

基于土壤类型区的冀西北间山盆地生态服务价值研究 ——以怀来县为例

袁大鹏¹, 石 垚¹, 赵雪杉¹, 牛志君¹, 封 乾¹, 王树涛²

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘 要:为研究不同土壤类型区的土地生产力,对生态服务价值产生一定的影响。根据怀来县 3 期土地利用现状图、土壤类型图以及野外调查结果为基础数据,以土壤类型区为评价单元,利用怀来县 2012 年各土壤类型区的粮食基准单产对谢高地等提出的生态系统服务价值当量因子表进行了区位修正,定量分析了怀来县 1992—2012 年各土壤类型区的土地利用类型的数量变化,同时重点开展了不同区位的土地生产力差异分析以及各地类在土壤类型区上的生态服务价值和土地生态服务功能结构信息熵指标的分析。结果表明:各区位土地利用变化主要以林地、建设用地、园地缓慢增加,耕地、未利用地缓慢减少为总体特征;粮食产量分布由西北向东南呈递减趋势,各区位土地生产力大小依次为灌淤土>潮土>水稻土>褐土>粗骨土>风沙土>棕壤;生态服务价值总体上由南北山地丘陵区向中间盆地依次递减,褐土区最大为 126 013.93 万元/a,水稻土区最小 56.15 万元/a,主要由林地和园地支撑;棕壤区、粗骨土区、灌淤土区、风沙土区、水稻土区的土地生态服务功能结构信息熵指标 H_f 分别为 0.32, 0.65, 0.34, 0.82, 0.86, 说明此区域的土地利用程度较为有序,结构性较强,有利于生产活动的开展;褐土区、潮土区的 H_f 分别为 1.04, 1.68, 说明此区域的土地利用程度有序性较差,结构稳定性较弱,土地生态系统的健康程度低,不利于生产活动的展开。该区域整体上土地利用程度保持稳定状态。

关键词:土壤类型;土地利用;生态服务价值;怀来县

中图分类号:S155; F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0307-08

Study on the Ecological Service Value of the Mountainous Basin in the Northwest of Hebei Province Based on the Soil Type Region —A Case Study of Huailai County

YUAN Dapeng¹, SHI Yao¹, ZHAO Xueshan¹, NIU Zhijun¹, FENG Qian¹, WANG Shutao²

(1. College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: In order to study a certain influence of the land productivity of different soil types on ecological service value, according to the status quo of land use in Huailai County, soil type map and field survey results, the soil type area is used as the evaluation unit, and the grain yield of Hualai County in 2012 is based on the grain yield, the number of land use types in the soil type areas of Huailai County from 1992 to 2012, and the differences in land productivity in different areas, as well as the value of ecological service and the information entropy index of functional structure of land ecological service were quantitatively analyzed. The results showed that the land use change was featured as the slow increase of forestland, construction land and garden land, and the decrease of cultivated land and unused land. The distribution of grain yield was decreasing from northwest to southeast, and the land productivity decreased in the order: the anthropogenic-alluvial soils>moisture soil>paddy soil>cinnamon soil>skeleton soil>aeolian sandy soil>brown soil; ecological service value decreased in general from the north and south mountainous hilly area to the middle basin, the ecological service value of cinnamon area maximum was 1.260×10^9 yuan/year, the paddy soil area is the smallest, and ecological service value of the paddy soil area was 5.615×10^5 yuan/year, which were mainly

收稿日期: 2017-04-24

修回日期: 2017-05-10

资助项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费(201311060); 河北省科技支撑计划(132276329)

第一作者: 袁大鹏(1994—), 男, 河北承德人, 硕士生, 研究方向为土壤与土地资源持续利用。E-mail: 1020081065@qq.com

通信作者: 王树涛(1978—), 男, 河北威县人, 副教授, 博士, 主要从事土地资源持续利用研究。E-mail: wangst@hebau.edu.cn

supported by woodland and garden. The information entropy index of H_f in the brown soil area, coarse soil area, irrigated soil area, sandy soil area and paddy soil area were 0.32, 0.65, 0.34, 0.82, 0.86, respectively, indicating that the land use degree in these areas were relatively orderly and structurally strong, which was beneficial to the development of production activities. The H_f of cinnamon soil and tidal soil area were 1.04, 1.68, respectively, suggesting that the land use degree of this area was poorly ordered, the structural stability was weak, the health degree of the land ecosystem was low, which was not conducive to the development of the production activities. The extent of land use in the region remains stable as a whole.

