

基于土地利用变化的新疆塔城地区碳排放特征分析

和海秀¹, 周洪华^{1,2}, 白如霄¹

〔1.新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所(畜牧科学研究所), 新疆, 塔城 834600;

2.中国科学院 新疆生态与地理研究所/荒漠与绿洲国家重点实验室, 新疆, 乌鲁木齐 830011〕

摘要: [目的] 分析新疆塔城地区 1980—2020 年的碳排放变化时空特征及效应, 为科学制定区域碳减排措施及低碳调控政策提供依据。[方法] 基于 1980—2020 年土地利用变化数据, 计算了塔城地区碳排放量和碳吸收量, 并采用碳足迹和碳生态承载力评估了碳排放效应。[结果] ① 1980—2020 年, 塔城地区净碳排放量表现出明显的增加趋势, 其中耕地和建设用地的不断扩张是导致塔城地区碳排放量增加的主要诱因, 而林地面积的持续减少是造成塔城地区碳吸收量减少的关键因素; ② 在空间分布上, 沙湾县和乌苏市是塔城地区的主要碳源区, 解释了塔城地区净碳排放的 67.20%, 和丰县和额敏县解释了塔城地区净碳排放量的 20.89%, 托里县是塔城地区的主要碳汇区; ③ 在碳排放效应方面, 2000 年前塔城地区绝大多数区域都表现为生态盈余, 但 2000 年后开始出现碳排放的生态赤字。[结论] 当前, 沙湾县、乌苏市及和丰县, 存在明显的生态赤字, 是未来塔城地区碳减排的重点控制区域。

关键词: 碳源; 碳汇; 碳足迹; 碳生态承载力; 碳减排; 新疆塔城地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0373-08

中图分类号: X171, X32

文献参数: 和海秀, 周洪华, 白如霄. 基于土地利用变化的新疆塔城地区碳排放特征分析[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 373-380. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.046; He Haixiu, Zhou Honghua, Bai Ruxiao. Characteristics of carbon emissions based on land use changes in Tacheng area of Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 373-380.

Characteristics of Carbon Emissions Based on Land Use Changes in Tacheng Area of Xinjiang Uygur Autonomous Region

He Haixiu¹, Zhou Honghua^{1,2}, Bai Ruxiao¹

〔1. Agricultural Science Research Institute of the Ninth Division of Xinjiang

Production and Construction Corps (Husbandry Science Research Institute),

Tacheng, Xinjiang 834699, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang

Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China〕

Abstract: [Objective] The temporal and spatial characteristics and effects of carbon emission changes in the Tacheng area of Xinjiang Uygur Autonomous Region from 1980 to 2020 were analyzed in order to provide the basis for formulating regional carbon emission reduction measures and low carbon regulation policies. [Methods] The spatio-temporal changes of carbon sources, carbon sinks, and carbon emissions based on land use changes from 1980 to 2020 in Tacheng area was analyzed, and the carbon emission effects were evaluated using carbon footprint and ecological carbon carrying capacity. [Results] ① Net carbon emissions in the Tacheng area showed an obvious increase from 1980 to 2020, during which the continuous expansion of cultivated land and construction land area was the main factor leading to the increase in carbon emissions, and the continuous reduction of forest area was the main factor leading to the decrease in carbon absorption; ② In terms of spatial distribution, Shawan County and Wusu City were the main carbon sources, accounting for 67.02% of the total net carbon emissions in the Tacheng area. Hefeng County and Emin County accounted for 20.89% of the total net

收稿日期: 2022-02-24

修回日期: 2022-03-14

资助项目: 新疆兵团第九师科技局科技计划项目“九师中哈边境植物多样性现状调查与利用评估”(2020JS016)

第一作者: 和海秀(1987—), 女(汉族), 甘肃省白银市人, 畜牧师, 主要从事畜牧生产与牧草栽培及草原生态过程研究。Email: 1522554147@qq.com。

通信作者: 周洪华(1979—), 女(汉族), 四川省遂宁市蓬溪县人, 副研究员, 主要从事干旱区生态水文过程研究。Email: zhouhh@ms.xjb.ac.cn。

carbon emissions in the Tacheng area. Tuoli County was the carbon sink in the Tacheng area; ③ For the carbon emission effects, most areas in the Tacheng area showed ecological abundance before 2000, but ecological deficit appeared after 2000. [Conclusion] Shawan County, Wusu City and Hefeng County showed an obvious ecological deficit, and these will be the key control areas for carbon emission reduction in the Tacheng area in the future.

