doi:10.13866/j.azr.2015.01.25

基于 GIS 的人居环境生态适宜性评价
——以宁夏中部干旱带为例①

程淑杰[1]， 朱志玲[2]， 白林波[2]
（1. 银川能源学院建筑工程学院,宁夏 银川 750105; 2. 宁夏大学资源环境学院,宁夏 银川 750021）

摘　要: 适宜的人居环境对促进人类社会经济系统与自然生态系统协调发展具有重要意义。以 30 m×30 m 的栅格为基本单元,运用 RS 和 GIS 技术,对原始影像数据进行解译、提取、运算和分析,结合研究区的实际情况,得到宁夏中部干旱带人居环境生态适宜性模型(*HEI*),并对适宜性的空间分异特征进行初步评价。结果表明: ① 宁夏中部干旱带人居环境适宜性指数介于16.05~84.90之间,整体生态适宜性较高。空间格局表现为:除东北角少数乡镇外,从西南方向到东北方向适宜性逐渐提高,从南到北适宜性逐渐提高。② 研究区发展受水资源限制较大,适宜性地区沿灌渠和水系呈带状分布。高度适宜区占7.64%,较适宜区占11.49%,一般适宜区占27.42%,临界适宜和不适宜区占研究区总面积的53.45%。通过对宁夏中部干旱带人居环境生态适宜性评价,以期为宁夏境内生态移民区选址和生态环境保护提供数据支撑。

关键词: 人居环境; 生态适宜性; 指标体系; 评价; 宁夏

"人居环境"由道萨迪亚斯(C. A. Doxiadis)创立人类聚居学后才开始了系统研究,我国"人居环境"概念由吴良镛先生于1992年首次提出,主要是指由人类、社会、自然、居住和支撑5大系统组成的人类聚集生活的地方[1]。因其涉及的多层次性和广泛性,受到各个学科的关注。经过20余年的不断完善和发展,现已成为指导政府制定切实可行的改善人居环境的政策方针[2-3]。人类系统和自然系统是支持人居环境的2个最基本系统。人居环境系统与自然生态系统通过物质流、能量流和信息流的空间转化,使得定量研究二者之间的适宜度大小显得非常复杂,人居环境指数可以综合反映一个区域生态适宜性大小。现有的人居环境适宜性研究大多集中在两个方面:一方面是综合人类社会系统、经济系统和环境系统的人居环境状况研究等[4-6]。另一方面是选取单个或多个生态因子,综合人居环境模型(*HEI*)评价研究区的人居环境状况空间表征[7-9]。

稳定而适宜的生态环境是人类生存和社会经济发展的基本保障,人居环境生态适宜性研究旨在从根本上解决中部干旱带发展问题,达到消除贫困和改善生态的双重目标,促进人口、资源、环境的协调发展。本文基于GIS的人居环境指数模型,表征研究区生态适宜性空间格局和特征,揭示其空间规律性,以期为宁夏境内生态移民选址提供科学依据和决策支持。

最新划分的宁夏中部干旱带包括盐池县、同心县、红寺堡区、原州区北部、西吉县西部以及中宁县和沙坡头区的山区部分。由于新区划分较晚,其研究资料缺乏和数据获取难度大,本研究的宁夏中部干旱带以行政区划分为准,以乡镇为基本单位,包括盐池县、同心县、海原县和红寺堡区,共42个乡镇,是宁夏中部干旱带的核心区。

1 研究区概况

宁夏中部干旱带位于104°17′~107°39′E, 36°54′~38°23′N。包括盐池县、同心县、海原县和红寺堡开发区(图1),总面积为 2.01×10^4 km^2,占宁夏国土总面积的35.6%。北部与沿黄灌区相连,南靠宁南黄土丘陵山区,西接卫宁平原和腾格里沙漠,东临鄂尔多斯台地及毛乌素沙地。研究区地处西北内陆,平均海拔1 100~1 600 m,年均气温10.4 ℃,年均降水量126~225 mm,年干燥度3~4,有14条季节性河流。研究区属于典型的农牧交错区,生态

① 收稿日期: 2013-05-06; 修订日期: 2013-06-01
基金项目: 国家自然科学基金项目(41161078);宁夏自然科学基金项目(NZ1129)资助
作者简介: 程淑杰(1986-),女,硕士研究生,主要从事城市与区域发展规划研究. E-mail: csj1013_love@163.com
通讯作者: 朱志玲. E-mail: zhuzlnxdx@163.com