Keywords: soil type; land use; ecological service value; Huailai County

土地是人类赖以生存的重要资源之一^[1]。土地利用又是人类作用于自然最为关键的环节,地域土地利用/覆被的研究已被列为“国际地圈生物圈计划(IGBP)”的关键组成部分^[2]。土地利用/覆被变化必定对生态系统的结构和功能产生影响,其变化程度对保护生态服务功能起着决定性的作用^[3-4]。生态系统服务是指人类直接或间接从生态系统的结构、过程和功能中得到的利益^[5]。生态服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持人类赖以生存的自然环境条件与效用,其在土地利用/覆被中主要表现为人们为了切身利益,而改变了土地的利用方式,相应的土地系统的生态服务价值也产生剧烈变化^[6-7]。随着各种生态问题的出现,国内外相关人士开始关注土地生态系统的生态服务价值,并开展大规模的研究,取得了不小的成果,如 Costanza 等^[5]把全球生态服务功能划分为 17 种主要类型,并求取了全球各地类的生态服务价值;欧阳志云等^[6]评估了中国陆地生态系统的 6 种服务功能及其生态经济价值;谢高地等^[8]建立了中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值,并计算出各地类单位面积上不同功能的生态系统服务价值的总和。近年来,随着大气变暖、生物量锐减和土地荒漠化等全球性生态环境问题的加剧,对生态服务功能研究越来越迫切。其他国内学者从生态系统不同尺度、不同方法等多方面开展了研究,如对海河上游、伊犁河流域、长白山地区以及海南岛和青藏高原等多个地区进行了生态服务价值的定量评估^[9-13]。

在前人研究的基础上,把怀来县分为 8 个土壤类型区,以其做为评价单元,分析怀来县 20 年间各区位的土地数量变化,在此基础上,以粮食平均单产进行区位修正,分析不同土壤类型区土地生产力差异性以及生态服务价值的变化,反映其生态环境效应,为该区域提高土地利用效率和生态系统保护提供依据。

1 研究区概况

怀来县处于河北省西北部,燕山山脉西部,地处于东经 $115^{\circ}16'$ — $115^{\circ}58'$,北纬 $40^{\circ}04'$ — $40^{\circ}35'$,东与北京市

延庆县相邻,北与赤城县毗邻,西与下花园区、涿鹿县相接。地貌主要分布有南北山地丘陵区、河川平原区;地势主要是从中央盆地向南北部延伸,其东南部低西北部高,平均海拔 792 m 左右;4 条主要河流,均属海河水系,气候属于中温带半干旱季风气候,植被复杂,山地坡度大,易发生水土流失;位置独特和资源雄厚,国民经济快速发展,综合实力不断增强。怀来县土壤类型主要是由 7 个土类和 10 个亚类,104 个土种组成,其中包括灌淤土、草甸土、风沙土及褐土等。该县受到地形地貌和母质等地质因素影响,县内土壤分布有 3 方面的特点:一是受到季节性河流的影响,土壤质地由沙变黏,地势从高到低;二是由于母质和地形共同影响,其地势由高到低,土壤呈垂直方向分布。三是由于地貌、水文和气候等方面的影响,土壤出现区域性分布。

2 数据来源与处理

2.1 数据来源

本研究的土地利用现状数据来源于怀来县 1992 年、2002 年、2012 年 Landsat TM/ETM+ 遥感影像;土壤类型分区数据来源于怀来县 1:25 万土壤图,通过 GIS 技术形成数字化图,该图的基本制图单元为土属,图例按照中国土壤发生学分类^[14],分为 7 个土类,9 个亚类(图 1);经济数据通过《怀来县统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编》得到研究区的社会经济发展状况的基础资料;粮食产量分布来源于河北省怀来县农用地分等定级项目成果,通过野外调查,全域布置样点数 248 个,通过克里金空间插值法得到产量的分布图(图 2),采用自然间断法,每 50 kg 为一级,分为 6 个等级。

2.2 遥感数据处理

利用 ENVI 4.8 软件对 2012 年的遥感影像进行二次多项式几何校正,保证纠正后误差小于 0.5 个像元。将该遥感影像作为参考,采用 Image to Image 模块完成 1992 年、2002 年遥感影像自动配准,以行政区作为掩膜完成遥感图像的裁剪,采用监督分类并结合人机交互的方法完成遥感影像的分类,分别用代

码 1,2,3,⋯,6 来表示,并借助于地面实测数据(GPS 野外调查)来检验解译精度,随机选取若干样点,利用混淆矩阵法进行评价分析,结果表明 3 期遥感影像分类结果的总体精度分别为 83.83%,83.21%和 87.69%,解译精度均超过了 80%。根据国家一级地类划分标准,将该区域划分为耕地、林地、建设用地、园地、水域、未利用地 6 大类(图 3)。