Keywords: carbon source; carbon sink; carbon footprint; carbon ecological carrying capacity; carbon emission reduction; Tacheng area of Xinjiang Uygur Autonomous Region

人类活动导致的 CO₂ 排放增加是影响全球气候变化的主要诱因之一,CO₂ 对温室效应的贡献率达 60%^[1]。2017 年全球化石燃料及工业 CO₂ 排放总量达 3.68×10^{10} t C,较 2016 年增加了 2%,其中,中国碳排放量增长约 3.5%,且全球碳排放量在继续增加^[2]。中国在 2009 年已成为了世界第一大碳排放国。为减缓全球气候变化,《巴黎协定》提出了尽快达到温室气体排放的全球峰值,并在 2050 年实现全球碳中和。2020 年 9 月,中国宣布力争 2030 年前 CO₂ 排放达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和。因此,中国碳减排压力巨大,碳达峰和碳中和任务面临严峻挑战^[3-5],积极推动一系列科学的节能减排政策和措施将是实现中国碳达峰、碳中和目标的重大举措。然而,全国各地土地利用类型不同,社会经济发展程度各异,导致了区域碳排放量与变化特征各不相同。为此,开展区域碳排放研究,精细刻画区域碳排放时空演变特征及其规律,对于各区域科学制定适宜的节能减排措施,稳步实现碳达峰、碳中和国家战略目标具有重要意义。

土地利用变化改变了地表生态系统的碳循环,是影响区域碳排放变化的关键驱动因素之一^[6]。随着全世界采取各种积极政策和措施,2020 年全球化石燃料的 CO₂ 排放量较 2019 年减少了 2.40×10^9 t C,但土地利用改变导致的排放量仍达 6.00×10^9 t C,且全球因毁林产生了 1.60×10^{10} t C 的 CO₂ 排放^[7]。研究发现,土地利用类型的改变显著影响区域碳排放^[8],且建设用地的扩张对区域碳排放变化影响最显著^[9]。目前,国内关于土地利用变化对区域碳排放影响的研究仍相对较少,相关成果主要集中在西南、东南、东部和中部地区,如四川^[10]、重庆^[11]、安徽^[7]、江苏^[12]以及福建^[13]和河南^[14]等地,拟或是对全国范围的评估^[6,15-16],关于中国西北部土地利用变化对碳排放的影响研究涉及极少。

新疆塔城地区位于中国西北部,与哈萨克斯坦接壤,边境线长 540.6 km,是中国重要的边防区,也是新疆重要的农牧产品生产基地和能源资源开发基地,同时还是中国西北唯一一个国家级沿边重点开发开放试验区。近年来,伴随着塔城地区社会经济的迅速

发展,区内土地利用类型改变显著,是新疆乃至西北干旱区社会—经济—生态发展的典型缩影。本研究基于 1980—2020 年塔城地区土地利用数据,分析塔城地区近 40 a 来的碳排放变化时空特征,探讨塔城地区的碳排放效应,以期为科学制定区域碳减排措施及低碳调控政策提供基础和依据。

1 研究区概况

塔城地区地处新疆维吾尔自治区的西北部 ($82^{\circ}16' - 87^{\circ}21'E, 43^{\circ}25' - 47^{\circ}15'N$),北部是西准噶尔山地,南部为北天山山地,中东部是准噶尔盆地,西北部与哈萨克斯坦接壤,属中温带干旱和半干旱气候。辖区总面积 1.05×10^5 km²,下辖塔城市、乌苏市、沙湾县、额敏县、裕民县、托里县、和丰县,常住人口约 9.11×10^5 人^[17]。塔城地区是中国通往中亚的重要通道之一,拥有中国和哈萨克斯坦陆路交界的重要国家一类口岸——巴克图口岸,它是距首府乌鲁木齐最近的口岸,是“一带一路”向西开放的重要门户和中国进行国际贸易的黄金通道,被誉为“中亚商贸走廊”。塔城地区水资源相对较丰富,年均总径流量约 1.94×10^8 m³。年均降雨量 290 mm,蒸发量 1 600 mm。日照 2 800~3 000 h,无霜期 130~190 d。区内矿产资源丰富,金属、非金属矿产达 40 余种。动植物资源也极其丰富,拥有多种国家一级和二级保护动植物。近年来由于经济的快速发展,塔城地区的土地利用类型发生了显著的变化。

