

宁夏回族自治区土地利用变化及碳排放效应

郑永超, 文琦

(宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

摘 要:土地利用类型的改变是影响区域碳排放量的重要因素,土地利用类型的开发不当会影响当地碳平衡。采用 2000—2016 年宁夏的土地利用类型数据和能源消费数据,通过构建碳排放模型及计算相关指数,对宁夏 16 年来不同土地利用碳排放效应进行了分析。结果表明:(1) 宁夏土地利用的碳排放量呈显著增加趋势,增长率达到 199.11%,但在 2012 年后增速变缓。(2) 2000—2002 年宁夏最大碳源是耕地,2002—2016 年宁夏最大碳源是建设用地,宁夏最大的碳汇是林地,林地增加的碳吸收量小于建设用地增加的碳排放量,建设用地的增加是碳排放的主要因素。(3) 土地利用碳排放风险指数呈每年增长的趋势,在 2012 年后增速变缓。碳排放压力指数在 2012 年达到峰值以后下降。说明宁夏在 2012 年以后在经济发展过程中节能减排的效果显著,与生态的关系好转。(4) 宁夏的减排重点在减少建设用地与耕地的碳排放的同时,加大林地与牧草地的覆盖率,提高其碳吸收能力。

关键词:土地利用变化;碳源;碳汇;宁夏自治区

中图分类号:F301.24; X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0207-06

Change of Land Use and the Carbon Emission Effect of Ningxia Autonomous Region

ZHENG Yongchao¹, WEN Qi¹

(School of Resources and Environment, NingXia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The change of land use is the main factor influencing the regional carbon emission, the inappropriate development of the land use will break the local carbon balance. This paper analyzes the carbon emission effect for the different land uses in Ningxia in the past 16 years on the basis of the land use data and energy consumption data of Ningxia from 2000 to 2016. The results show that: (1) the carbon emission of the land use in Ningxia increased, and the increasing rate reaches to 199.11%, while the increasing level is getting slower after year of 2012; (2) from 2000 to 2002, the largest carbon source was farm land in Ningxia; from 2002 to 2016, the largest carbon source was construction land in Ningxia; the largest carbon sink is woodland, the increased carbon absorption of woodland was less than the increased carbon emission of construction land, and the increase of the construction land is the main factor causing carbon commission; (3) the index of carbon emission by land use increased every year, and the increasing level was getting slower after year of 2012; the index of carbon emission pressure declined in 2012 after reaching the peak value, showing that the energy conservation and emission reduction had the positive effect on the environment in the process of economic development after year of 2012; (4) the key point of carbon emission reduction in Ningxia is to increase the coverage rate of woodlands and grazing land and improve the carbon absorption ability greatly when reducing the carbon emission of construction land and farm land.

Keywords: change of land use; carbon source; carbon sink; Ningxia Autonomous Region

自中国改革开放以来,工业发展迅速,但也迅速成为碳排放量大国。如何在发展的过程中做好节能减排,是我国值得关注的问题。碳排放一方面是社会经济发展必然的产物,另一方面也是生态环境变化尤

其是全球气温升高重要原因,而土地利用类型变化是影响一个地区碳排放量的重要原因。最早进行土地利用类型变化对碳排放量影响的研究是 20 世纪 90 年代,Houghton R A 等对全球某些区域土地利用的变

收稿日期:2019-03-06

修回日期:2019-03-23

资助项目:国家自然科学基金“陕甘宁蒙产业同构”(41661042)

第一作者:郑永超(1993—),男,山东潍坊人,硕士,主要研究方向为区域可持续发展。E-mail:1102164053@qq.com

通信作者:文琦(1979—),男,宁夏彭阳人,博士(后),教授,硕士生导师,主要研究方向为乡村发展与贫困化。E-mail:wenq98@163.com

化对大气中二氧化碳量的影响进行研究^[1-2],我国在 21 世纪初以来对土地利用变化对碳排放量影响的研究逐渐丰富,主要有葛全胜等人对我国过去三百年以来土地利用类型和植被覆盖面积增减导致的碳排放量变化的研究^[3];李颖等对江苏省各类土地利用类型变化导致碳排放量改变作了研究^[4];赵荣钦等在江苏省能源消费和土地利用类型的变化分别对碳排放量的影响进行研究^[5],后来众多学者在不同省份和不同市县层面都对土地利用类型变化对碳排放的影响进行分析^[6-10],并且在后来的研究中逐渐关联其他因素对碳排放的影响和碳排放量变化对生态环境等要素的影响。