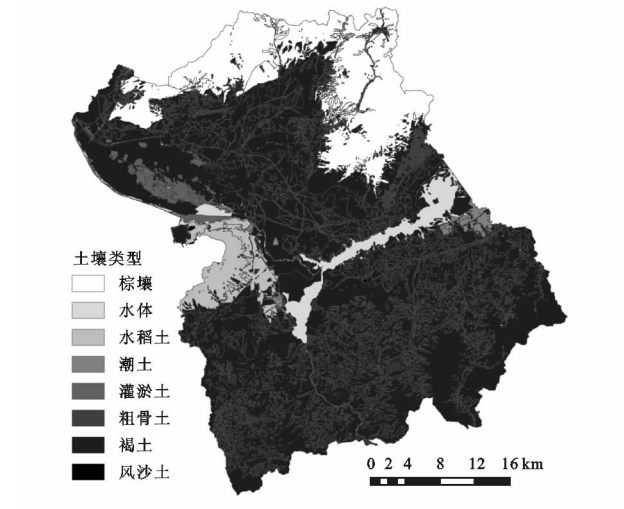


图 1 怀来县土壤类型

3 研究方法

3.1 生态服务价值评价方法

3.1.1 生态服务价值当量因子的确定 本文运用谢

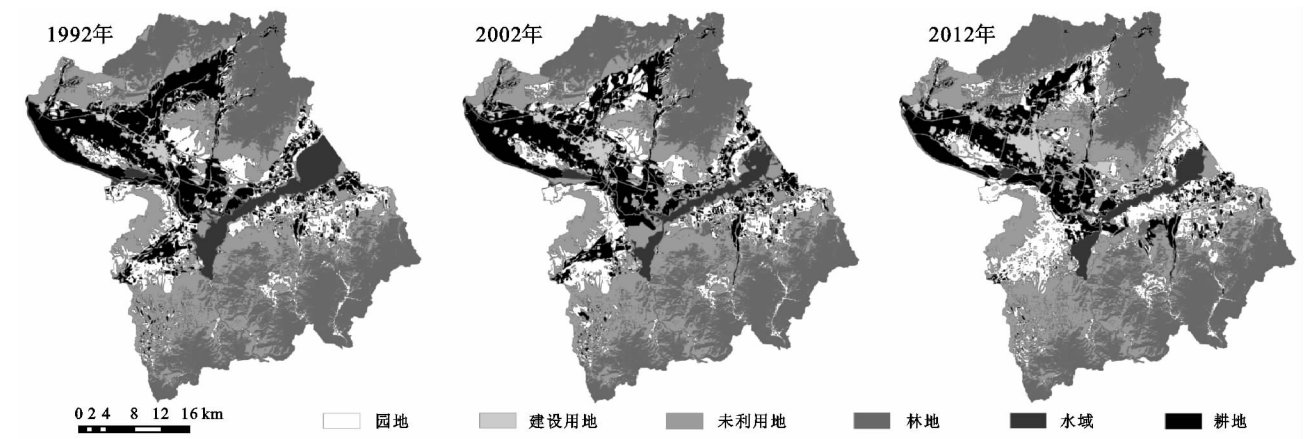


图 3 1992 年、2002 年、2012 年怀来县土地利用现状

3.1.2 怀来县生态服务价值单价计算 在进行怀来县生态服务价值量的核算时,首先将怀来县规划中提到的土地利用类型与生态系统类型建立一定的对应关系,按以下原则进行对应:耕地对应农田,林地对应森林,未利用地对应荒漠,水域对应水体;园地取草地和林地之和的 1/2^[15-17];其中草地的总面积为 0,则生态服务价值为 0。建设用地通过计算废气、废水、固体废弃物的排放以及对淡水资源的消耗进行估算得出,其值均为负^[18-20]。采用“中国生态系统服务价值当量因子表”和怀来县各区位单位面积农田平均粮食

高地的生态服务价值当量因子表^[8],对怀来县 2012 年各区位单位面积农田年平均粮食产量的经济价值进行修正,怀来县耕地生态系统单位面积食物生产功能价值当量因子为 1 hm² 平均产量的耕地每年自然粮食的产值,其他生态功能服务价值当量因子是指生态系统功能产生该服务时相对于农田食物生产功能贡献的大小,公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} p \cdot q \tag{1}$$

式中: E_a 为单位面积生态服务价值当量因子的经济价值(元/hm²); p 为怀来县当年粮食平均价格(元/kg); q 为怀来县各土壤类型区的当年粮食单产(kg/hm²)。

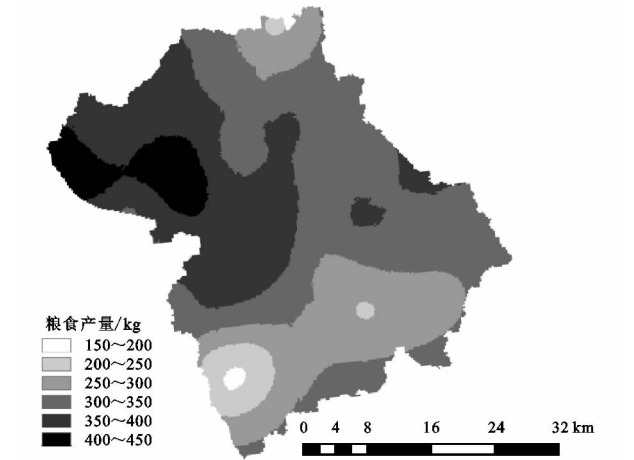


图 2 怀来县粮食产量分布

产量的经济价值,可得到怀来县各区位每种地类的单位面积的生态服务功能经济价值量^[21-22]:
 $E_{ij} = e_{ij} E_a (i=1,2,3,\cdots,9; j=1,2,3,4)$ (2)
式中: E_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价[元/(hm²·a)]; e_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子; i 为生态服务功能类型; j 为生态系统类型。
3.1.3 怀来县生态服务总价值计算 根据各种生态服务功能的价值单量和各地类面积可以计算出怀来县各区位生态服务功能的总价值^[23-26],其计算公式:

$$V = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^6 A_j E_{ij} \quad (i=1,2,3,\dots,9; j=1,2,3,4) \quad (3)$$

式中: V 为怀来县各土壤类型区的生态服务总价值(元); A_j 为怀来县土壤类型区各地类的分布面积(hm^2); E_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)。