2 数据与方法

2.1 数据采集

塔城地区 1980 年土地利用数据来源于 Landsat-MSS 遥感影像数据,1990,2000,2010 年土地利用数据来源于 Landsat-TM/ETM 遥感影像数据,2020 年土地利用数据主要使用 Landsat 8 遥感影像数据。所有影像数据为 30 m×30 m,数据下载于中国科学院资源环境科学与数据中心 <https://www.resdc.cn/>。本研究土地利用数据投影采用 Albers 正轴等面积双标准纬线圆锥投影,对获取的数据通过人机交互式目视判读解译获取,基于全国土地利用现状分析

进行重分类,并结合野外调查验证,数据综合精度达 94% 以上。

社会经济数据及能源数据等主要来源于《塔城地区统计年鉴》《伊犁地区统计年鉴》《新疆辉煌 50 年》等。

2.2 数据分析

(1) 碳吸收与碳排放量估算。土地利用类型一级分类包括耕地、林地、草地、建设用地、水域和未利用地,其中耕地和建设用地表现为碳源,产生碳排放;林地、草地、水域和未利用地表现为碳汇,在碳循环过程中主要起碳吸收作用^[16]。碳排放和碳吸收计算方法如下^[6]:

$$C_s = \sum_{i=1}^n A_i \times \alpha_i \quad (1)$$

表 1 塔城地区主要土地利用类型碳排放系数和主要能源碳排放转化系数

土地利用类型	碳排放系数/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	能源类型	标准煤折算系数 (以标准煤计)/($\text{t} \cdot \text{t}^{-1}$)	碳排放系数(以碳/标准煤计)/ ($10^4 \text{ t} \cdot 10^4 \text{ t}^{-1}$)
林地	0.612 5	原煤	0.714 0	0.755 9
草地	0.020 5	焦炭	0.971 4	0.855 0
水域(含冰川和积雪)	0.025 3	原油	1.471 4	0.553 8
未利用地	0.000 5	汽油	1.471 4	0.553 8
耕地	0.459 5	柴油	1.471 4	0.592 1
建设用地	—	电力	0.122 9	0.733 0

(2) 碳排放效应评估。土地利用碳排放效应指土地利用格局改变产生的碳排放结果,它反应碳排放对生态环境影响的程度^[7]。本研究结合碳足迹、碳生态承载力和生态赤字/生态盈余 3 个指标来评估排放效应^[7]。碳足迹主要衡量人类经济活动对自然界的影 响;碳生态承载力主要衡量区域内能吸收人类活动排放的 CO_2 所需生物生产性土地面积,本研究中水域和未利用地的碳吸收量比例较小,因此忽略,主要计算林地和草地。生态赤字/生态盈余指一个地区的碳生态承载力与碳足迹的差值,当碳生态承载力小于碳足迹时,表现为生态赤字,反之当碳承载力大于碳足迹时,表现为生态盈余。具体计算方法如下^[6]:

$$C_f = C_b \times \left(\frac{P_f}{EP_f} + \frac{P_g}{EP_g} \right) \quad (4)$$

$$E_c = C_s \times \left(\frac{P_f}{EP_f} + \frac{P_g}{EP_g} \right) \quad (5)$$

$$E_d = C_f - E_c \quad (6)$$

式中: C_f 为碳足迹(hm^2); C_b 为能源碳排放量(t); P_f 和 P_g 分别为森林和草地碳吸收比例(%); EP_f 和 EP_g 分别为全球森林和草地碳吸收能力(C/hm^2) (表 2)^[6]; E_c 为生态承载力; C_s 为不同土地利用方式的碳吸收量(t)。 E_d 为正值时,为生态盈余; E_d 为负值时,为生态赤字。

$$C_e = B \times b + C_b = B \times b + \sum_{j=1}^n m_j \times \beta_j \times \gamma_j \quad (2)$$