现如今对于土地利用碳排放的研究已经逐渐丰富到各个层面,接下来的一部分研究应更多关注一些特殊自然条件区域与区域之间的差异性。宁夏回族自治区由于其独特的社会、经济、地理环境等特点与其他地方相比具有一定的独特性。近些年来,宁夏土地整治工作逐步推进,城乡融合发展进展迅速。本文根据宁夏回族自治区土地利用变更数据及能源消费资料,运用碳排放计量模型对宁夏 2000—2016 年不同土地利用碳排放效应进行研究,以期可为宁夏回族自治区制定碳减排政策、构建低碳土地利用模式和完成生态文明建设提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

宁夏回族自治区处在黄河上游,东邻陕西,北部接内蒙古,西南、南部和东南部与甘肃相连。南北相距约 456 km,东西相距约 250 km,总面积为 6.64 万 km²,辖 5 个市。从地形分布来看,自北向南为贺兰山地、宁夏平原、鄂尔多斯草原、黄土高原、六盘山地等,平均海拔在 1 000 m 以上。宁夏回族自治区是中国水资源最少的省区,大气降水、地表水和地下水都十分贫乏,且空间上、下分布不均,时间上变化大。宁夏近几年,完成营造林 1 000 km²,荒漠化治理 600 km²,城市建成区绿地率达 37.2%,森林覆盖率达 14.6%,全区城

镇化率提高到 58.9%。

本文土地利用类型基础数据来源于 2000—2016 年的《宁夏统计年鉴》。能源消耗数据来源于 2000—2016 年的《中国能源统计年鉴》。收集到的土地利用数据主要包括耕地、园地、林地、草地、水域、建设用和其他用地合计数据,建设用地包含有城镇村及工矿用地、交通运输用地。为显著表现各种土地利用类型变化特征,本文以两年为一个时间点进行研究分析。

1.2 研究方法

本文的土地利用类型根据《宁夏统计年鉴》中对于自然资源状况土地利用划分和第二次全国土地调查,结合宁夏本地主要土地利用类型,将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地和其他用地 7 类。土地利用变化碳排放有直接碳排放和间接碳排放。土地利用直接碳排放主要是指直接将土地作为劳动对象,因为土地利用方式的变化而导致的碳排放;土地利用间接碳排放是指将土地作为一个载体,在土地上进行的人为活动导致的碳排放。研究区域是宁夏回族自治区,本文不考虑宁夏不同县(市)域间接碳排放与吸收系数的差别。

1.2.1 土地利用类型碳排放估算模型 本文采用直接碳排放估算方法与间接碳排放估算方法相结合的对不同土地利用类型的碳排放量进行计算。

土地利用类型直接碳排放估算采用直接碳排放系数法对不同的土地利用类型的碳排放量进行估算^[11-12],计算公式见式(1):

$$E_k = \sum e_i = \sum T_i \delta_i \tag{1}$$

式中: E_k 是直接碳排放量; e_i 是不同的土地利用类型的碳排放量; T_i 为各土地利用类型面积; δ_i 是各类不同土地利用类型的碳排放和碳吸收系数,碳排放是正数,碳吸收是负数。式中的 i 代表了本文所涉及的 7 种不同的土地利用类型。本文所采用的各种土地利用类型的直接碳排放系数采用前人的研究上^[13-19]根据宁夏实际情况确定系数(表 1)。

表 1 不同土地利用类型碳排放系数

| 土地利用类型 | 耕地 | 园地 | 林地 | 牧草地 | 水域 | 其他用地 |
|--|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 碳排放系数/(kg·m ⁻² ·a ⁻¹) | 0.4595 | -0.073 | -0.6125 | -0.0205 | -0.0253 | -0.0005 |