3.2 生态服务功能的土地利用结构分析方法

由于采用面积指标无法分析不同土地利用类型带来的生态服务价值差异而产生的问题,宜采用土地生态服务功能结构信息熵指标,基于生态服务功能的土地利用结构分析,前提是除去无生态服务价值的建设用地。公式如下:

$$H_f = - \sum_{i=1}^N P_i \ln P_i \quad (4)$$

表 1 怀来县土壤类型分区特征及土壤特性

| 区位 | 亚类 | 分布及土壤特性 |
|------|-------|---|
| 棕壤区 | — | 分布在海拔大于 800 m 的中山区,山体走势较缓。透水性较差,易引起水土流失,多为林果业用地 |
| 褐土区 | 石灰性褐土 | 分布在海拔 60~150 m 的高丘陵区外围到岗地的过渡区域碳酸钙含量较高,呈弱碱性,气候相对干燥 |
| | 褐土性土 | 分布于高丘陵区的前缘地带以及山地余脉延伸部分。因地形因素限制,多用于林业和果业 |
| | 淋溶褐土 | 分布于南部山地水蚀切割强烈的低山区,多用于林业 |
| | 潮褐土 | 分布于河川的山前冲积物平原,土壤无盐化威胁,宜灌溉,抗旱力较强,是作物高产的农业区 |
| 粗骨土区 | 酸性粗骨土 | 分布在官厅水库周围,植被覆盖率高,土壤持水量较大,易发生水土流失。但生产性能不良,不宜农用 |
| 灌淤土区 | 盐化灌淤土 | 分布在洋河北岸,冲积物堆积而成,地面较为平坦,地下水位较浅,水源充沛 |
| 风沙土区 | 草甸风沙土 | 分布在官厅水库周围,通体多为砂壤质土,土壤呈中性至碱性反应 |
| 潮土区 | 黏壤质潮土 | 分布在官厅水库周围,地势平坦、土层深厚。水源充沛 |
| 水稻土区 | 潜育水稻土 | 分布于河川平原洋河北岸,冲积物堆积而成,地面较为平坦,地下水位高,供肥能力较差 |

4.1 基于土壤类型区的土地利用变化分析

1992—2012 年怀来县各土壤类型区土地利用变化很明显(表 2)。主要地类以林地和未利用地为主,各时期二者之和均超过 56%,证明怀来县对生态系统的保护很重视。3 个时期,研究区主要以耕地面积持续减少,建设用地、林地和园地面积持续增加为主要特征。其中耕地面积 20 年间共减少了 7 412.49 hm^2 ,建设用地的开发以及退耕还林政策的响应是其减少的主要原因;林地在 20 年间共增加了 2 824.83 hm^2 ,说明对生态保护的意识增强;建设用地在 20 年间共增加了 6 621.30 hm^2 ,说明怀来县的经济水平持续增长;园地在 20 年间共增加了 5 646.69 hm^2 ,随经济的发展,大部分耕地开始向利益更大的园地转型是其增加的主要原因。未利用地面积呈先增后减趋势,总体上 20 年间共减少了 4 009.23 hm^2 ,减少趋势要远远高于增加趋势,开发力度较大,提高了土地利用效率。

各区位的土地利用变化也非常明显。潮土区主要以林地和建设用地小幅度增加,耕地、园地和未利用地减少为主,林地增加最多为 58.14 hm^2 ,耕地较少为 1 161.27 hm^2 ,主要由于部分有盐碱危害、养分匮乏、不利于作物种植的耕地转变成了林地。粗骨土

式中: N 为地类类型; P_i 为土壤类型区各地类的生态服务功能价值 E_i 占各区位土地生态服务功能总价值 E 的百分比。 H_f 反映各土壤类型区的土地利用的有序程度。 H_f 越小,反映有序程度越高,结构性越强,表明土地生态系统的健康程度越高,越有利于生产活动的展开。当各土地类型的面积所占比例相等时,信息熵达到最大,即 $H_{\max} = \ln N$ 。

4 结果与分析

根据研究区母质类型及外业调查结果,怀来县土壤类型包含 7 个土类,9 个亚类(表 1),以各土类为研究区基本评价单元进行生态服务价值分析。

区以建设用地和未利用地增加、耕地减少为主,未利用地增加最多为 93.78 hm^2 ,主要由于生产性能不良,易发生水土流失,不宜农用。风沙土区除未利用地降低之外均有增加趋势,林地和园地上升幅度较大,分别为 539.82,268.2 hm^2 ,由于土体构型通体为砂壤质土,适于林业和农业发展。灌淤土区耕地和园地增加幅度较大,分别为 2 061.54,8 127.18 hm^2 ,地势平坦、水源充足是农作物和果树种植的最佳区域,其他地类变化不大。褐土区主要以建设用地增加,耕地、未利用地和园地减少为主,建设用地增加幅度较大为 6 248.79 hm^2 ,耕地减少最多为 7 949.34 hm^2 ,证明了该区域发展的动态趋势主要是耕地向建设用地转变。水稻土区的未利用地较多,占比均超过 75%。其他地类变化不太明显,应加大该地区的开发力度,增强其适宜性,提高土地利用效率。棕壤区林地和未利用地较多,二者之和均超过了 90%,由于地势高,水土流失严重,主要用于林地,同时加大未利用地的开发,增加生态用地数量,其他地类变化不明显。

