

基于空间的生态足迹与生态承载力预测模型 ——以甘肃省河西走廊地区为例

常 斌^{1,2,3}, 熊利亚¹, 侯西勇^{1,2}, 丁 艺⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中国石油辽河油田分公司, 盘锦 124010; 4. 新疆油田分公司勘探开发研究院, 克拉玛依 834000)

摘要: 介绍了测度可持续发展的生态足迹分析的计算方法, 在此基础上提出了生态足迹和生态承载力的预测模型: 在生态足迹的预测方面采用消费预测模型和人口模型相结合的方法, 在生态承载力的预测方面采用地理元胞自动机和地理信息系统技术相结合的方法。以甘肃省河西走廊地区为例, 采用以上模型方法计算了 1995、2000 年的生态足迹和生态承载力, 预测了 2005 年的生态足迹和生态承载力, 结果表明: 河西走廊地区的生态足迹在逐年上升, 生态承载力前 5 年上升后 5 年下降。采用该模型方法计算与预测生态足迹和生态承载力, 具有快速、准确、可操作性强的特点, 但预测具有一定的局限性。

关键词: RS; GIS; 生态足迹; 生态承载力; 地理元胞自动机; 土地适宜性

文章编号: 1000-0585(2007)05-0940-09

1 引言

生态足迹分析方法通过跟踪人类利用的大多数消费品和产生的大部分废弃物, 估算生产和维持这些消费品的资源以及同化废弃物所需要的生物生产性土地面积。通过对不同尺度的消费水平的量算, 可以确定研究区的生态足迹, 将生态足迹与研究区实际的生态承载力进行对比, 即可确定研究区的生态状况是生态赤字还是生态盈余^[1~5]。到目前为止, 对于生态足迹与生态承载力的测算还多采用资料统计方法^[6~10], 计算的精度和速度方面都存在一定的问题, 且国内外相关文献中少有关于生态足迹和生态承载力预测的模型方法。本论文以甘肃省河西走廊地区为例, 以经济统计数据 and 遥感影像为基础, 采用以个体消费水平和人口数量、结构相结合的方法计算生态足迹, 并通过遥感影像和地理信息系统技术结合的方法计算生态承载力, 同时提出了生态足迹与生态承载力预测的模型方法。通过该方法, 不仅能够准确、迅速地计算研究区当前的生态赤字/盈余状况, 而且可以预测未来的生态赤字/盈余状况, 从而为生态—经济系统的协调发展提供决策支持依据。

2 生态足迹及其计算方法

生态足迹模型主要用来计算在一定的人口和经济规模条件下维持资源消费和废弃物吸收所必需的生物生产面积, 其基本假设是各类土地在空间上是互斥的, 这条假设使得能够对各类生物生产性土地面积进行加总, 其具体计算公式如下:

收稿日期: 2006-09-02; 修订日期: 2007-05-14

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目课题 (KZCX-10-09)

作者简介: 常斌 (1974-), 男, 汉族, 辽宁铁岭人, 博士。主要从事遥感和地理信息系统应用研究。

$$EF = N \cdot (ef) = N \cdot \sum w_i A_i = N \cdot \sum w_i (c_i / p_i) \quad (1)$$

式中： EF 为总的生态足迹； N 为人口数； ef 为人均生态足迹； i 为消费商品和投入的类型； w_i 为均衡因子； A_i 为生产第 i 项消费项目人均占用的实际生物生产性土地面积； c_i 为第 i 种商品的人均消费量； p_i 为第 i 种消费商品的全球平均生产能力。由上式可知，生态足迹是人口数和人均物质消费的一个函数，生态足迹是每种消费商品的生物生产性面积与均衡因子乘积的总和。