建设用地的碳排放量采用间接估算的方法。建设用地承载了大量的人类活动消耗的能源,不能直接利用建设用地面积数据计算^[13]。本文通过计算在建设用地进行的生产生活活动所排放的碳排量来间接表示建设用地的碳排放量。根据宁夏的实际情况,本文选择了煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气 8 种能源(本文认为电力的排放因子为零,宁夏区内以火电为主,电力碳排放量包含在煤炭、焦炭的碳排放量中),2000—2016 年宁夏能源消费量(表 2)。建设用地的碳排放量计算公式

见式(2)^[20-21]:

$$E_x = \sum e_j = \sum m_j \cdot n_j \cdot \epsilon_j \tag{2}$$

式中: E_x 是建设用地的碳排放量; e_j 是 13 种能源中第 i 种能源的碳排放量; m_j 是第 i 种能源的消耗量; n_j 是第 i 种能源的标准煤转换系数; ϵ_i 是第 i 种能源的碳排放系数。

1.2.2 不同土地利用类型与当地生态关系分析 碳排放风险指数计算。土地利用类型的改变会对本区域的生态风险造成影响,本文构建不同土地利用类型的碳排放生态风险指数,用于表征研究区内综合碳排

放风险的相对大小^[21-22]。计算公式见式(3):

$$C_{RI} = \frac{\sum_i S_j P_j}{S}$$
 (3)

式中: C_{RI} 是宁夏土地利用碳排放风险指数; S_j 是研究区第 j 类土地类型面积; S 是研究区总面积; P_j 是

第 j 类土地利用土地类型的碳排放系数; $j = 1, 2, 3, \cdots, 7$ 。碳排放生态风险指数越大,表示碳排放风险程度越高,反之,则越低^[22]。值得注意的是本公式 $S_j P_j$ 是土地利用的碳排放量,因此在计算建设用地的部分可以直接用建设用地碳排放量表示。

表 2 2000—2016 年宁夏回族自治区能源消费量

| 年份 | 总量/ 10 ⁴ tec | 煤炭/ 10 ⁴ t | 焦炭/ 10 ⁴ t | 原油/ 10 ⁴ t | 汽油/ 10 ⁴ t | 煤油/ 10 ⁴ t | 柴油/ 10 ⁴ t | 燃料油/10 ⁴ t | 天然气/ 10 ⁴ m ³ |
|------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--|
| 2000 | 1179 | 1042.00 | 28.91 | 92.62 | 10.50 | 0.04 | 11.22 | 33.13 | 0.12 |
| 2002 | 1378 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2004 | 2322 | 2761.00 | 114.83 | 159.10 | 35.49 | 4.13 | 68.94 | 3.98 | 6.77 |
| 2006 | 2802 | 3490.00 | 126.16 | 174.42 | 18.97 | 2.25 | 78.14 | 0.98 | 7.94 |
| 2008 | 3229 | 4287.00 | 237.98 | 183.75 | 20.66 | 3.72 | 96.51 | 1.98 | 11.00 |
| 2010 | 3681 | 5765.00 | 228.90 | 175.77 | 23.00 | 5.16 | 106.00 | 39.76 | 15.48 |
| 2012 | 4562 | 8055.00 | 377.55 | 424.12 | 23.36 | 7.32 | 111.32 | 20.62 | 20.48 |
| 2014 | 4946 | 8857.00 | 386.87 | 426.15 | 21.77 | 0.03 | 123.38 | 30.19 | 17.88 |
| 2016 | 5592 | 8665.09 | 450.61 | 576.35 | 28.99 | 0.02 | 124.03 | 82.15 | 22.40 |

碳排放压力指数计算。本文为了能反映人类社会对区域生态环境的扰动影响,计算研究区域的碳足迹压力指数;陆地生态系统碳源与碳汇效应之比^[23]。计算公式见式(4):

$$C_p = \frac{C_m}{C_s}$$
 (4)

