与利用现状。

(2)该研究获得的评价结果有一定的不确定性,主要原因:①可利用资源评价仅涉及土地和水 2 种最基本的资源,在具体评价工作中应更多考虑矿产资源、森林、旅游等影响因素;②统计数据利用插值技术处理成空间数据时会有一定偏差,影响精确性。

参考文献

- [1] 孟岩,赵庚星,程晋南,等. 基于 MODIS 遥感数据和 GIS 的山东省生态环境状况评价[J]. 中国生态农业学报,2008,16(4):1020-1024.
- [2] 张军驰. 西部地区生态环境治理政策研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [3] 臧正,郑德凤,孙才志. 区域资源承载力与资源负荷的动态测度方法初探:基于辽宁省水资源评价的实证[J]. 资源科学,2015(1):52-60.
- [4] 段新光,栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. 中国人口·资源与环境,2014(S1):119-122.
- [5] 王长建,杜宏茹,张小雷,等. 塔里木河流域相对资源承载力[J]. 生态学报,2015(9):2880-2893.
- [6] 周亮广,梁虹. 基于主成分分析和熵的喀斯特地区水资源承载力动态变化研究:以贵阳市为例[J]. 自然资源学报,2006(5):827-833.
- [7] 许朗,黄莺,刘爱军. 基于主成分分析的江苏省水资源承载力研究[J]. 长江流域资源与环境,2011(12):1468-1474.
- [8] 姜秋香,付强,王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异[J]. 农业工程学报,2011(9):184-190.
- [9] 张军,张仁陟,周冬梅. 基于生态足迹法的疏勒河流域水资源承载力评价[J]. 草业学报,2012(4):267-274.
- [10] 周亮广,梁虹. 基于主成分分析和熵的喀斯特地区水资源承载力动态变化研究:以贵阳市为例[J]. 自然资源学报,2006(5):827-833.
- [11] 徐明德,王森. 基于道路和城镇的区位优势度分析[J]. 世界地理研究,2009(4):91-99.
- [12] 王昆,王珊,孔宛娟,等. 基于空间分析的区位优势度模型及其应用分析[J]. 林业调查规划,2013(2):13-19.
- [13] 全国主体功能区规划[A]. 2010-12-21.
- [14] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要(2006-2010年)[A]. 2006-03-19.
- [15] 国务院关于编制全国主体功能区规划的意见[Z]. 2007-08-07.
- [16] 徐勇,汤青,樊杰,等. 主体功能区划可利用土地资源指标项及其算法[J]. 地理研究,2010(7):1223-1232.
- [17] 李强. 基于 GIS 的黄土高原南部地区土地资源利用与优化配置研究[D]. 西安:陕西师范大学,2012.

50、60 mg/L时, C_e 为 2.8、4.7、9.7、17.1、23.8 mg/L, q_e 为 4.3、6.3、7.6、8.2 和 9.0 mg/g。对试验结果采用经典的 Langmuir 吸附等温式和 Freundlich 吸附等温式^[6]进行线性拟合,并计算相关参数,结果 Langmuir: q_m 19.3 mg/g, K_L 0.049, $R^2 = 0.988$,