4.2 基于土壤类型区的土地生产力差异分析

由表 3 可知,怀来县各区位土地生产力由大到小依次为:灌淤土>潮土>水稻土>褐土>风沙土>粗骨土区>棕壤。结合图 2 分析得到,粮食产量从西北

向东南呈递减趋势,粮食高产区主要分布在西部洋河北岸的灌淤土区、水稻土区和部分褐土区以及东部官厅水库周边的潮土区,平均粮食产量 5 250~6 750 kg/hm² 不等,该区域冲积物堆积而成,土层较厚,地面较为平坦,地下水位较浅,水源充沛,宜灌溉,土地生产力相对较强;中产区主要分布在官厅水库周围的粗骨土区、风沙土区以及坡度较大、海拔较高的中山地带的大部分褐土区,粗骨区虽然水源充沛,但由于母质特性,不宜耕种,风沙土区通体多为砂壤质土,土

壤呈中性至碱性反应,但土地生产力相对较低,褐土区分布较广泛,有着生产力最高的潮褐土壤质,但也有不适于农用的石灰性褐土,因此总体上来看该区域生产力并不高;低产区主要分布在东北部的大部分棕壤区和西南部的少部分褐土区,棕壤区分布在海拔大于 800 m 的中山区,山体走势较缓。透水性较差,易引起水土流失,多为林果业用地。综上分析,母质类型决定不同的土壤类型,继而使土地生产力产生本质上的差异,从而对生态服务功能产生一定的影响。

表 2 1992—2012 年怀来县各区位土地利用变化情况 hm²

| 区位 | 耕地 | | | 建设用地 | | | 林地 | | | 未利用地 | | | 园地 | | |
|------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1992 年 | 2002 年 | 2012 年 | 1992 年 | 2002 年 | 2012 年 | 1992 年 | 2002 年 | 2012 年 | 1992 年 | 2002 年 | 2012 年 | 1992 年 | 2002 年 | 2012 年 |
| 潮土区 | 1218.96 | 938.97 | 57.69 | 67.41 | 61.56 | 97.65 | 3.51 | 0.63 | 61.65 | 103.41 | 123.39 | 48.69 | 214.65 | 154.62 | 79.83 |
| 粗骨土区 | 45.27 | 289.26 | 0.99 | 17.10 | 19.35 | 79.38 | 311.22 | 311.58 | 340.02 | 14.58 | 13.59 | 108.36 | 68.31 | 727.29 | 218.25 |
| 风沙土区 | 89.28 | 29.70 | 129.96 | 122.76 | 99.72 | 178.83 | 3.69 | 23.40 | 543.51 | 120.42 | 77.04 | 117.54 | 89.91 | 51.93 | 358.11 |
| 灌淤土区 | 44.91 | 90.63 | 2106.45 | 546.66 | 614.61 | 760.77 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 320.22 | 655.56 | 416.97 | 1389.06 | 1493.64 | 9516.24 |
| 褐土区 | 29793.06 | 27852.12 | 21843.72 | 6432.30 | 8784.27 | 12681.09 | 27714.96 | 28028.07 | 27901.44 | 43172.55 | 44972.19 | 40488.21 | 25273.71 | 22798.35 | 20542.41 |
| 水稻土区 | 308.61 | 221.76 | 25.56 | 69.66 | 69.84 | 65.88 | 0.18 | 0.09 | 0.00 | 3246.84 | 3270.78 | 3747.24 | 636.39 | 2744.82 | 74.70 |
| 棕壤区 | 353.34 | 349.74 | 276.57 | 36.99 | 39.06 | 50.58 | 21858.39 | 22135.05 | 23870.16 | 4955.40 | 4347.36 | 2997.18 | 584.37 | 484.20 | 3113.55 |
| 总计 | 31853.43 | 29772.18 | 24440.94 | 7292.88 | 9688.41 | 13914.18 | 49892.04 | 50498.91 | 52716.87 | 51933.42 | 53459.91 | 47924.19 | 28256.40 | 28454.85 | 33903.09 |

表 3 各土壤类型区土地生产力差异

| 区位 | 潮土区 | 粗骨土区 | 风沙土区 | 灌淤土区 | 褐土区 | 水稻土区 | 棕壤区 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 粮食均产/(kg·hm ⁻²) | 4970 | 3450 | 3952 | 5420 | 4231 | 4527 | 2507 |

4.3 基于土壤类型区的生态服务价值分析

怀来县粮食单价根据《怀来县统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编》查出:2.1 元/kg,由公式(1)算出怀来县各土壤类型区单位面积农田平均粮食产量的经济价值(表 4)。采用谢高地的“中国生态系统服务价

值当量因子表”和怀来县各区位的单位面积农田平均粮食产量的经济价值,由公式(2)可计算出怀来县各区位单位面积的生态服务功能经济价值量。以下只列出褐土区不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表(表 5),其余 6 个区位计算方式相同其结果不在一一列出。

表 4 怀来县各土壤类型区单位面积农田平均粮食产量的经济价值

| 区位 | 潮土区 | 粗骨土区 | 风沙土区 | 灌淤土区 | 褐土区 | 水稻土区 | 棕壤区 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 粮食均产经济价值/(元·hm ⁻² ·a ⁻¹) | 1491.00 | 1035.00 | 1185.60 | 1626.00 | 1269.30 | 1358.10 | 752.10 |