式中: C_p 是碳足迹压力指数; C_m 是不同土地利用方式的碳源; C_s 是不同的土地利用方式的碳汇。当 $C_p \leq 1$ 时,说明该区域土地利用类型碳排放小于等于碳吸收,表明该区域生态系统碳平衡稳定,当 $C_p > 1$ 时,说明该区域土地利用类型碳排放大于碳吸收,说明该区域生态系统碳平衡失调,给当地的碳循环生态系统造成的压力过大。

1.2.3 土地利用动态度模型 为量化分析宁夏土地利用变化情况,研究引入土地利用动态度模型^[24]。见式(5)

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$
 (5)

式中: K 代表单一土地利用动态度; U_a 和 U_b 为研究时段初、末的面积; T 为研究时段长度。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型面积变化分析

根据宁夏 2000—2016 年不同土地利用类型面积动态变化统计结果显示(表 3),宁夏不同土地类型主要为耕地、林地、牧草地,而园地、水域、建设用地较少,由大到小排序依次为牧草地>耕地>林地>其他土地>建设用地>水域>园地。2000—2016 年不同类型土地面积增长幅度中,耕地、林地、园地、建设用地的为正增长,牧草地、其他用地为负增长,由大到小序依次为林地>建设用地>园地>水域>耕

地>其他用地>牧草地。宁夏 2000—2016 年 16 a 间的耕地、园地、林地、水域、建设用地的土地利用动态度是正值,牧草地与其他用地为负值。其中林地的土地利用动态度为 9.85%,土地利用类型变化率是 177.38%,面积增加了 49.1 万 hm²,变化最明显,说明宁夏的退耕还林效果显著;建设用地的土地利用动态度是 4.31%,土地利用类型变化率是 77.64%,面积增加了 15.38 万 hm²,变化较大,说明宁夏的城市化发展迅速,城市面积在研究时间段内得到了快速拓展;牧草地的面积减少达 34.77 万 hm²,在所有土地类型中减少最多,土地利用动态度是 -0.79%,土地利用类型变化率为 -14.26%,说明在宁夏林地、建设用地等扩张的过程中侵占了部分的牧草地;其他土地的土地面积也总体减少,这也与宁夏的林地、建设用地等面积增加有关。耕地的面积在 2000—2008 年呈现持续减少趋势,与宁夏实行退耕还林政策有关,但在 2010—2016 年面积增加,与宁夏后期实行耕地保护制度,“坚守 18 亿亩耕地红线”有关;总体上来看耕地的面积略有增加,但变化不大。园地与水域的面积分别增加了 1.68 万 hm², 2.63 万 hm²,土地利用动态度分别是 2.8%和 0.97%,土地利用类型变化率分别是 50.45%和 17.53,这与宁夏的城市扩张,增加一定城市景观有关。

2.2 土地利用碳排放效应分析

土地的碳排放受到碳源和碳汇的影响,本文中的碳源为碳排放量为正值,向大气排放二氧化碳的土地利用类型,碳汇为碳排放量为负值,吸收二氧化碳的土地利用类型。2000—2016 年宁夏不同土地利用类型的碳排放统计分析(表 4)。结果显示,2000—2016 年,宁夏的碳排放量呈现持续增加的趋势,从 2000 年

的 579.81 万 t 上升到 2016 年的 1 734.26 万 t, 增长率达到了 199.11%, 年均增长了 12.44%。在研究的 7 种土地利用类型中, 耕地和建设用地是碳源, 园地、林地、牧草地、水域和其他用地是碳汇。作为碳源的建设用地和耕地的碳排放量都非常大, 是宁夏的主要碳源, 其中在 2000—2002 年耕地的碳排放量贡献率最高, 达 59.83%~73.44%, 2004—2016 年建设用地对碳排放量的贡献率最高, 达 50.98%~73.68%。耕地的碳排放与耕地土地面积的变化具有同步性, 在 2000—2008 年呈现持续减少趋势, 在 2010—2016 年碳排放量增加, 总体来看耕地的碳排放量变化不大, 上升幅度是 0.3%, 建设用地的碳排放量也随着其面积的增加呈现持续上升的趋势, 上升幅度是 676.44%, 从