$$EC = \sum y_i w_i A_i \quad (2)$$

式中， EC 为生态承载力； y_i 为产量因子。

3 研究方法及技术改进

研究区选定为河西走廊。河西走廊位于甘肃省西北部，是一相对完整的地域单元。行政区划上包括武威、张掖、酒泉、金昌和嘉峪关五个地级市。根据研究要求和研究区实际情况，所选取的数据包括：①河西走廊1995及2000年统计资料，主要应用统计资料中人均消费水平及总消费构成部分；②河西走廊1986~2000年分县人口数据及2000年人口普查数据；③河西走廊1995及2000年1:10万土地利用数据；④河西走廊各气象站点多年气象资料，文中计算了各个站点 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温和降水，并对其进行了空间插值；⑤河西走廊1:100万土壤类型及土壤质地数据；⑥河西走廊1:25万高程数据及1:100万地貌数据。

本文在生态足迹的计算中采用自下向上的计算方法，即通过发放调查问卷、查阅统计资料等方式先获得人均的各种消费数据，再由人均消费数据计算人均生态足迹，进而求出研究区总的生态足迹，这与国内大多采用的由上向下（根据地区性和全国性的统计资料查取地区各消费项目的有关数据，由总量数据求得研究区总的生态足迹，再结合人口数据求得人均消费量值和生态足迹）的计算方法有所不同。在生态承载力的计算中采用遥感技术和地理信息系统技术相结合的方法，与采用经济统计数据相比具有准确、快速的特点。首次提出了生态足迹和生态承载力预测的模型方法：在生态足迹预测中运用了消费预测模型和人口模型方法，不仅考虑了人均消费水平的增长，而且也考虑了人口数量的增长；在生态承载力预测中，综合考虑了土地利用历史数据，土壤、气候、地貌等自然因子，以及经济、技术、政策等人文因子，采用土地利用预测模型获得未来土地利用结构。

本文研究的技术路线如图1所示：

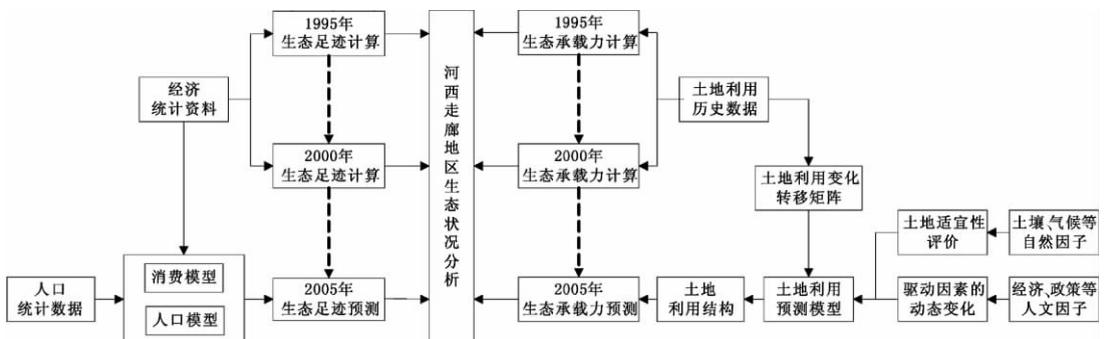


图1 河西走廊生态足迹计算及分析技术路线

4 河西走廊生态足迹计算及分析

4.1 生态足迹计算

应用生态足迹指标计算的理论方法^[1~5], 根据《甘肃统计年鉴—1996年》和《甘肃统计年鉴—2001年》中的关于河西走廊人均消费情况和总的消费构成数据, 对河西走廊1995年和2000年的人均生态足迹进行实际计算和分析。在计算中考虑到农村居民与城镇居民消费水平的差异, 而将城市和农村的人均消费水平分开来计算。生态足迹的计算主要由两部分组成: ①生物资源的消费; ②能源的消费。生物资源生产面积折算采用联合国粮农组织1993年计算的有关生物资源的世界平均产量资料(采用这一公共标准主要是使计算结果具有可比性)。

能源消费部分根据资料计算煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等几种能源的足迹, 计算时将能源消费转化成为化石能源土地面积。采用世界上单位化石能源土地面积的平均发热量为标准, 将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石能源土地面积。