$$C_{ne} = C_e - C_s \quad (3)$$

式中: C_s 为碳吸收总量(t); A_i 分别为林地、草地、水域和未利用地面积(m^2); α_i 为第 i 种土地利用类型的碳吸收系数; C_e 为耕地和建设用地的碳排放总量(t); B 为耕地面积(m^2); b 为耕地的碳排放系数; C_b 为建设用地的碳排放量(t); m_j 为化石能源消费量; j 为煤炭、油类和电力等能源类型; β_j 为标准煤换算系数; r_j 为碳排放系数。相关碳排放/吸收系数和转化系数采用经验数值(表 1)^[7]。 C_{ne} 为净碳排放总量。各土地利用类型和能源种类碳排放系数为 IPCC 采用的碳收支计算系数,已在中国广泛使用^[6]。

表 2 塔城地区主要生物生产性土地碳吸收系数

项目	林地	草地
净生态系统生产量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	3.81	0.95
消纳 1 t 碳用地面积/ hm^2	0.26	1.05
平均碳吸收量/($10^5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)(以 C 计)	101.00	3.54
碳吸收比例/%	96.63	3.37
吸收 1 t CO_2 用地面积/ hm^2	0.07	0.01

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

塔城地区 2020 年土地利用类型中,草地面积最大,占行政区总面积的 43.91%,各县市均有大面积分布;其次为未利用地,占行政区总面积的 39.94%,主要分布在和丰县;耕地占行政区总面积的 10.72%,林地和水域占比含量相对较少,分别为 2.82% 和 2.04%,建设用地面积最小,为行政区总面积的 0.57%。

时间变化上(图 1),以 1980 年为基准。1980—1990 年 10 a 间塔城地区耕地增加率最高,为 0.15%,其次为建设用地,增加率为 0.11%,水域面积减少率最大,为 1.46%;2 000 时,塔城地区建设用地增加率最高,达 35.32%,其次为林地,增加率达 12.88%,耕地略有减少,减少率为 7.09%;2010 年时,塔城地区

建设用地和耕地较 1980 年增加最多,增加率分别为 87.51%和 32.82%,其次为草地,增加率为 11.53%,而林地、水域和未利用地面积均在减少,减少率分别为 43.79%,49.69%和 13.25%;到 2020 年时,建设用

地和耕地较 1980 年呈持续增加趋势,增加率分别为 111.10%,42.65%,草地增加率为 9.49%,林地、水域和未利用地较 1980 年呈持续减少趋势,减少率分别为 44.39%,48.91%和 13.62%。