长远来看, 随着宁夏城市化的快速推进, 建设用地会继续成为宁夏的第一碳源。作为碳汇的土地利用类型中, 林地和牧草地的吸收二氧化碳的量较大, 是宁夏的主要碳汇, 其中林地对吸收二氧化碳的贡献率最大, 达 74.97%~90.16%, 吸收二氧化碳量呈现逐年增加的趋势, 增加了 177.38%, 牧草地对吸收二氧化碳的贡献率第二, 达 8.21%~22.1%, 但吸收二氧化碳量呈现逐年减少的趋势, 减少了 14.26%。园地、水域、其他用地也是宁夏主要的碳汇, 对于吸收二氧化碳的贡献率分别为 0.7%~1.07%, 0.8%~1.68%, 0.07%~0.18%, 园地与水域吸收二氧化碳量呈现逐年增加的趋势, 分别增加了 50.45%和 14.92%, 其他用地的吸收二氧化碳量逐年下降, 减少了 8.71%。

表 3 2000—2016 年宁夏土地利用类型动态变化

| 年份 | 耕地/ 10 ⁴ hm ² | 园地/ 10 ⁴ hm ² | 林地/ 10 ⁴ hm ² | 牧草地/ 10 ⁴ hm ² | 水域/ 10 ⁴ hm ² | 建设用地/ 10 ⁴ hm ² | 其他用地/ 10 ⁴ hm ² |
|--|--|--|--|---|--|--|--|
| 2000 | 128.81 | 3.33 | 27.68 | 243.78 | 15.00 | 19.81 | 80.87 |
| 2002 | 123.83 | 3.35 | 35.82 | 240.76 | 14.98 | 20.5 | 80.30 |
| 2004 | 110.33 | 3.34 | 59.45 | 229.35 | 15.13 | 22.05 | 79.91 |
| 2006 | 110.00 | 3.44 | 60.64 | 227.43 | 15.05 | 22.72 | 80.18 |
| 2008 | 109.70 | 3.43 | 60.62 | 226.42 | 15.18 | 23.46 | 79.73 |
| 2010 | 110.37 | 3.35 | 60.55 | 225.68 | 15.29 | 25.11 | 78.97 |
| 2012 | 110.35 | 3.33 | 60.36 | 225.29 | 15.22 | 26.8 | 78.21 |
| 2014 | 128.92 | 5.11 | 76.97 | 209.95 | 17.65 | 34.04 | 74.10 |
| 2016 | 129.21 | 5.01 | 76.78 | 209.01 | 17.63 | 35.19 | 73.83 |
| 16 a 变化量/10 ⁴ hm ² | 0.40 | 1.68 | 49.10 | −34.77 | 2.63 | 15.38 | −7.04 |
| 16 a 变化率/% | 0.31 | 50.45 | 177.38 | −14.26 | 17.53 | 77.64 | −8.71 |
| 16 a 土地利用动态度/% | 0.017 | 2.80 | 9.85 | −0.79 | 0.97 | 4.31 | −0.48 |