由于生态足迹指标的计算要求考虑区域的总消费量, 所以在计算中考虑了社会和政府消费, 将其消费额按照农村和城市居民的人均消费比例分摊到人均消费中, 这样就尽可能避免了地区消费的偏差。

将河西走廊地区的经济统计数据按照以上原则进行整理汇总, 将汇总后的各种生物生产性面积乘以相应的均衡因子, 得到按世界平均生态空间计算的河西走廊地区1995和2000年的生态足迹(见表1)。将求得的农村和城镇居民的人均生态足迹分别乘以各自的人口数量, 可得河西走廊地区总的生态足迹, 再用这个总的生态足迹除以河西走廊地区的总人口, 可得到1995和2000年河西走廊地区的人均生态足迹, 数值分别为: 1.6902和1.8342 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ 。人均生态足迹只能反映个人对资源的占用状况而不能反映区域的总体状况。由于区域人口不同, 生态足迹的总量会有差别, 因此要想在区域之间进行横向对比, 还要根据区域人口数量计算区域总的生态足迹。将农村居民人均生态足迹和城镇居民人均生态足迹分别乘以农村居民人口数量和城镇居民人口数量, 并将二者累加起来可得到全区域及各县(区)总的生态足迹(见表3)。

表1 河西走廊地区生态足迹计算结果

Tab. 1 Calculation result of ecological footprint in Hexi Corridor

土地 类型	均衡 因子	农村居民人均生态足迹				城镇居民人均生态足迹			
		人均面积		均衡面积		人均面积		均衡面积	
		$(\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1})$		$(\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1})$		$(\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1})$		$(\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1})$	
		1995	2000	1995	2000	1995	2000	1995	2000
耕地	2.8	0.2940	0.2936	0.8232	0.8221	0.4547	0.4722	1.2731	1.3221
林地	1.1	0.0341	0.0300	0.0375	0.0330	0.1940	0.2445	0.2134	0.2690
草地	0.5	0.3972	0.4272	0.1986	0.2136	1.9964	2.0922	0.9982	1.0461
水域	0.2	0.0106	0.0063	0.0021	0.0013	0.2820	0.3105	0.0564	0.0621
能源用地	1.1	0.1526	0.1529	0.1679	0.1682	0.4717	0.5129	0.5189	0.5642
建筑用地	2.8	0.0126	0.0310	0.0353	0.0867	0.0381	0.0456	0.1066	0.1278
总计	—	—	—	1.2646	1.3249	—	—	3.1666	3.3913

4.2 生态承载力计算

根据河西走廊 1995 和 2000 年两个时期的遥感影像解译出的土地利用图, 获得河西走廊地区 1995 和 2000 年耕地、林地、草地、生产性水域、建筑用地的面积, 将各种土地利用类型的面积除以河西走廊地区总的人口数量, 再乘以相应的均衡因子和产量因子, 并将获得的面积累加起来, 可获得河西走廊地区的人均生态承载力 (见表 2)。将河西走廊地区各县市的土地利用类型面积乘以相应的均衡因子和产量因子以后再累加, 可以获得全区域及各县市(区)总的生态承载力(见表 3)。按世界环境与发展委员会(WCED)的报告《我们共同的未来》建议, 生态供给中扣除 12% 的生物生产性面积用来保护生物的多样性, 将求得的 1995 及 2000 年的人均生态承载力扣除 12% 用作生物多样性保护, 则 1995 与 2000 年的人均生态承载力分别为 1.3761 和 $1.3728 \text{ hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ 。