图 1　宁夏中部干旱带示意图

Fig. 1　The research map of the central arid zone in Ningxia

环境仍是影响和决定人居环境适宜性的重要因子。2011 年,研究区总人口为 103.67 万人,占全区总人口的 16.21%,人均 GDP 为 9 937.65 元,为宁夏人均 GDP 的 30.23%,是全国 18 个集中连片特殊困难地区之一。研究区资源环境承载力差异较大,根据 4 县区十二五移民规划报告,围绕"水源、生态、开发、特色、转移"5 个重点,采取县内移民和县外移民相结合的政策,规划县内安置移民 35%,县外安置移民 65%。县外移民旨在减轻人口发展对环境的压力,县内移民是对人居环境适宜性单元在空间上的优化调整。目前,初步形成以特色种养收入为基础、劳务收入为主体的新格局。对进一步优化区域人口、资源、环境与发展(PRDE)系统,促进区域人口、资源、环境与社会经济协调发展具有积极作用。

2　指标体系与数据来源

2.1　指标体系构建原则

研究基于微中观范围的县区研究,从生态因子角度对人居环境影响建立评价单元与指标体系[10]。指标严格按照以下原则:

2.1.1　科学性原则　指标体系的建立首先要有科学性和明确内涵,能够定量、准确反映研究区人居环境的生态适宜性现状和发展趋势。

2.1.2　针对性原则　选取的指标一定要针对研究区的实际状况,从影响研究区人居环境的生态因子入手,使研究结果更贴合研究区实况。

2.1.3　全面性原则　选取的因子要能涵盖所有能反映研究区实况的因子,以防遗漏。

2.1.4　可操作性原则　要能保证选取的指标是可以定量表示的,应注意数据来源的渠道,数据的可采集性,数据分析结果的客观性和可信度。

2.2　人居环境生态适宜性评价指标体系

气候是一个地区长时间稳定的水热组合状态。宁夏中部干旱带是宁夏沙尘日数最多最集中的地区。受地质构造运动和干燥剥蚀等外营力的影响,沿麻黄山—罗山南麓—王团镇—干盐池管委一线以南,属于黄土丘陵沟壑区,地形起伏大,坡地多,年际降水不均,植被覆盖度低,加之黄土固有的多孔隙性,使得水土流失成为最严重的生态问题。以北以干燥剥蚀作用为主,堆积及风蚀地貌发育,最主要的生态问题为土地沙漠化。

研究区年降雨量少而蒸发量大,地下水资源贫

乏,地上水资源少,河流少且季节性变率大,表现出干旱、半干旱地区的河流特性。河流和水库的分布决定了耕地尤其是水田的分布,而水田的布局决定了人类居住地的选择。土地利用方式决定土地覆被状况,研究区草地面积占总面积的 54.14%。本文将草地分为高覆盖度草地(覆盖度大于 50%)、中覆盖度草地(覆盖度介于 20% ~50%)和低覆盖度草地(覆盖度介于 5% ~20%)。采用土地利用和植被覆盖度综合表征研究区人居环境适宜性大小。

根据以上指标选取原则,基于研究区基本生态环境状况和生态问题。选取影响宁夏中部干旱带生态适宜性因子有:地形、气候、水文、土地覆被指数,构建宁夏中部干旱带人居环境指数模型。具体指标体系见表 1。

表 1　人居环境生态适应性评价指标体系

Tab. 1　Assessment index system of ecological suitability for human settlement

生态因子	二级指标	指标意义
地形	海拔高度	定义为最大高程与最小高程之差,是较大区域内地形的宏观特征
	坡度	坡度大不利于人类生存和发展,也是导致地质灾害发生的主要原因
水文	年均降水	体现了天然状态下自然给水能力的大小
	水域比重	表征区域在自然条件下集水、汇水以及储备水资源能力的强弱
	水田比重	水田的分布在一定意义上决定了主要人类的聚居选址
土地覆被	土地利用类型	结合土地自然状况,在一定的经济技术条件下对土地的使用状况
	植被指数	研究区表面植被覆盖物和人工覆盖物的覆被状态
气候	温湿指数	综合考虑了温度和湿度对人体舒适度的影响
	风效指数	裸露皮肤在不同的气温和风速下感觉到的冷暖程度

2.3　研究思路

在国家标准的人居环境指数模型基础上,结合宁夏中部干旱带具体情况,调整水文指数模型。以 30 m×30 m 栅格为基本计算单元,结合 GIS 技术,采用空间分析法、空间叠置法、邻域分析、缓冲区分析法和专家集成法,将研究区人居生态环境分为 5 个等级:适宜居住区、较适宜居住区、一般适宜居住区、不适宜居住区和最不适宜居住区。根据定量评价结果,进一步探讨研究区人居环境适宜性的空间分异和布局特征。具体研究流程如图 2 所示。