表 4 2000—2016 年宁夏不同土地利用类型的碳排放

| 年份 | 耕地/ 10 ⁴ t | 园地/ 10 ⁴ t | 林地/ 10 ⁴ t | 牧草地/ 10 ⁴ t | 水域/ 10 ⁴ t | 建设 用地/10 ⁴ t | 其他 用地/10 ⁴ t | 碳汇/ 10 ⁴ t | 碳源/ 10 ⁴ t | 碳排放/ 10 ⁴ t |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 2000 | 591.88 | −2.43 | −169.54 | −49.97 | −3.80 | 214.07 | −0.40 | −226.15 | 805.96 | 579.81 |
| 2002 | 569.00 | −2.45 | −219.40 | −49.36 | −3.79 | 382.05 | −0.40 | −275.39 | 951.05 | 675.66 |
| 2004 | 506.97 | −2.44 | −364.13 | −47.02 | −3.83 | 527.28 | −0.40 | −417.81 | 1034.25 | 616.44 |
| 2006 | 505.45 | −2.51 | −371.42 | −46.62 | −3.81 | 631.18 | −0.40 | −424.76 | 1136.63 | 711.87 |
| 2008 | 504.07 | −2.50 | −371.30 | −46.42 | −3.84 | 785.46 | −0.40 | −424.46 | 1289.53 | 865.07 |
| 2010 | 507.15 | −2.45 | −370.87 | −46.26 | −3.87 | 1004.44 | −0.39 | −423.84 | 1511.59 | 1087.75 |
| 2012 | 507.06 | −2.43 | −369.71 | −46.18 | −3.85 | 1460.02 | −0.39 | −422.56 | 1967.08 | 1544.52 |
| 2014 | 592.39 | −3.73 | −471.44 | −43.04 | −4.47 | 1577.46 | −0.37 | −523.05 | 2169.84 | 1646.80 |
| 2016 | 593.72 | −3.66 | −470.28 | −42.85 | −4.46 | 1662.15 | −0.37 | −521.61 | 2255.87 | 1734.26 |

从总体来看, 碳源的碳排放量远大于碳汇的碳吸收量, 碳源的碳排放量与碳汇的碳吸收量在 2000—2016 年都呈现增长趋势, 但是碳排放量增长了 179.9%, 碳吸收量增长了 130.65%, 而且碳排放量在 16 a 间增加了 1 449.92 万 t, 碳吸收量增加了 295.47 万 t, 碳排放量与碳吸收量的比值也从 3.56 上升到 4.32, 逐渐升高的比值不利于区域的节能减排和低碳发展。在碳源中, 建设

用地因为承载了人们大量的生产生活, 在占有面积为 3.82%~6.79% 的情况下贡献了 26.56%~73.68% 的碳排放量, 因此对于碳源, 减排的重点是在城市化过程中应优化城市的生产生活结构, 将“低碳”的理念运用于城市的发展建设中。在碳汇中, 牧草地的占有面积虽然最大, 达到了 40.35%~47.06%, 但是碳吸收贡献率为 8.21%~22.1%, 林地的占地面积为

5.34%~14.82%,碳吸收贡献率达 74.97%~90.16%,因此对于碳汇,减排的重点在于保持或增加现有的林地的同时,优化林地与草地的结构,并提高草地的使用结构,提高其碳吸收能力。碳排放的增长率在 2012 年以后逐渐放缓,说明宁夏在进行经济发展注重节能减排,并且已经初见成效。

2.3 土地利用类型碳排放风险分析

生态风险是指生态系统及其组分所受到系统外要素对其构成威胁的可能性,这些威胁会造成生态系统结构和功能的破坏,导致影响生态系统的安全健康。而碳排放量作为生态系统的一部分,其过多的排放势必会危及区域内的生态系统的安全健康,甚至会对全球生态系统造成危害。对宁夏的土地利用类型碳排放风险指数研究(图 1)。结果显示,从总体来看,宁夏的碳排放风险指数是逐步上升的,并且从 2012 年后一直保持在一个较高的水平,根据线性趋势线预测,在未来的几年中宁夏的碳排放风险指数会继续升高,这与宁夏近年来的快速的城市化,工业化,农业现代化大量使用能源有关。碳排放风险指数的增长率从 2006—2012 年的 21.9%~41.9%降到 2012—2016 年的 5.34%~6.71%,说明这几年宁夏在发展过程中注重节能减排,同时也与林地的大量增加有关。