表 2 河西走廊地区生态承载力计算结果

Tab. 2 Calculation result of ecological capacity in Hexi Corridor

土地 类型	总面积(hm^2)		人均面积($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$)		均衡 因子	产出 因子	均衡面积($\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$)	
	1995	2000	1995	2000			1995	2000
耕地	1146410.26	1197797.99	0.2601	0.2602	2.8	1.66	1.2089	1.2091
林地	707415.79	673646.10	0.1605	0.1463	1.1	0.91	0.1607	0.1464
草地	4453854.54	4546313.62	1.0105	0.9874	0.5	0.19	0.0960	0.0938
水域	33915.72	34109.32	0.0077	0.0074	0.2	1.00	0.0015	0.0015
能源用地	0	0	0	0	1.1	—	0	0
建筑用地	91883.62	108335.25	0.0208	0.0235	2.8	1.66	0.0967	0.1092
总计	—	—	—	—	—	—	1.5638	1.5600

注: 1995 和 2000 年河西走廊地区人口数量分别为 4,407,575 人和 4,604,553 人。

4.3 生态足迹与生态承载力预测

4.3.1 生态足迹的预测 区域总生态足迹跟人均消费水平和人口数量密切相关, 因此生态足迹的预测主要应考虑两点: 一是人均消费水平的预测; 二是人口数量的预测。前者反映的是人均生态足迹的增长情况, 而后者和前者结合起来则可以反映区域总的生态足迹增长情况。在这里假定人口数量和消费水平与生态足迹之间的弹性系数皆为 1, 即人口数量或消费水平增加一倍, 生态足迹也增加一倍。下面分别介绍消费水平和人口数量的预测。

(1) 消费水平的预测

①方程的求解: 由 2001 年甘肃年鉴获得从 1990 年到 2000 年的城镇和农村消费额及物价指数, 从 1995 年度至 2000 年度中华人民共和国分县市人口统计资料获得当年的人口数量, 将各年的实际消费额除以以 1978 年为基准的物价指数就可获得从 1990 年到 2000 年的 11 年中以 1978 年为基准的各年的实际消费水平, 再将这一数据除以城镇和农村的实际人口数量, 获得从 1990 年到 2000 年的城镇和农村人口人均消费情况, 将这一数据系列绘于图中, 其趋势基本呈线性增长 (见图 2)。

假设趋势线为
$$\hat{y}_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}(t - \bar{t}) \quad (3)$$

则可用最小二乘法进行线性回归以求解方程中的系数, 其中, \hat{y}_t 、 t 、 \bar{t} 、 $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ 分别为各年的消费额、时间、时间均值和方程系数。

根据城镇和农村居民 y_t 和 t 的样本数据, 计算求得回归方程分别为:

$$\hat{y}_t = 1161.47 + 42.75(t - 1995) \quad t = 1990, 1991, \dots, 2000 \quad (4)$$

$$\hat{y}_t = 309.79 + 3.69(t - 1995) \quad t = 1990, 1991, \dots, 2000 \quad (5)$$

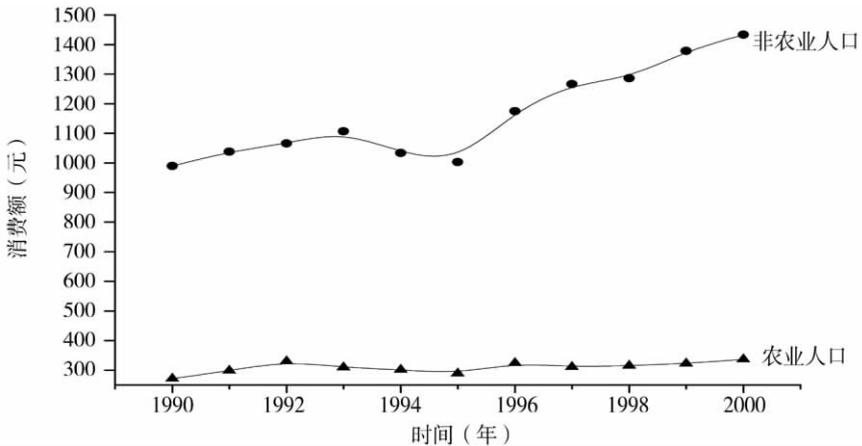


图 2 甘肃省扣除物价上涨因素的历年实际消费水平

Fig. 2 The actual consumption level with deduction of price rise in Gansu Province