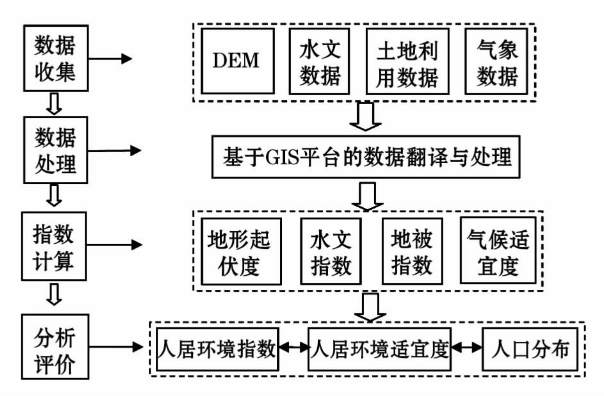


图 2　宁夏中部干旱带人居环境适宜性评价流程

Fig. 2　Assessment process of ecological suitability for human settlement in the central arid zone in Ningxia

2.4　数据来源

行政区划图来自国家测绘局;坡度和高程数据来自宁夏数字化高程图;水文数据主要来自研究区 30 个水文观测站点,水资源数据来自水资源公报和遥感影像中水域的解译。将所得原始数据在 DPS 软件中进行 Z-score 标准化,再用 GIS 软件进行 Kriging 空间插值运算;气候适宜度数据来自 2012 年各县区的温度、相对湿度、风速和日照时数与《宁夏回族自治区资源环境地图集 2012》中的气候数据,经过分析、处理和相互订正得到研究区的气象数据;植被覆盖指数从遥感影像中获取,土地利用类型数据来自宁夏中部干旱带 2011 年 8 月 Landsat TM 遥感影像的解译,土地利用权重由专家打分并在 AHP 软件中分析得到,地被覆盖数据由土地利用权重与 *NDVI* 指数在 GIS 软件空间分析模块中进行栅格数据叠置分析得到。由于研究区地形水文植被差异大,为了使研究结果更准确地反映实际情况,所有计算均以 30 m×30 m 栅格为基本单元。

3　模型建立与研究方法

人居环境的研究离不开居住的人和支撑环境,以人为主体,研究围绕人的自然、经济、社会和文化环境与其的适宜性大小[11]。本文选取自然环境中 4 个生态因子,分别测度对人居环境适宜性的影响大小。

3.1　地形起伏度模型(*RDLS*)

地形起伏度是反映地形起伏的宏观地形因子,为研究区域内某一栅格单元中最大高程与最小高程的差[12]。因地形起伏度的大小影响居住的选址,进而影响人居环境的适宜性大小,是人居环境自然评

价的重要指标之一[13-14]。具体的计算公式为区域内海拔高差与非平地比例的乘积,即:

$$RDLS = \{[\mathrm{Max}(H) - \mathrm{Min}(H)] \times [1 - P(A)/A]\}/500 \quad (1)$$

式中:$RDLS$ 为地形起伏度;$\mathrm{Max}(H)$ 和 $\mathrm{Min}(H)$ 分别为区域内最高最低高程(m),均由 DEM 高程图借助 GIS 中的邻域分析获取;文中根据坡度的大小界定平地与非平地,研究区中的地形从高原过渡到丘陵在到平原,坡度起伏大,$P(A)$ 为区域内≤5°的平地面积(km^2),其余为非平地面积;A 为区域总面积(km^2)。评价结果见图 3a。

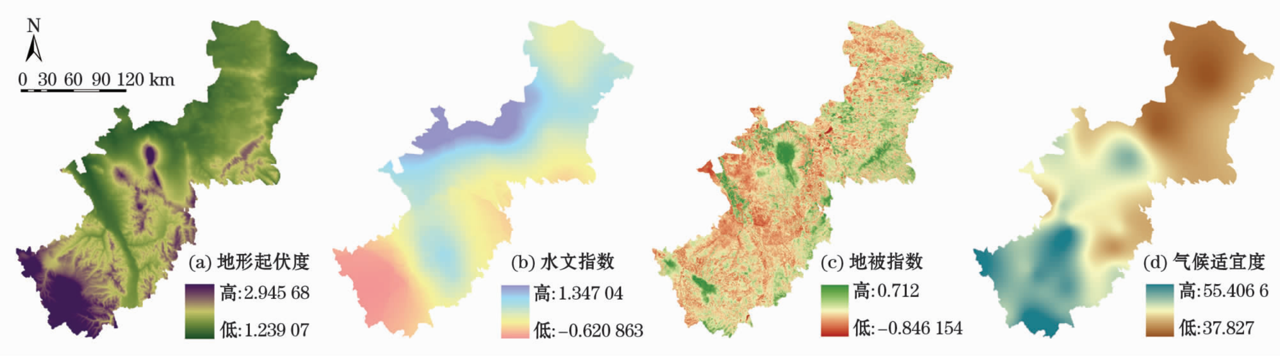


图 3 宁夏中部干旱带各参评因子现状

Fig. 3 The present status of involved factors in the central arid zone in Ningxia

3.2 水文指数模型(*WRI*)