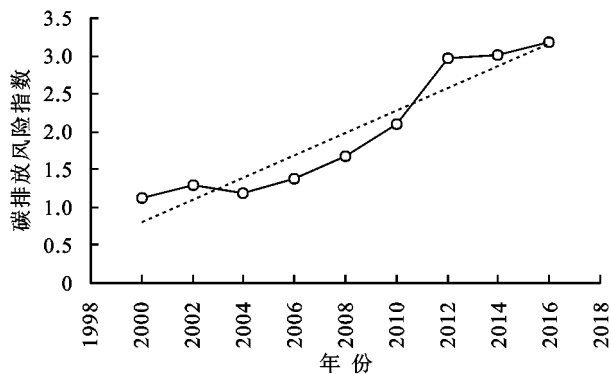


图 1 2000—2016 年宁夏土地利用碳排放风险指数变化



图 2 2000—2016 年宁夏土地利用碳排放压力指数变化

生态压力指对生态系统内生物个体或种群的生长及生殖造成影响的外界干扰,会对生态系统的稳定性造成影响。碳排放量作为外界干扰,会对生态系统

的平衡稳定造成影响。对宁夏的土地利用类型碳排放风险指数研究(图 2)。结果显示,从总体来看,2000—2016 年宁夏的碳排放压力指数一直都大于 1,16 a 间宁夏的碳汇效应一直小于碳排放强度,说明该区域生态系统碳平衡一直处于失调的状态,给当地的碳循环生态系统造成的压力过大。其动态变化是先降后升然后又降的波浪形,而从 2000 年与 2016 年两个节点上来看在这 16 a 间碳排放压力指数是上升的,通过线性趋势线预测,在未来的几年中宁夏的碳排放压力指数会继续升高。2000—2004 年宁夏碳排放压力指数明显减少,这主要与宁夏实行了“退耕还林”政策,碳汇效应增加有关。在 2004—2012 年碳排放压力指数大幅度增加,在 2012 年达到最大值,这与当时宁夏快速发展,城市迅速扩张,建设用地扩大,碳排放量增加有关。2012—2016 年的碳排放压力指数降低,说明宁夏在后续的城市发展过程中注重节能减排,优化了能源结构,但是由于经济的继续发展,碳排放压力指数可能还会小幅度增加。

3 结论与讨论

(1) 2000—2016 年的宁夏回族自治区不同土地利用类型中,牧草地、耕地、林地面积较大,而园地与水域面积相对较少。2000—2016 年,宁夏的林地、建设用地、耕地、园地和水域的面积增加,其中林地和建设用地的增加最多,这与退耕还林政策和宁夏的经济快速发展、城市快速扩张有关,牧草地和其他用地面积减少,这说明在其他土地类型增加的过程中不同程度的占用了牧草地和其他用地。

(2) 2000—2016 年的宁夏回族自治区的不同土地利用类型中,建设用地和耕地为碳源,其中建设用地为最大的碳源,且每年的碳排放量的增长幅度很大。最主要的原因是宁夏这几年来城市的扩张,第二产业快速发展,消耗了大量的能源,导致宁夏的碳排放量逐年增长。林地、园地、牧草地、水域、其他用地是碳汇,碳汇的碳吸收量逐年增加,主要原因是林地面积的增加和树木在成长过程中吸收二氧化碳的能力增强。碳汇的碳吸收量与碳源的碳排放量每年的差距逐渐增大。

(3) 在宁夏 2000—2016 年的土地利用类型碳排放中,碳排放风险指数和压力指数研究都是属于持续增加的趋势。碳排放风险指数在 2010—2012 年大幅上升之后,2012—2016 年增加幅度不大,说明宁夏在 2012 年后开始注重节能减排,如宁夏的电力消耗在 2000—2016 年 16 a 间由 115.32 亿 kW·h 增加到 886.91 亿 kW·h,电力已经发展成为宁夏重要的能

源之一。碳排放压力指数在 2000—2004 年下降,这与宁夏退耕还林,林地面积大量增加有关,在 2004—2012 年碳排放压力指数大幅度增加,2012 年后实行节能减排,碳排放压力指数下降,说明宁夏在关注碳排放问题,实行节能减排后效果显著。