②方程的检验：回归模型建立后，需要对模型的显著性和自变量、因变量相关性进行检验。方程的显著性检验是借助于 F 检验来完成的。经检验，城镇居民实际消费水平的回归方程式在置信水平 $\alpha=0.01$ 下是显著的，农村居民实际消费水平的回归方程式在置信水平 $\alpha=0.05$ 下是显著的。方程自变量和因变量相关性检验通过 r^2 来判断，城镇和农村居民实际消费水平的回归方程式的 r^2 分别为 0.82 和 0.75，说明自变量和因变量有一定的相关关系，回归方程质量较好。

③结果计算：由以上检验可知，城镇和农村居民的实际消费水平回归方程式均满足检验条件，能够较好地拟合实际情况。将公式(4)和(5)应用的时间范围推广，可以外推预测 2005 年的农村和城镇居民的实际消费水平，最终求得 2005 年的农村和城镇居民的人均消费水平为 347 元和 1589 元，分别为 2000 年人均消费水平的 1.030 和 1.109 倍，相应的人均生态足迹也分别为 2000 年的 1.030 倍和 1.109 倍，其数值分别为 1.3646 和 3.7610 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ 。

(2) 人口数量的预测

用于生态足迹计算的人口预测主要应考虑人口的出生和死亡、迁入和迁出以及农村和城市人口间的相互转化，这几项都会最终影响农村和城镇人口的数量，从而影响地区人均和总的生态足迹。本文采用基于人口发展离散模型的人口预测方法^[11]，其预测方程如下：

$$u_{00}(t) = u_{00}(t-1)(1 - E_0) \quad (6)$$

$$u_i(t) = u_i(t-1)(1 - E_i) \quad (7)$$

$$u_w = 1 \quad (8)$$

$$x_0(t) = [1 - u_{00}(t)]\beta(t) \sum_{i=r_1}^{r_2} k_i(t-1)h_i(t)x_i(t-1) \quad (9)$$

$$x_i(t) = [1 - u_{i-1}(t) + f_{i-1}(t)]x_{i-1}(t-1) \quad (10)$$

$$x_i(0) = x_{i0} \quad (11)$$

式中： $x_i(t)$ 、 $k_i(t)$ 、 $h_i(t)$ 、 $u_i(t)$ 分别为预测期 t 年龄为 i 的人口数、女性比例、生育概率、死亡概率； $f_{i-1}(t)$ 为预测期 t 年龄为 $i-1$ 的人口按龄迁移比例； $\beta(t)$ 为预测期 t 的总和生育率； $u_{00}(t)$ 为预测期 t 的婴儿死亡率； x_{i0} 为基期第 i 岁人口； r_1 、 r_2 分别为妇女生育

年龄下限和上限; w 为人能活到的最高年龄; E_0 , $E_i(t)$ 分别为相应的死亡概率 u_{00} , $u_i(t)$ 的衰减比例。

根据上述模型方法, 采用甘肃省 2000 年人口普查资料及 1995~2000 年度全国分县市人口统计资料所提供的有关河西走廊的数据对河西走廊地区 20 县市(区)2005 年人口数量进行预测, 获得各县市(区)的人口预测结果(见表 3)。根据已经求得的河西走廊地区总人口数量、农业人口数量和非农业人口数量以及预测的农村居民和城市居民的人均生态足迹, 计算可得河西走廊地区总的人均生态足迹为 $1.9762\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ 。

表 3 河西走廊地区分县(市)总人口、生态足迹和生态承载力

Tab. 3 The total population, ecological footprint and ecological capacity of every county in Hexi Corridor