参考封志明等[15]建立的中国人居环境指数模型,结合研究区的实际情况,对原始水文指数模型进行修订。研究区地处宁夏中部干旱带,除了水资源和降水量严重影响人居环境适宜度外,灌区的分布也是影响人居选址的一个重要因素。降水量与水域面积的比重可以表征区域水资源的丰缺程度,水田的分布可以表征人类分布的主要格局。本文选取能体现区域自给水能力的降水量和能反映区域集汇水能力强弱的水域湿地面积,建立水文指数模型。具体公式如(2)所示:

$$WRI = \alpha P + \beta Wa + \chi P_f \quad (2)$$

式中:WRI 为水文指数;α、β、χ 分别表示研究区年均降水量、水域面积和水田面积的权重,参考郝慧梅等[16]对陕西人居环境自然适宜性的研究,宁夏中部干旱带的实际情况恰好与陕西区域的情况相反,取 α 为 0.2,β 为 0.1,χ 为 0.7。为了消除单位和量纲,P、Wa 和 P_f 分别为标准化后的年均降水量、水域面积和水田面积。评价结果见图 3b。

3.3 地被指数模型(*LCI*)

地被指数是土地利用和植被覆盖的合称,由能综合反映区域自然条件的土地利用方式和土地覆被状况[17]。$NDVI$ 是代表地域植被分异规律的主要因素之一[18]。计算公式如(3):

$$LCI = LT_i \times NDVI \quad (3)$$

式中:LCI 为地被指数;$NDVI$ 为栅格单元的归一化植被指数,在 Erdas 软件中获取研究区 $NDVI$ 指数,再由 ArcGIS 图层交互赋值得到;LT_i 为土地利用类型的权重,i 为 1,2,3,…,6,分别为耕地、林地、牧草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类和 18 个二级类土地利用类型(表 2)。基于宁夏中部干旱带草地在防治土地沙漠化和水土流失方面生态意义显著,因此,相对权重较高。采用专家咨询法和 AHP 软件一致性检验相结合,最终确定权重大小。评价结果见图 3c。

表 2 土地利用类型权重

Tab. 2 Weights of land use types

用地类型	权重	用地类型分类	权重
耕地	0.18	水田	0.78
		旱地	0.22
林地	0.19	有林地	0.36
		灌木林	0.24
		疏林地	0.20
		其他林地	0.20
草地	0.37	高覆盖度草	0.48
		中覆盖度草	0.33
		低覆盖度草	0.19
水域	0.16	水渠	0.39
		湖泊	0.33
		水库、坑塘	0.28
建设用地	0.09	城镇用地	0.35
		农村居民点用地	0.44
		其他建设用地	0.21
未利用地	0.05	裸土地	0.28
		裸岩石砾地	0.32
		其他未利用地	0.40

3.4 气候适宜度模型(*THI*)

研究区地处西北内陆,常年气候干燥,春秋季节风大沙多。本文采用温湿指数(*THI*)来反映人居环境的气候适宜度大小,并用风效指数(*K*)对研究结果进行修正。具体计算公式见式(4)和式(5):

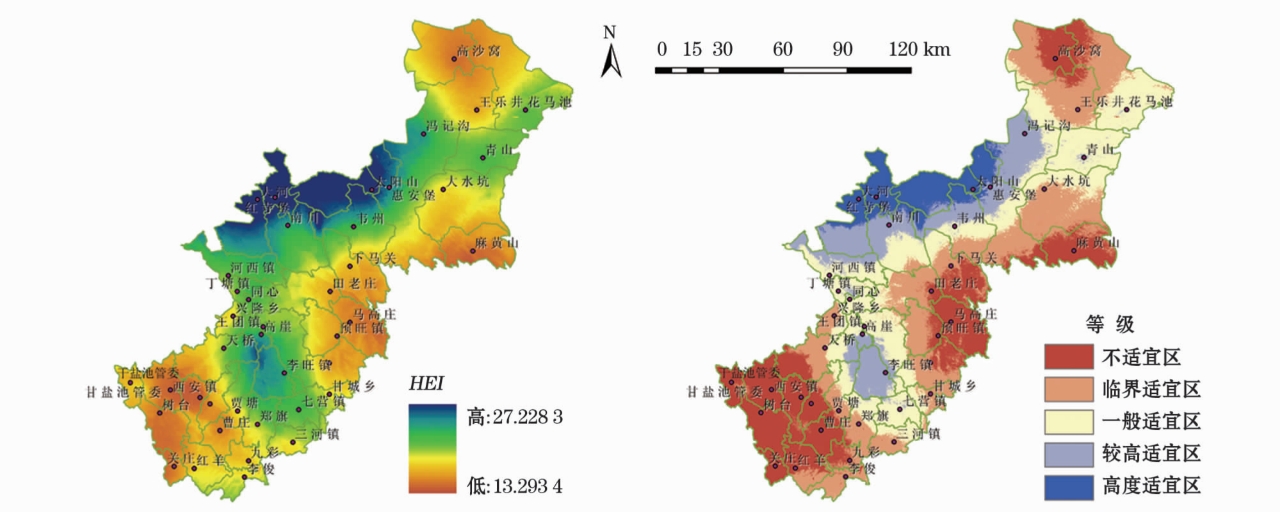
$$THI = T - 0.55(1 - f) \times (T - 58) \tag{4}$$