根据前述研究结果并结合研究区实际,提出促进宁夏土地资源低碳可持续利用的建议。(1) 优化宁夏的土地利用结构,控制建设用地的扩张,减少碳源,并防止建设用地在扩张的过程中过度占用牧草地情况。同时,提高森林与牧草的覆盖率,提升林地与牧草地的碳吸收能力,促进其他土地向草地、林地、耕地转换,增加碳汇。(2) 由于宁夏最主要的碳源是建设用地,因此除了控制建设用地扩张面积外,还需要对能源总量进行把控,把能源的使用总量控制在宁夏资源环境所能承载的能力范围内。优化宁夏产业结构,对于碳排放量较高的产业应该进行转换升级,大力发展能耗小,碳排放量小的产业;并逐渐摆脱能源以化石能源为主的现状,开发太阳能,风能等新能源。(3) 耕地作为宁夏第二大碳源,碳排放量也非常巨大,因此应该加强农田耕作的管理。加强农田土壤保持耕作管理,改进施肥、滴水管理措施、提高复种指数、实施合理的作物轮作和减少耕地作业等以提高土壤的碳储存能力。大力发展绿色农业,施用有机肥,提高土壤的有机碳蓄积效果。目前,土地利用碳排放的估算存在一定的不确定性,虽然现在有很多模型方法来计算土地利用的碳排放量,但是土地利用导致碳排放量的变化和对当地生态系统的影响是一个复杂的过程,当前的研究还不能完全充分的解释这个过程;在计算建设用地是,仅考虑了化石能源的碳排放,未考虑农村生物质能燃烧带来的碳排放。未来研究会通过遥感数据和实测数据结合的方式更加精确测算区域的碳排放能力。

参考文献:

- [1] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 1999, 51(2): 298-313.
- [2] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(2): 1034-1047.
- [3] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等.过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. *中国科学(D 辑)*, 2008, 38(2): 197-210.
- [4] 李颖,黄贤金,甄峰.江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(S2): 102-107.
- [5] 赵荣钦,黄贤金.基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. *地理研究*, 2010, 29(9): 1639-1649.
- [6] 阿如早,牡丹,苏德苏日古格,等.内蒙古多伦县土地利用碳排放及其影响因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(4): 17-22.
- [7] 李玉玲,李世平,祁静静.陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 382-390.
- [8] 魏媛,吴长勇.喀斯特贫困山区土地利用碳排放效应及风险研究:以贵州省为例[J]. *生态经济*, 2018, 34(3): 31-36.
- [9] 周勇,赵伟.西安市土地利用结构碳排放核算及低碳优化研究[J]. *生态经济*, 2018, 34(5): 21-25.
- [10] 范建双,虞晓芬,周琳.南京市土地利用结构碳排放效率增长及其空间相关性[J]. *地理研究*, 2018, 37(11): 2177-2192.
- [11] 孙赫,梁红梅,常学礼,等.中国土地利用碳排放及其空间关联[J]. *经济地理*, 2015, 35(3): 154-162.
- [12] 孙贤斌.安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(3): 394-401.
- [13] 唐洪松,马惠兰,苏洋,等.新疆不同土地利用类型的碳排放与碳吸收[J]. *干旱区研究*, 2016, 33(3): 486-492.
- [14] Cai Z C, Kang G D, Tsuruta H, et al. Estimate of CH₄ emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China [J]. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 66-71.
- [15] 何勇.中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M].北京:气象出版社,2006.
- [16] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. *中国科学:D 辑*, 2007, 37(6): 804-812.
- [17] 肖红艳,袁兴中,李波,等.土地利用变化碳排放效应研究:以重庆市为例[J]. *重庆师范大学学报:自然科学版*, 2012, 29(1): 38-42.
- [18] 赖力,黄贤金,刘伟良,等.基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1285-1292.
- [19] 段晓男,王效科,逯非,等.中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 463-469.
- [20] 李颖,黄贤金,甄峰.江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(S2): 102-107.
- [21] 宋洪磊.铜陵县土地利用碳排放效应及空间格局分析[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(12): 299-302.
- [22] 臧淑英,梁欣,张思冲.基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(4): 141-145.
- [23] 彭文甫,周介铭,徐新良,等.基于土地利用变化的四川省碳排放与碳足迹效应及时空格局[J]. *生态学报*, 2016, 36(22): 7244-7259.
- [24] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 83-89.