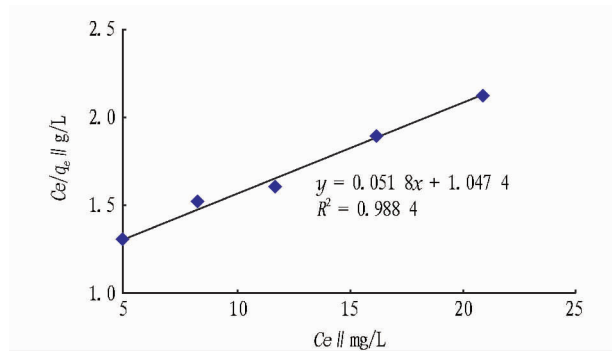


图6 吸附剂对 Cu^{2+} 的 Langmuir 吸附等温线

Fig.6 Langmuir adsorption isotherm of biosorbent to copper ion

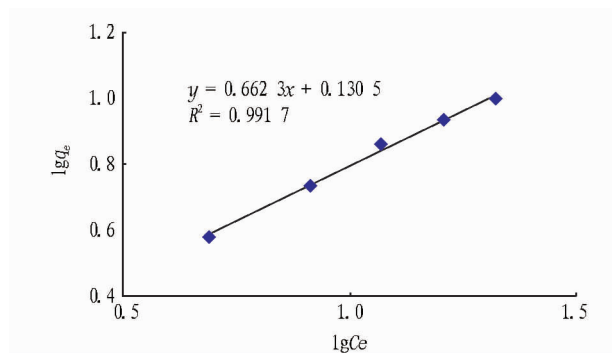


图7 吸附剂对 Cu^{2+} 的 Freundlich 吸附等温线

Fig.7 Freundlich adsorption isotherm of biosorbent to copper ion

Freundlich: $1/n = 0.66$, $K_F = 1.14$, $R^2 = 0.992$ 。吸附等温线见图6、7。

由图6、7可知, Bio-matrix 吸附剂对 Cu^{2+} 的吸附等温线与 Freundlich 方程有较好的拟合性, 相关系数 R^2 大于 0.99, 而 Langmuir 方程对 Cu^{2+} 的吸附等温线的拟合度稍差。由此可以推论吸附剂表面对 Cu^{2+} 的吸附不是单层吸附, 可能是不均匀表面的多层吸附模式, 饱和吸附量约为 19.3 mg/g。

3 结论

(1) 生物吸附剂 Bio-matrix 处理 200 mL 初始浓度均为 50 mg/L 的 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cr^{3+} 混合重金属废水, 吸附剂最佳用量为 0.8 g, 3 h 可达到吸附平衡, 且 Bio-matrix 对混合废水中 Cu^{2+} 的吸附量高于 Ni^{2+} 和 Cr^{3+} 。

(2) 废水 pH 对 Bio-matrix 吸附效果影响较大, 在 pH4 左右时对重金属的单位吸附量最大, 温度对吸附基本无影响。

(3) 生物吸附剂 Bio-matrix 对 Cu^{2+} 的吸附符合 Freundlich 等温吸附模式, 在室温条件下, 饱和吸附容量为 19.3 mg/g。

参考文献

- [1] 崔志新, 任庆凯, 艾胜书, 等. 重金属废水处理及回收的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12F): 375-377.
- [2] YAO Z Y, QI J H, WANG L H. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the biosorption of Cu(II) onto chestnut shell[J]. Journal of hazardous materials, 2010, 174(1/2/3): 12-19.
- [3] 钱翌, 刘依, 褚衍洋. 以花生壳为生物吸附剂去除水中重金属的研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35): 293-299.
- [4] SUN Q, YANG L. The adsorption of basic dyes from aqueous solution on modified peat-resin particle[J]. Water Res, 2003, 37(7): 1535-1544.
- [5] 栾兆坤, 汤鸿霄. 尾矿砂颗粒表面特征与吸附作用研究: II. 尾矿砂对重金属的吸附作用[J]. 环境科学, 1993, 12(5): 356-364.
- [6] 罗仙平, 李健昌, 严群, 等. 处理低浓度氨氮废水吸附材料的筛选[J]. 化工学报, 2010, 61(1): 216-221.

(上接第 49 页)

- [18] 王丽丽. 基于 GIS 的庆阳市可利用土地资源评价研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [19] 覃发超, 刘丽君, 张斌. 基于 RS 和 GIS 的西藏可利用土地资源评价[J]. 统计与决策, 2009(23): 77-79.
- [20] 王丽丽, 王永刚, 盖艾鸿. GIS 支持下可利用土地资源研究: 以庆阳市

为例[J]. 中国农学通报, 2014(17): 289-293.

- [21] 王永兴, 陈曦. GIS 支撑下的干旱区水资源及其利用的空间分异研究[J]. 干旱区地理, 2003(2): 110-115.
- [22] 吴泉源. 利用 RS 和 GIS 技术分析胶东地区水资源开发潜力[J]. 遥感技术与应用, 2001(3): 205-208.