$$K = -(10\sqrt{v} + 10.45 - v) \times (33 - t) + 8.55s \tag{5}$$

式中:*THI* 为温湿指数;*T* 为月均气温(℃);*f* 为月均空气相对湿度(%);*K* 为风效指数;*v* 为风速($m \cdot s^{-1}$);*s* 为日照时数(h);*t* 为温度(℃)。在 ArcGIS 中采用 Spline 空间差值方法将温湿指数与风效指数空间化,加权值越大,表面弹性越大,故权值取 5。研究区地处西北内陆农牧交错带,为山地—绿洲—荒漠景观格局[19]。温湿指数由西南向东北方向逐渐减小,东北部沙化较严重的台塬地区风蚀严重,因此,以温湿指数为主,以风效指数修订为辅的方法,通过 GIS 软件中空间分析模块的栅格计算器中得到宁夏中部干旱带气候适宜度空间分布格局。评价结果见图 3d。

3.5 人居环境指数模型(*HEI*)

在地形起伏度指数、水文指数、地被指数和温湿指数这 4 个生态因子与研究区人口分布的基础上,借鉴相关研究成果[20],标准化各生态因子并确定各因子在影响区域人居环境程度的权重,采用空间叠置法、矢栅转换和重分类,得到宁夏中部干旱带人居环境生态适宜度和空间分布格局图。见公式(6)和图 4。



(a) 人居环境生态适宜度分布 (b) 人居环境生态适宜度分级

图 4 宁夏中部干旱带人居环境生态适宜性评价

Fig. 4 The evaluation graph of the ecological suitability of the human settlements environment in Central Arid Zone in Ningxia

$$HEI = \alpha \times NRNLS + \beta \times NWRI + \sigma \times NLCI + \omega \times NTHI \tag{6}$$

式中:*HEI* 为宁夏中部干旱带人居环境生态适宜性指数,介于 0~100;*NRNLS*、*NWRI*、*NLCI* 和 *NTHI* 分别为标准化后的地形起伏度、水文指数、地被指数和温湿指数;α、β、σ 和 ω 分别为标准化后的地形起伏度、水文指数、地被指数和温湿指数的权重,由咨询专家打分所得。标准化过程中,正向指标采用最大效果标准化,逆向指标采用最小效果标准化,适度指标采用中心化效果标准化。见公式 7~9。

正向指标:

$$S_i = (X_i - X_{\min})/(X_{\max} - X_{\min}) \tag{7}$$

逆向指标:

$$S_i = (X_{\max} - X_i)/(X_{\max} - X_{\min}) \tag{8}$$

中心化指标:

$$\begin{cases} S_i = (X_i - X_m)/(X_m - X_{\min}), \text{当 } X_i < X_m \\ S_i = (X_{\max} - X_i)/(X_{\max} - X_m), \text{当 } X_i < X_m \end{cases} \tag{9}$$

4 结果与分析

根据人居环境指数(*HEI*)的大小,借鉴相关研究[21],将计算结果分为 5 个等级,人居环境分值越高,越适宜人类居住。人居环境生态适宜性分为高度适宜、比较适宜、一般适宜、临界适宜和不适宜 5 个等级(表 3)。

不适宜居住区,主要包括的乡镇有盐池县的高

表 3　人居环境适宜性评价

Tab. 3　The assessment of the human settlement environment

适宜性分级	适宜性评价	面积/km^2	比例/%
不适宜区($HEI<20$)	受自然因子限制程度非常大,人类不能居住区	4 974.53	24.70
临界适宜区($20\leqslant HEI<40$)	受自然因子限制较大,人类很难适宜居住区	5 789.66	28.75
一般适宜区($40\leqslant HEI<60$)	一定程度上受自然因子的限制,人类可勉强居住的地区	5 523.14	27.42
比较适宜区($60\leqslant HEI<80$)	受自然因子的限制较大,人类可适宜居住的地区	2 314.49	11.49
高度适宜区($80\leqslant HEI<100$)	基本上不受自然因子的限制,人类最适宜居住的地区	1 539.18	7.64