表 5 怀来县褐土区不同陆地生态系统单位面积

| 功能 | 生态服务价值 元/(hm ² ·a) | | | |
|---------|-------------------------------|---------|---------|--------|
| | 耕地 | 园地 | 林地 | 未利用地 |
| 气体调节 | 634.65 | 1339.11 | 1662.78 | 0.00 |
| 气候调节 | 1129.68 | 2284.74 | 3427.11 | 0.00 |
| 水源涵养 | 761.58 | 2538.60 | 4061.76 | 38.08 |
| 土壤形成与保护 | 1853.18 | 3712.70 | 4950.27 | 25.39 |
| 废物处理 | 2081.65 | 1662.78 | 1662.78 | 12.69 |
| 生物多样性保护 | 901.20 | 2760.73 | 4137.92 | 431.56 |
| 食物生产 | 1269.30 | 253.86 | 126.93 | 12.69 |
| 原材料 | 126.93 | 1681.82 | 3300.18 | 0.00 |
| 娱乐文化 | 12.69 | 837.74 | 1624.70 | 12.69 |

将怀来县土壤类型分区图与 2012 年土地利用现状图在 ArcGIS 9.3 平台下进行空间叠加统计分析,获取不同区位的土地利用类型面积,并通过公式(3)和(4)分别计算不同区位的生态服务价值和生态服务

功能结构信息熵指标(表 6)。

棕壤区主要分布在海拔高于 800 m、坡度大于 50°的北部平缓中山区,土类比例 19.03%。林地面积最大为 23 870.16 hm²,占棕壤区面积的 78.89%;其产生的生态服务价值也最大,达到了 35 295.10 万元/a,占棕壤分区生态服务总价值的 91%。棕壤区虽然海拔高但是山势较缓,属于暖温带湿润气候区中生型落叶林下的土壤,多为林果业用地,由于棕壤的透水性较差,易引起水土流失,因此适宜开发为园地,面积为 3 113.55 hm²,其产生的生态服务价值为 3 149.59 万元/a。其他土地类型产生的生态服务价值相对较少。*H_f* 熵指标为 0.32,说明该区域的土地利用程度较为有序,结构性较强,这与棕壤区未开发的天然可再生的森林资源所维持的现状有关。

表 6 不同土壤类型分区生态服务功能结构信息熵

| 分区 | 项目 | 土地利用类型 | | | | H_f | 土类比例 | H_c |
|------|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| | | 耕地 | 林地 | 未利用地 | 园地 | | | |
| 棕壤区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 5197.01 | 14786.29 | 315.88 | 10115.75 | 0.32 | 19.03 | 0.84 |
| | A_i/hm^2 | 276.57 | 23870.16 | 2997.18 | 3113.55 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 143.73 | 35295.10 | 94.68 | 3149.59 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.00 | 0.91 | 0.00 | 0.08 | | | |
| 褐土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 8770.86 | 24954.44 | 533.11 | 17072.09 | 1.04 | 69.68 | |
| | A_i/hm^2 | 21843.72 | 27901.44 | 40488.21 | 20542.41 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 19158.83 | 69626.48 | 2158.45 | 35070.18 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.15 | 0.55 | 0.02 | 0.28 | | | |
| 粗骨土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 7142.54 | 20348.10 | 434.70 | 13920.75 | 0.65 | 0.42 | |
| | A_i/hm^2 | 0.99 | 340.02 | 108.36 | 218.25 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 0.71 | 691.88 | 4.71 | 303.82 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.00 | 0.69 | 0.00 | 0.30 | | | |
| 灌淤土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 11235.66 | 31967.16 | 682.92 | 21869.70 | 0.34 | 7.57 | |
| | A_i/hm^2 | 2106.45 | 0.09 | 416.97 | 9516.24 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 2366.74 | 0.29 | 28.48 | 20811.73 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | | | |
| 风沙土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 8192.50 | 23308.90 | 497.95 | 15946.32 | 0.82 | 0.72 | |
| | A_i/hm^2 | 129.96 | 543.51 | 117.54 | 358.11 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 7049.66 | 57066.21 | 26.04 | 26828.09 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.08 | 0.63 | 0.00 | 0.29 | | | |
| 潮土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 10302.81 | 29313.06 | 626.22 | 20053.95 | 1.68 | 0.16 | |
| | A_i/hm^2 | 57.69 | 61.65 | 48.69 | 79.83 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 59.44 | 180.72 | 3.05 | 160.09 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.15 | 0.45 | 0.01 | 0.40 | | | |
| 水稻土区 | 单位面积价值/(元·hm ⁻²) | 1290.75 | 3672.39 | 78.45 | 2523.60 | 0.86 | 2.42 | |
| | A_i/hm^2 | 25.56 | 0.00 | 3747.24 | 74.70 | | | |
| | $E_i/(\text{万元}\cdot\text{a}^{-1})$ | 3.30 | 0.00 | 29.40 | 18.85 | | | |
| | $P_i/\%$ | 0.06 | 0.00 | 0.57 | 0.37 | | | |