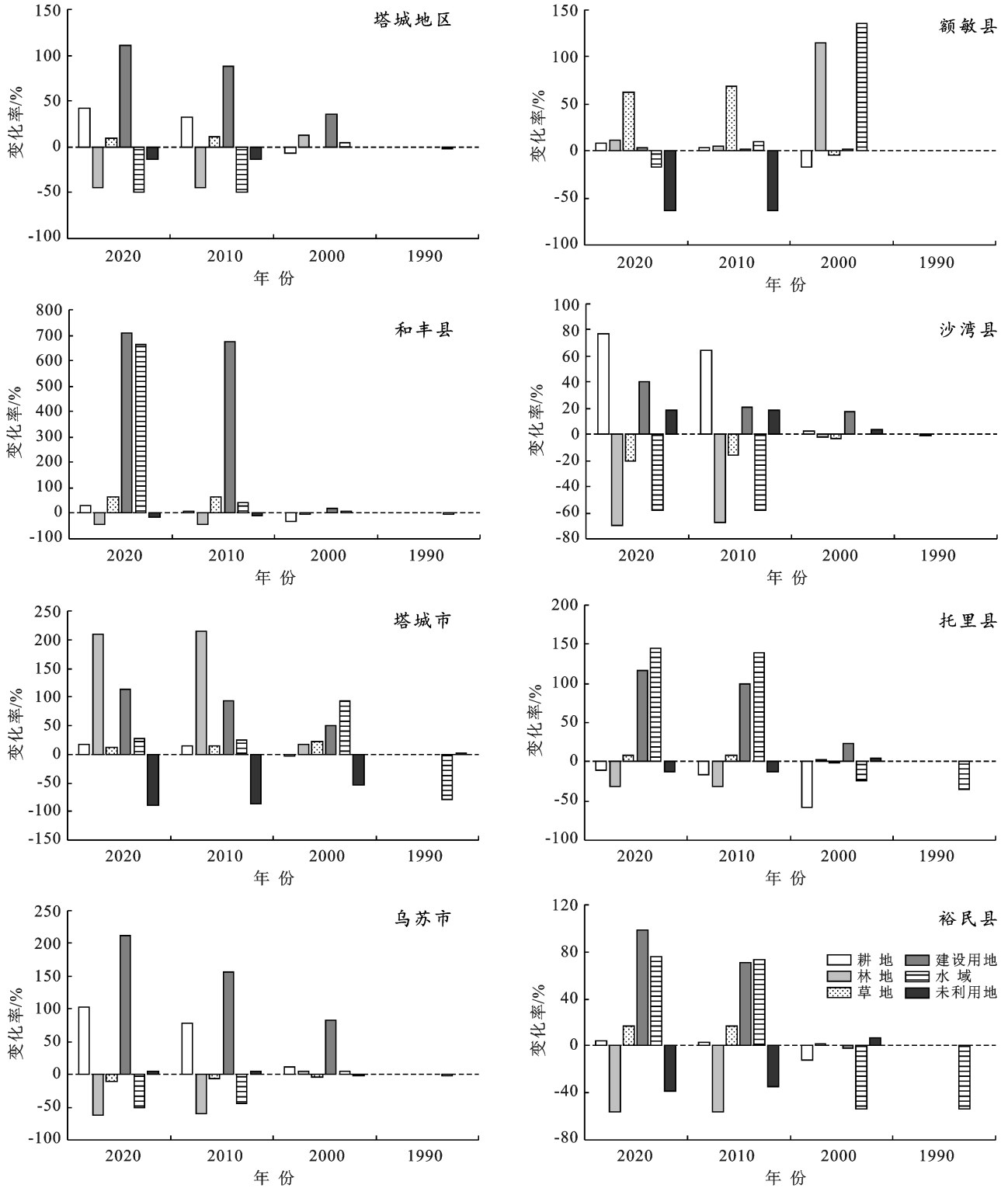


图 1 塔城地区各区内土地利用的变化率(以 1980 年为基准)

空间变化上(图 1),在 1980—2020 年的近 40 a 间,额敏县草地面积增加率最高,较 1980 年增加了

62.51%,其次为林地和耕地,分别增加了 10.68%和 8.13%,增加率最少的为建设用地,增加率仅为

2.81%;未利用地面积减少率最大,较1980年减少了63.28%,其次为水域,减少了17.99%。和丰县在1980—2020年建设用地和水域面积增加最多,分别为708.50%和661.93%,其次为草地和耕地,增加率分别为66.92%和33.42%;林地和未利用地面积呈减少趋势,减少率分别为43.94%和11.89%。沙湾县1980—2020年,耕地增加率最高,为76.64%,其次为建设用地,增加率为39.97%;林地、草地和水域均呈现出减少趋势,减少率分别为70.07%,20.70%和58.35%。塔城市1980—2020年林地和建设用地增加率最高,分别为210.43%和114.51%,其次为耕地、草地和水域,增加率分别为17.13%,11.65%和27.61%;未利用地呈减少趋势,2020年较1980年减少率达88.97%。托里县1980—2020年建设用地和水域面积较1980年增加率最高,分别为115.55%和145.40%,其次为草地,增加率为8.06%;耕地、林地和未利用地均呈减少趋势,减少率分别为11.23%,31.85%和13.19%。乌苏市1980—2020年耕地和建设用地增加率最快,分别较1980年增加了102.97%,212.87%,其次为未利用地,增加率为3.94%;林地、草地和水域面积均呈减少趋势,减少率分别61.46%,10.66%和50.19%。裕民县1980—2020年建设用地和水域面积较1980年增加最快,分别为98.16%和76.30%,其次为草地和耕地,增加率分别为17.31%和3.68%;林地和未利用地均呈减少趋势,减小率分别为55.92%和38.61%。