沙窝镇、王乐井乡的北部地区以及麻黄山;同心县的田老庄、马高庄、豫旺镇和张家垣乡;海原县的树台乡和红羊乡。不适宜居住区土地面积约为 4 974.53 km^2,占研究区土地总面积的 24.70%。其西北部地区位于宁南风沙干旱区、裸地和沙化土地所占比例大,年沙尘扬尘天数超过 60 d,干燥度大于 6,土地沙化问题较突出;西南部和东南部地区地形破碎,生态脆弱,位于西华山和南华山的谷川相间地区。该区人口密度小,城市化率低,属于生态移民迁出区。该区应严格控制人口增长速度,禁止任何对生态环境有破坏作用的开发活动,保护现有林草地并种植耐旱林草。

临界适宜居住区,主要包括的乡镇有盐池县王乐井乡、大水坑乡和惠安堡镇的南部;同心县下马关乡北部、张家垣和兴隆乡的西北部;海原县干盐池管委、九彩乡和史店乡、关桥乡的西南部。土地面积为 5 789.66 km^2,占研究区土地总面积的 28.75%。这类地区土地利用类型主要以低覆盖度草和旱地为主,境内多为季节性河流,年沙尘暴日数介于 12 ~ 16 d,光热与耕地资源较丰富。区域发展应以生态恢复和农业发展为重点,促进区域内农村贫困人口向城镇和非农业转移为其发展目标,依托沿黄城市带交通干线,增强县域经济实力。

一般适宜居住区,主要包括盐池县大水坑中部、王乐井和惠安堡中南部、冯记沟西北部;同心县韦洲镇南部、下马关镇中北部、豫旺镇西部、田老庄乡西北部、王团镇西部;海原高崖乡和贾塘镇西部、史店乡东部、郑旗乡的西南部和三河镇、李俊乡以及红羊乡的南部地区。其面积为 5 523.14 km^2,占研究区总面积的 27.42%。境内有清水河支流流经,并有扬黄灌溉支渠,用地类型表现为水田多于旱地,中覆盖度草较多。地势南高北低,属于典型的大陆性气候,昼夜温差大,季节性降水明显。后期应该继续推进环境保护和生态建设工程,改进和优化当地的农业生产条件。

比较适宜居住区,主要包括盐池县花马池镇、青山乡、大水坑北部和惠安堡中部;同心县韦州中部、河西镇、丁塘镇、豫海镇、王团镇和高崖镇的北部、李旺镇东北部;海原县官桥乡、贾塘乡、郑旗乡的东北部,三河镇的北部以及七营镇、李旺镇东北部。其面积为 2 314.49 km^2,占研究区总面积的 11.49%。属于固海灌区和盐环定灌区工程覆盖地区。其中东北部盐池花马池是宁夏十二五县区规划中县内移民的重点移入区。南部坡度较大的黄土丘陵区因近年来实施的退耕还林(草)以及整流域推进“山、水、田、林、路”等综合治理工程,生态环境有较大改善。后期发展应以生态保护为主,有序引导人口转移,经济建设应以点、线为主,禁止大面积的开发活动。

高度适宜居住区,主要分布在红寺堡灌区,盐环定扬水干渠和固海灌区中的石峡口水库库区。总面积为 1 539.18 km^2,占研究区总面积的 7.64%。区域内水资源较丰富,土地利用以水田和高覆盖度草地为主。近年来由于生态移民的不断迁入,盐渍化问题凸显,后期发展应以完善乡镇服务体系、完成大生态移民项目区农村环境综合整治工作、完善生态移民安置与生态环境保护并行。

5　结 论

(1) 总体来看,中部干旱带生态格局表现为:① 人居环境生态适宜度介于 16.05 ~ 84.90。宁夏中部干旱带整体上属生态敏感和生态脆弱区,人居环境适宜性不高,高度适宜区仅占 7.64%。② 中部干旱带的适宜居住区以带状分布为主,主要分布在清水河沿岸、苦水河沿岸和盐环定干渠两侧,一般适宜区和比较适宜区占研究区总面积的 19.13%。③ 除东北部少数乡镇外,整体表现为从西南方向到东北方向适宜性逐渐升高,从南到北总体适宜性逐渐升

高,研究结果符合实际情况。未来发展应从宁夏中部干旱带推进生态文明建设入手,实现人口、社会、资源和产业的相互协调发展。

(2)本文选取了4个一级生态因子和9个二级指标,从地形、水文、植被变化和水文方面切入,以GIS为平台,结合SPSS、AHP等统计分析软件,以30 m×30 m基本栅格为计算单位,定量科学地反映出了0.09 km^2 范围内人居环境生态适宜性差异以及总体空间格局状况。

(3)人居环境是一个复杂系统,它的适宜性评级涉及了自然生态系统、人文社会系统和经济系统。系统内各因子之间的相互作用和关联性较大,在评价宁夏中部干旱带人居环境适宜性时,只选用生态因子评价研究区的人居环境适宜性。在确定适宜性等级时将生态因子以不同权重叠置分析,综合考虑了各生态因子对区域人居环境适宜性的贡献率,方法可行性高。