褐土区主要分布在海拔 60~500 m、坡度大于 10°~30°的北部高丘陵区外围、南部丘陵区岗地和东南部险峻山地区,占地面积最大,为 69.68%。未利用地面积最大为 40 488.21 hm²,占褐土总面积的 36.55%;其产生的生态服务价值却最小,仅占褐土分区生态服务总价值的 2%。褐土区虽然海拔低,但是峰谷陡深,属于暖温带温凉湿润水热条件,由于褐土区地形原因,多用于林业和果业,林地面积为 27 901.44 hm²,其产生的生态服务价值最大为 69 626.48 万元/a,占褐土分区生态服务总价值的 55%;其次园地的面积为 20 542.41 hm²,占褐土分区生态服务总价值的 28%;耕地面积为 21 843.72 hm²,但产生的生态服务价值相对少,占 15%。 H_f 熵指标为 1.04,这与褐土区各地类面积所占比例相当有关,说明该区域的土地利用程度有序性较差,结构稳定性较弱,不利于生产活动的开展,应将未利用地开发为园地和林地。

粗骨土区主要分布在中西部河川冲积扇平原区。林地面积最大为 340.02 hm²,占粗骨土区面积的 50.93%;其产生的生态服务价值也最大,达到了 691.88 万元/a,占粗骨土区生态服务总价值的 69%。粗骨土区植被覆盖率高,水量大,易引起水土流失,不宜农用,属于暖温带温暖偏干旱水热条件,因此适宜开发为园地,面积为 218.25 hm²,其产生的生态服务价值为 303.82 万元/a。其他地类产生的生态服务价值相对较少。 H_f 熵指标为 0.65,说明该区域的土地利用程度较为有序,结构性较强,这与粗骨土区未开发的天然可再生的森林资源所维持的现状有关。

灌淤土区主要分布在西部河川冲积物平原区,土类比例 7.57%。园地面积最大为 9 516.24 hm²,占灌淤土区面积的 79.04%;其生态服务价值也最大,达到了 20 811.73 万元/a,占灌淤土分区生态服务总价值的 90%。灌淤土区地下水位较浅,水源充沛,属暖温带温

暖偏干旱水热条件。其他地类产生的生态服务价值相对较少。 H_f 熵指标为 0.34,说明该区域的土地利用程度较为有序,结构性较强,有利于生产活动的展开。

风沙土区主要分布在中部河川冲积扇平原区,土类比例 0.72%。林地面积最大为 543.51 hm^2 ,占风沙土区面积的 47.30%;其生态服务价值也最大,达到了 57 066.21 万元/a,占风沙土分区生态服务总价值的 63%。风沙土区通体多为砂壤质土,开发利用潜力很大,有条件的地方还可以利用风沙土资源发展旅游业,属于暖温带温暖偏干旱水热条件。其他土地类型产生的生态服务价值相对较少。 H_f 熵指标为 0.82,说明该区域的土地利用程度较为有序,土地生态系统健康程度较高,有利于生产活动的展开。

潮土区主要分布在河川平原区,占地面积为 0.16%。园地面积最大为 79.83 hm^2 ,其产生的生态服务价值却占潮土分区生态服务总价值的 40%;而林地产生的生态服务价值最大为 180.72 万元/a,占潮土分区生态服务总价值的 45%。潮土区地势平坦、土层深厚,水源充沛,宜农用。 H_f 熵指标为 1.04,说明该区域的各土地类型所占比例相差不大,土地利用程度有序性较差,结构稳定性较弱,不利于生产活动的开展。

水稻土区主要分布在西部河川平原区,土类比例 2.42%。未利用地面积最大为 3 747.24 hm^2 ,占水稻土区面积的 97.39%;其生态服务价值也最大,达到了 29.40 万元/a,占水稻土分区生态服务总价值的 57%。水稻土区所处地形部位低洼,地下水位高,土温低,供肥能力差,属于暖温带温暖偏干旱水热条件。其他土地类型产生的生态服务价值相对较少。 H_f 熵指标为 0.86,说明该区域的土地利用程度较为有序,土地生态系统健康程度较高,有利于生产活动的展开。

以上分析可知,应加强对潮土区、灌淤土区的耕地保护,使其土地生产力达到最大化;加大对水稻土区、褐土区、粗骨土区的未利用地开发,由于水源、土层厚度等因子的限制,向着经济利益更大的园地开发;增加风沙土区、棕壤区的林地等生态用地,建设自然保护区等旅游产业。以各区位面积比例为权重,加权平均得到该区域生态服务功能结构综合信息熵 H_c 为 0.84,进一步反映出怀来县土地利用程度较为有序,结构稳定性好,土地生态系统健康程度较高,有利于生产活动的展开。

5 讨论与结论

5.1 讨论

本文通过各土壤类型区粮食平均单产进行区位

修正,分析怀来县 20 a 间各土壤类型区的土地利用变化、生态服务价值、土地利用生态功能结构得以表明:应该遵循“因地制宜”开发利用原则,集约节约利用土地和优化土地利用结构,促进土地类型的多样化、均匀化,有助于提高生态系统的稳定性和健康程度,也能增加土地利用生态服务功能的经济价值;在对土地开发利用的过程中,应加强和提高对土壤类型区的改良技术,例如工程预防棕壤区和粗骨土区的水土流失现象、种植抗盐碱作物改良灌淤区和潮土区的盐碱危害、人工加强水稻土区的肥力状况等等,提高土地的质量、农用地的作物产量以及土地利用效率,从而达到生态服务功能价值最大化、经济利益最大化。想要通过更加合理的土地利用优化配置方式来改善生态环境,还有待于进一步研究。