县 别	人口 (10^4 人)			总生态足迹 (10^4hm^2)			总生态承载力 (10^4hm^2)		
	1995	2000	2005	1995	2000	2005	1995	2000	2005
嘉峪关市	12.44	14.19	16.10	35.03	43.69	55.46	4.48	5.24	5.49
金川区	17.74	19.46	21.31	47.46	56.07	68.34	8.27	11.44	11.34
永昌县	23.90	25.13	25.70	38.83	45.75	49.93	39.13	40.41	39.61
玉门市	20.99	19.35	19.34	51.31	49.30	53.99	25.57	26.71	26.62
酒泉市	31.55	33.71	36.35	56.81	67.52	78.93	34.61	35.50	34.19
敦煌市	12.43	13.15	19.08	21.39	24.67	38.32	11.70	14.45	14.65
金塔县	13.20	13.76	14.19	20.41	23.45	25.61	15.95	17.09	16.55
肃北县	1.12	1.10	1.34	2.27	2.49	3.29	11.64	12.61	13.07
阿克塞县	0.77	0.78	0.99	1.69	1.91	2.78	0.79	1.47	1.55
安西县	8.30	8.78	10.33	14.74	16.82	21.25	15.92	18.75	18.42
张掖市	44.92	47.93	53.21	76.28	88.68	105.77	39.55	41.32	40.41
肃南县	3.54	3.59	3.72	6.06	6.74	7.49	40.24	38.10	39.43
民乐县	22.85	23.54	23.45	31.25	34.45	35.78	36.83	42.74	41.87
临泽县	14.07	14.61	14.78	20.52	23.38	24.91	15.79	16.98	16.52
高台县	15.30	15.79	16.75	22.41	24.74	27.62	16.44	16.94	16.48
山丹县	19.09	19.53	19.50	28.77	31.66	33.33	38.35	41.53	40.78
武威市	93.01	97.74	97.22	148.43	169.48	179.68	78.87	77.02	74.78
民勤县	27.64	28.42	30.30	39.43	44.08	49.35	47.40	55.45	53.82
古浪县	36.11	38.30	38.03	48.97	54.97	56.78	77.32	72.51	69.74
天祝县	21.80	21.59	22.18	32.91	34.74	37.62	47.68	45.83	45.62
总计	440.76	460.46	483.87	744.97	844.57	956.23	606.50	632.11	620.95

4.3.2 生态承载力的预测 生态承载力的预测归根结底就是各种生物生产性土地面积的预测^[12,13], 本论文在进行土地利用类型预测过程中采用了地理元胞自动机方法^[14~20], 其预测步骤如下:

首先, 求得土地利用变化转移矩阵。将 1995 年和 2000 年河西走廊土地利用矢量数据转化为 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 栅格数据, 采用地图代数方法, 对 1995 年和 2000 年栅格土地利用数据进行运算, 获得 1995~2000 年土地利用变化图, 进一步计算获得河西走廊地区以县(市)为单位的土地利用变化转移矩阵。

其次, 进行土地转化适宜性评价。将河西走廊气象站点观测数据进行空间插值获得河西走廊地区降水和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温矢量数据, 利用 1:25 万等高线数据生成坡度矢量数据, 将

以上所生成的数据和河西走廊 1:100 万土壤质地、土壤类型、水资源、地貌类型矢量数据转化为 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的栅格数据。本文根据土地适宜性评价因子选取的原则,选择了土壤、气候、地貌 3 大要素,其中土壤要素包含土壤质地、土壤类型 2 个因子,气候要素包括降水和积温 2 个因子,地貌数据包括水资源、地貌类型和坡度 3 个因子,除此以外又选择了土地利用现状作为一个重要因子。将各参评因子作为自变量,土地利用类型作为因变量,对各参评因子的栅格图与土地利用类型的栅格图进行空间统计回归,得出各参评因子所对应的权重系数,然后用权重系数与各因子每个单元的分值乘积之和来表示土地适宜性的高低。