(4)宁夏中部干旱带既是宁夏生态移民和生态建设重点区域,又是环境敏感和脆弱区,移民选址与移民数量都与生态承载能力紧密相关。临界适宜区主要以草地生态系统为主,而移民的增多致使养殖量增加,势必会进一步导致环境的破坏。因此,研究中部干旱带的人居环境适宜性不仅为宁夏正在进行的境内生态移民区选址和环境保护提供科学依据,又可促进人口与资源环境协调发展。

参考文献(References):

〔1〕 吴良镛.人类环境科学的探索〔J〕.规划师,2001,17(6):1-5.〔Wu Liangyong. Search for the theory of sciences of human settlement〔J〕. Planners,2001,17(6):1-5.〕

〔2〕 吴良镛.人居环境科学发展趋势论〔J〕.城市与区域规划研究,2010,31(7):1-14.〔Wu Liangyong. Development tendency of human settlement sciences〔J〕. Journal of Urban and Regional Planning,2010,31(7):1-14.〕

〔3〕 吴良镛."人居二"与人居环境科学〔J〕.城市规划,1997(3):4-9.〔Wu Liangyong. "Scond" human settlement and the sciences of human settlements〔J〕. City Planning Review,1997(3):4-9.〕

〔4〕 宁越敏,项鼎,魏兰.小城镇人居环境的研究:以上海市郊区三个小城镇为例〔J〕.城市规划,2002,26(10):31-35.〔Ning Yuemin,Xiang Ding,Wei Lan. Study on the human settlement environment with three small towns in the Shanghai suburban areas as the case〔J〕. City Planning Review,2002,26(10):31-35.〕

〔5〕 熊鹰,曾光明,董力三,等.城市人居环境与经济协调发展不确定性定量评价:以长沙市为例〔J〕.地理学报,2007,62(4):397-406.〔Xiong Ying,Zeng Guangming,Dong Lisan,et al. Quantitative evaluation of the uncertainties in the coordinated development of urban settlement environment and economy: Taking Changsha City as an example〔J〕. Acta Geographica Sinica,2007,62(4):397-406.〕

〔6〕 秦永东,欧向军,甄峰.基于熵值法的人居环境质量评价研究:以徐州市为例〔J〕.城市问题,2008(10):18-24.〔Qin Yongdong,Ou Xiangjun,Zhen Feng. The evaluation on human settlements quality with entropy method: Taking Xuzhou City for Example〔J〕. Urban Problems,2008(10):18-24.〕

〔7〕 魏伟,石培基,冯海春,等.干旱内陆河流域人居环境适宜性评价:以石羊河流域为例〔J〕.自然资源学报,2012,27(12):1 940-1 949.〔Wei Wei,Shi Peiji,Feng Haichun,et al. Study on the suitability evaluation of the human settlements environment in arid inland river: A case study on the Shiyang River Basin〔J〕. Journal of Natural Resources,2012,27(12):1 940-1 949.〕

〔8〕 岳健,雷军,马天宇,等.关于新疆人居环境自然适宜性评价的讨论〔J〕.干旱区资源与环境,2009,23(11):1-7.〔Yue Jian,Lei Jun,Ma Tianyu,et al. A discussion on the evaluation of natural suitability for human settlement in Xinjiang〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2009,23(11):1-7.〕

〔9〕 张文梅.关中渭河流域人居环境自然适宜性评价及空间差异分析〔D〕.西安:陕西师范大学,2009.〔Zhang Wenmei. A Study on the Evaluation of Natural Suitability for Human Settlement and the Spatial Difference Analysis: A Case Study on the Guanzhong Weihe River Basin〔D〕. Xi'an: Shaanxi Normal University,2009.〕

〔10〕 闵婕,刘春霞,李月臣.基于GIS技术的万州区人居环境自然适宜性〔J〕.长江流域资源与环境,2012,21(8):1 006-1 012.〔Min Jie,Liu Chunxia,Li Yuechen. Nature suitability for human settlement based on GIS technology〔J〕. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2012,21(8):1 006-1 012.〕

〔11〕 周直,朱未易.人居环境研究综述〔J〕.南京社会科学,2002(12):84-88.〔Zhou Zhi,Zhu Weiyi. The review of human settlement〔J〕. Social Sciences in Nanjing,2002(12):84-88.〕

〔12〕 朱红春,陈楠,刘海英,等.自1∶10 000比例尺DEM提取地形起伏度:以陕北黄土高原的实验为例〔J〕.测绘科学,2005,30(4):86-88.〔Zhu Hongchun,Chen Nan,Liu Haiying,et al. The main frames and achievements in adaptive geo-visualization system research〔J〕. Science of Surveying and Mapping,2005,30(4):86-88.〕