5.2 结论

(1) 以怀来县土壤类型区为基本评价单元,对怀来县 3 期的土地利用现状图进行分析,20 年间以耕地、未利用地缓慢减少,建设用地、林地、园地缓慢增加为总体特征。其中灌淤土区耕地面积和园地面积增长较快分别为 2 061.54,8 127.18 hm^2 ,其他区位均呈持平或下降趋势;褐土区的建设用地面积增加最多为 6 248.79 hm^2 ,主要开发了未利用地;棕壤区和风沙土区的林地增长较快。说明怀来县土地利用方式遵循“因地制宜”地原则,以达到效率与利益最大化。

(2) 通过怀来县各土壤类型区的粮食产量分析土地生产力的差异性,总体上由西北向东南呈递减趋势,依次为灌淤土>潮土>水稻土>褐土>粗骨土>风沙土>棕壤。以此来修正各区位的生态服务总价值,依次为褐土区(126 013.93 hm^2)>风沙土区(90 970.01 hm^2)>棕壤区(38 683.10 hm^2)>灌淤土区(23 207.23 hm^2)>粗骨土区(1 001.11 hm^2)>潮土区(403.29 hm^2)>水稻土区(56.15 hm^2),不同区位生态服务价值的主要支撑地类主要是林地和园地,这与林地和园地面积持续增加有关。总体上说,耕地面积持续减少是生态服务价值减少的主要原因,建设用地的大幅度增加加剧了生态服务价值的减少,这与各区位土地利用变化方式保持一致,同时生态服务价值反映了土地利用结构生态质量的优劣。

(3) 棕壤区、粗骨土区、灌淤土区、风沙土区、水稻土区的土地利用程度较为有序,结构性较强,有利于生产活动的开展;褐土区、潮土区的土地利用程度有序性较差,结构稳定性较弱,土地生态系统的健康程度低,不利于生产活动的展开。该区域整体上土地利用结构处于较合理的状态。

参考文献:

- [1] 蔡璐. 论社会发展与土地资源的保护[J]. 资源与人居环境, 2009(2): 54-55.
- [2] 刘军会, 高吉喜, 聂亿黄. 青藏高原生态系统服务价值的遥感测算及其动态变化[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(3): 81-84.
- [3] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996(6): 553-558.
- [4] 熊惠波, 周燕芳, 江源, 等. 扎鲁特旗土地利用变化中的生态损益估算[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 98-103.
- [5] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [6] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-639.
- [7] 王广成, 李中才. 基于时空尺度及利益关系的生态服务功能[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4758-4765.
- [8] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [9] 郝慧梅, 任志远. 基于生态服务价值的土地利用/覆盖变化生态效应测评[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 90-97.
- [10] 高清竹, 何立环. 海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 706-712.
- [11] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 887-894.
- [12] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估[J]. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247-252.
- [13] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探: 以海南岛尖峰岭热带森林为例[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481-484.
- [14] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [15] 徐立. 土地利用变化对长沙市生态系统服务价值的影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [16] 杜金龙. 土地利用变化及其对生态系统服务价值影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [17] 宗跃光, 陈红春, 郭瑞华, 等. 地域生态系统服务功能的价值结构分析: 以宁夏灵武市为例[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 148-155.
- [18] 邓舒洪. 区域土地利用变化与生态系统服务价值动态变化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [19] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 887-894.
- [20] 段瑞娟, 郝晋珉, 张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 9(22): 21-28.
- [21] 王宗明, 张柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 55-61.
- [22] 刘小翠. 露天矿区生态系统服务价值的动态变化研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- [23] 陈美球, 赵宝苹, 罗志军, 等. 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2761-2767.
- [24] 周飞, 陈士银, 吴明发. 土地利用结构变化及其生态服务功能响应: 以广东省湛江市为例[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(5): 76-79.
- [25] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 631-639.
- [26] 吴后建, 王学雷, 宁龙梅, 等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响: 以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 185-190.

~~~~~  
(上接第 306 页)

- [20] 闵庆文, 张永勋, 赵贵根. 三江源移民安置区农户能源利用及对生态环境影响: 以贵南县为例[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2018-2025.
- [21] 贾耀锋. 中国生态移民效益评估研究综述[J]. 资源科学, 2016, 38(8): 1550-1560.
- [22] 杨显明, 米文宝, 齐拓野, 等. 宁夏生态移民效益评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 16-23.
- [23] 肖建红, 王敏, 于庆东, 等. 基于生态足迹的大型水电工
- 程建设生态补偿标准评价模型: 以三峡工程为例[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2726-2740.
- [24] 刘小鹏, 王亚娟. 我国生态移民与生态环境关系研究进展[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2013, 34(2): 173-176.
- [25] 王屏, 戴年华, 欧阳雪莲, 等. 中西方森林游憩者生态行为影响研究: 基于解说驱动机制视角[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3666-3677.
- [26] 张乐, 王观湧, 霍习良, 等. 基于适宜粒度的曹妃甸新区土地利用景观格局分析[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1149-1156.