最后,进行土地利用类型的转化模拟。根据求得的 1995~2000 年土地利用变化转移矩阵,以及土地利用评价结果系列图,利用 CA-MARKOV 模块进行土地利用类型的转化模拟,并根据区域实际情况调整模拟参数,加入政策、经济影响因素,获得 2005 年土地利用模拟结果,并最终求得各种土地利用类型的面积,用求得的各种土地利用类型的面积乘以相应的均衡因子和产量因子,再扣除 12% 的生物生产性土地面积用于生物多样性保护,可以计算出河西走廊各县市(区)及全区域的总的生态承载力(表 3),总生态承载力除以全区域的总人口数,可以得出河西走廊 2005 年预测的人均生态承载力为 $1.2833\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$ 。

4.4 计算结果分析

通过对河西走廊地区生态足迹及生态承载力计算结果的分析,可以得出如下几点结论:

(1) 从河西走廊每年的生态赤字/盈余静态的横向对比来看,就地域而言,河西走廊东部及祁连山北麓的县市(区)生态承载力大于生态足迹,多处于生态盈余状况;河西走廊西部、中间地势平缓的走廊地带及靠近内蒙古地区的县市(区)生态足迹大于生态承载力,多处于生态赤字状况。造成这种分布格局的原因是走廊东部及祁连山北麓降水较多,未利用地及荒漠较少,而走廊地带人口较多,靠近内蒙古地区降水较少,土地荒漠化严重。

(2) 就行政区划的横向静态对比来看,人均生态赤字比较严重的有嘉峪关市、金川区、玉门市、酒泉市、敦煌市、阿克塞县及张掖市,总生态赤字比较严重的有嘉峪关市、金川区、酒泉市、张掖市和武威市,这些县市(区)生态赤字严重的原因或由于人口相对集中,造成可利用土地与人口比例的失衡,或由于土地沙漠化严重,可利用土地较少,或二者兼而有之。

(3) 从河西走廊生态赤字/盈余的动态变化来看,各县市(区)生态足迹持续增长,生态足迹增长的原因一是由于人口数量的增长,二是由于人民消费水平的提高使得对生物生产性土地面积的占用增加;大部分县市(区)生态承载力 1995~2000 年上升,2000~2005 年下降,生态承载力前五年增长主要是由于对未利用地的开垦造成耕地面积的增加,后五年下降主要是由于退耕还林还草政策的实施,建筑用地对耕地的占用,造成耕地面积的减少,以及水域面积的持续减少。

5 结论与讨论

(1) 采用遥感影像解译的方法获得各种土地利用类型的面积,进而计算出生态承载力,具有准确、快速的特点,在生态承载力的计算中采用遥感影像和地理信息系统相结合的方法是可行的。

(2) 本论文提出了生态足迹和生态承载力预测的模型方法。在生态足迹的预测中,

采用消费预测模型与人口模型相结合的方法预测未来生态足迹, 在生态承载力的预测中, 采用地理元胞自动机方法预测未来土地利用结构, 进而计算未来生态承载力。

(3) 在生态足迹的预测中假定人口数量和消费与生态足迹之间的弹性指数均为 1, 即人口数量增加一倍或消费增加一倍, 生态足迹也增加一倍, 对于短期的生态足迹预测采用这种方法是基本可行的, 但对于中长期的生态足迹预测由于没有考虑到技术进步的影响, 预测具有局限性。作者将在以后撰文研究技术进步、人口数量和节约消耗等对生态足迹的敏感性分析。

(4) 在进行生态承载力的预测时, 只考虑到了各种土地利用类型面积的变化而没有考虑土地生产力的变化对生态承载力的影响, 这在进行大尺度的生态承载力测算时, 由于产量因子采用的是研究区域的平均值, 计算结果偏差不大, 但在进行小尺度的区域生态承载力测算时计算结果会有一定的偏差。下一步在生态承载力的预测中将更多地借助遥感手段, 采用遥感技术测算土地生产力。

致谢: 感谢国家林业总局林业规划院高级工程师夏朝宗先生的帮助。

参考文献:

- [1] Wackernagel M, Ree W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Isld, BC. and Philadelphia, PA. 1995.
- [2] Ree W E, Wackernagel M. Appropriated carrying capacity: Measuring the natural Capital requirements of the human economy. In: Jansson A, *et al.* (eds.). Investing in Natural Capital: Ecological Economics Approach to Sustainability. Island Press, Washington, DC. 1994.
- [3] Ree W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. Urban, 1992, 4: 121~130.
- [4] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型. 生态经济, 2000, (10): 8~10.
- [5] 陈东景, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西北地区的生态足迹. 冰川冻土, 2001, 23(2): 164~169.
- [6] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年的生态足迹分析. 土壤学报, 2002, 39(3): 441~445.
- [7] 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨——以新疆为例. 干旱区地理, 2001, 24(4): 305~309.
- [8] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55(5): 607~616.
- [9] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. 生态学报, 2001, 21(9): 1484~1493.
- [10] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22(5): 654~662.
- [11] 王桥, 阎守邕, 赵健. 地理信息系统中的区域规划模型及管理. 北京: 宇航出版社, 1998.
- [12] 蒙古军, 李正国, 吴秀芹. 1995~2000 年河西走廊土地利用变化研究. 自然资源学报, 2003, 18(6): 645~651.
- [13] 朱德举. 土地评价. 北京: 大地出版社, 2002.
- [14] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 宋如华, 齐实, 孙保平, 等. 区域土地资源的适宜性评价和空间布局. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(3): 23~30.
- [16] 武强, 陈萍, 董东林, 等. 基于 GIS 技术的农业土地适宜性综合评. 工程勘察, 2001, (4): 44~47.
- [17] 陈佑起, Peter H. Verburg. 基于 GIS 的中国土地利用变化及其影响模型. 生态科学, 2000, 19(3): 1~7.
- [18] 韦素琼, 陈键飞. 福建省土地利用动态变化及趋势预测. 福建师范大学学报(自然科学版), 2003, 19(4): 85~91.
- [19] 侯西勇, 常斌, 于信芳. 基于 CA—Markov 的河西走廊土地利用变化研究. 农业工程学报, 2004, 20(5): 286~291.
- [20] 刘明华, 董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价. 地理研究, 2006, 25(5): 930~938.

The research of ecological footprint and ecological carrying capacity prediction model based on space

CHANG Bin^{1,2,3}, XIONG Li-ya¹, HOU Xi-yong^{1,2}, DING Yi⁴

1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Liaohe Oil Field Company, PetroChina, Panjin 124000, China;

4. Xinjiang Oil Field Company, PetroChina, Karamay 834000, China)

Abstract: In recent years the ecological footprint (EF), originally developed by Wackernagel and Rees in the mid-1990s (Wackernagel M and Rees W, 1996, 1997), has gained much attention in ecological economics. This method tracks natural resources consumption of a nation or a region and translates them into biologically productive land area, which is required to produce the resources and to assimilate the wastes. EF calculation should be based on different scales (globe, nation, region, city or individual) of consumption. And then we can compare the EF and the ecological capacity (EC) of the same scale to determine the ecological status of this scale. Most of the researchers used statistical data and models to calculate EF and EC; however, the calculation is static. Moreover, the theory and methodology of EF and EC prediction have not been developed in literature so far. This paper is one of the few quantitative studies of EF and EC predictions.

In the paper, the concept, theory and method of ecological footprint are introduced which can measure the goal of sustainability. On the basis of it, the study brings forward the method of EF and EC prediction. In terms of EF prediction, the method of combining consumption model with population model is adopted while for EC prediction the method of combining geographical cellular automata with GIS is used. The above models and methods are employed to calculate EF and EC in 1995 and 2000 and predict them in 2005 in Hexi Corridor. The result shows that EF is continually increasing, and EC ascended in the anterior five years and will descend in the posterior five years. This calculation and prediction model method is characterized by accuracy, speediness and high operability but the prediction method is of limitation to a certain degree.

Key words: RS; GIS; ecological footprint; ecological carrying capacity; cellular automata; land suitability