〔13〕 田义超,梁铭忠.黄土台塬区土地利用/覆被变化定量研究:以陕西省咸阳台塬为例〔J〕.干旱区研究,2013,30(3):563-569.〔Tian Yichao,Liang Mingzhong. Land use/cover change in Loess Tableland Areas: A case study in the Loess Tableland Areas in Xianyang,Shaanxi Province〔J〕. Arid Zone Research,2013,30(3):563-569.〕

〔14〕 封志明,唐焰,杨艳昭,等.中国地形起伏度及其与人口分布的相关性〔J〕.地理学报,2007,62(10):1 073-1 082.〔Feng Zhiming,Tang Yan,Yang Yanzhao,et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution〔J〕. Acta Geographica Sinica,2007,62(10):1 073-1 082.〕

〔15〕 封志明,唐焰,杨艳昭,等.基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用〔J〕.地理学报,2008,63(12):1 327-1 336.〔Feng Zhiming,Tang Yan,Yang Yanzhao,et al. Establishment and application of human settlements environment index model (*HEI*) based on GIS〔J〕. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(12): 1 327 – 1 336.〕

〔16〕郝慧梅,任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性测评〔J〕. 地理学报, 2009, 64(4): 498 – 506.〔Hao Huimei, Ren Zhiyuan. Evalution of nature suitability for human settlement in Shananxi Provence based on grid data〔J〕. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 498 – 506.〕

〔17〕原杰,王利. 基于 GIS 的大连地被指数研究〔J〕. 国土与自然资源研究, 2011(1): 3 – 4.〔Yuan Jie, Wang Li. Study on *NDVI* in Dalian based on GIS〔J〕. Territory & Naturnal Resources Study, 2011(1): 3 – 4.〕

〔18〕朱文彬,吕爱锋,贾绍凤. 基于 NDVI 的柴达木盆地植被空间分异规律及影响因素〔J〕. 干旱区研究, 2010, 27(5): 691 – 698.〔Zhu Wenbin, Lv Aifeng, Jia Shaofeng. Study on spatial distribution of vegetation coverage and its affecting factors in the Qaidam basin based on *NDVI*〔J〕. Arid Zone Research, 2010, 27(5): 691 – 698.〕

〔19〕吴玉伟,杨发相,花婷. 策勒河流域地貌形态及其对生态格局的影响〔J〕. 干旱区研究, 2011, 28(2): 355 – 362.〔Wu Yuwei, Yang Faxiang, Hua Ting. Landforms and their effect on ecological pattern in the Qira River Basin〔J〕. Arid Zone Research, 2011, 28(2): 355 – 362.〕

〔20〕吴文婕,石培基,胡巍. 基于土地利用/覆被变化的绿洲城市土地生态风险综合评价:以甘州区为例〔J〕. 干旱区研究, 2012, 29(1): 122 – 128.〔Wu Wenjie, Shi Peiji, Hu Wei. Study on land ecological risk in oasis city based on Lucc: A case study in the Ganzhou district〔J〕. Arid Zone Research, 2012, 29(1): 122 – 128.〕

〔21〕阿依努尔·买买提,瓦哈甫·哈力克,古丽格娜·哈力木拉提,等. 基于 GIS 的南疆地区人居环境适宜性评价〔J〕. 干旱区资源与环境, 2012, 26(4): 11 – 17.〔Aynur Mamat, Wahap Halik, Gulgena Halimutati, et al. Assessment of residential environment suitability for southern Xinjiang based on GIS〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(4): 11 – 17.〕

GIS – based Assessment on Ecological Suitability for Human Settlement
—A Case Study in the Central Arid Zone in Ningxia

CHENG Shu-jie[1], ZHU Zhi-ling[2], BAI Lin-bo[2]

(1. *Civil Engineering and Architecture, Yinchuan Energy Institute, Yinchuan* 750105, *Ningxia, China*)

2. *College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*)

Abstract: Suitable human settlement environment plays an important role in promoting the harmonious development between social-economic systems of human society and natural ecosystems. In this study, a human settlement environment index (*HEI*) model for central arid zone in Ningxia was developed based on the grids of 30 m × 30 m, RS and GIS means and local conditions by interpreting, extracting, calculating and analyzing the original image data, and the spatial distribution patterns of ecological suitability were assessed. The results are as follows: ① The *HEI* varied in a range of 16.05 – 84.90, and it was holistically high. The *HEI* of central arid zone in Ningxia was increased from the southeast to the northwest and from the south to the north; ② The suitable settlement areas were distributed along the irrigation and stream systems. The proportions of areas with the highest, high and moderate ecological suitability for human settlement were 7.64%, 11.49% and 27.42% respectively, and the proportion of areas with poor and extremely poor ecological suitability was 53.45%. The study results may provide the data support and basis for choosing the ecological immigration sites and ecological environment preservation in Ningxia.

Key words: human settlement; ecological suitability; index; assessment; Ningxia