3.2 碳排放特征

塔城地区净碳排放量主要受碳排放量和碳吸收量共同影响。由图2可知,1980—2020年,碳排放量呈明显的增加趋势,2020年碳排放量达 1.02×10^7 t,较1980年增加了2.22倍;而碳吸收量呈减少趋势,2020年碳吸收量为 2.25×10^6 t,较1980年减少了28.65%。耕地一直都是塔城地区碳排放中具决定作用的碳源,1980—2020年耕地碳排量一直呈增加的趋势,尤其是2010年后,耕地碳排放量较1980年显著增加,2020年较1980年增加了42.65%。1990年后建设用地的碳排放量也较1980年显著抬升,到2010年建设用地碳排放量占总碳排放量的18.78%,2020年建设用地碳排放量上升到占碳排放量的45.98%。碳吸收量方面,林地和草地是塔城地区碳吸收的主要碳汇。水域和未利用地碳吸收量很小,比例不到2%。1980—2000年林地碳吸收量是草地的2.35~2.66倍。2000年后,由于林地的大面积减小和草地面积的增加,林地碳吸收量显著下降,仅略高于草地碳吸收量。

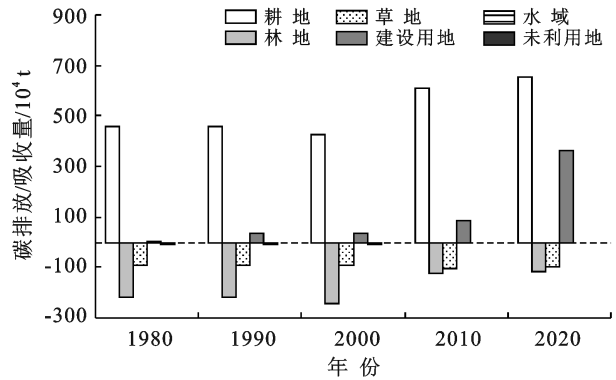


图2 1980—2020年塔城地区碳排放/吸收量变化

塔城地区净碳排放量表现出显著的空间差异(图3)。1980—2000年,沙湾县和额敏县年净碳排放量在 5.00×10^5 t左右,乌苏市和塔城市年净碳排放量在 7.00×10^4 t至 1.70×10^5 t,托里县、和丰县和裕民县的净碳排放量为负,即碳吸收量高于碳排放量。2000年后,塔城地区净碳排放量显著增加。2010年时沙湾县年净碳排放量达到 2.00×10^6 t以上,乌苏市和额敏县年净碳排放量为 1.27×10^6 t, 7.23×10^5 t,塔城市、裕民县及和丰县的年净碳排放量在 2.03×10^4 ~ 1.68×10^5 t之间。2020年时除沙湾县外,乌苏市也步入年净碳排放量大于 2.00×10^6 t行列,相继成为塔城地区的主要碳源区,和丰县的年净碳排放量大于 5.00×10^5 t,塔城市和裕民县年净碳排放量也呈增加趋势,但仍低于 2.00×10^4 t。托里县在1980—2020年的40 a间,年净碳排放量一直为负,即碳吸收量大于碳排放量,在塔城地区表现为碳汇效应。

3.3 碳排放效应

塔城地区1980—2020年,碳足迹显著增加,碳生态承载力在1980—2000年相对较稳定,变化不明显。但2000年后,碳生态承载力显著降低,2010年碳承载力较1980年减少8.90%,2020年较1980年减少了10.42%(图4)。2010年前塔城地区的碳生态承载力显著大于碳足迹,碳排放效应表现为生态盈余;但2020年时碳生态承载力仅为碳足迹的61.62%,碳排放效应表现为生态赤字,生态赤字量达到8 516.75 km^2 。

塔城地区碳排放效应也呈现出空间差异(图5)。1980年时,整个塔城地区都表现为生态盈余;1990年和2000年除塔城市外,其余各县市的碳排放效应也均表现为生态盈余,塔城市的生态赤字在100 km^2 以内;2010年,沙湾县的碳排放效应生态赤字为800.78 km^2 ,其余各县市碳排放效应也均为生态盈余;到2020年,仅托里县和裕民县的碳排放效应为生态盈余,沙湾县、乌苏市、和丰县、塔城市和额敏县均出现生态赤字,沙

湾县的生态赤字达到 4 199.44 km², 其次为和丰县和乌苏市, 生态赤字分别达 3 529.64 km², 3 353.01 km²,

塔城市的生态赤字为 473.88 km², 额敏县的生态赤字相对较小, 为 54.29 km²。

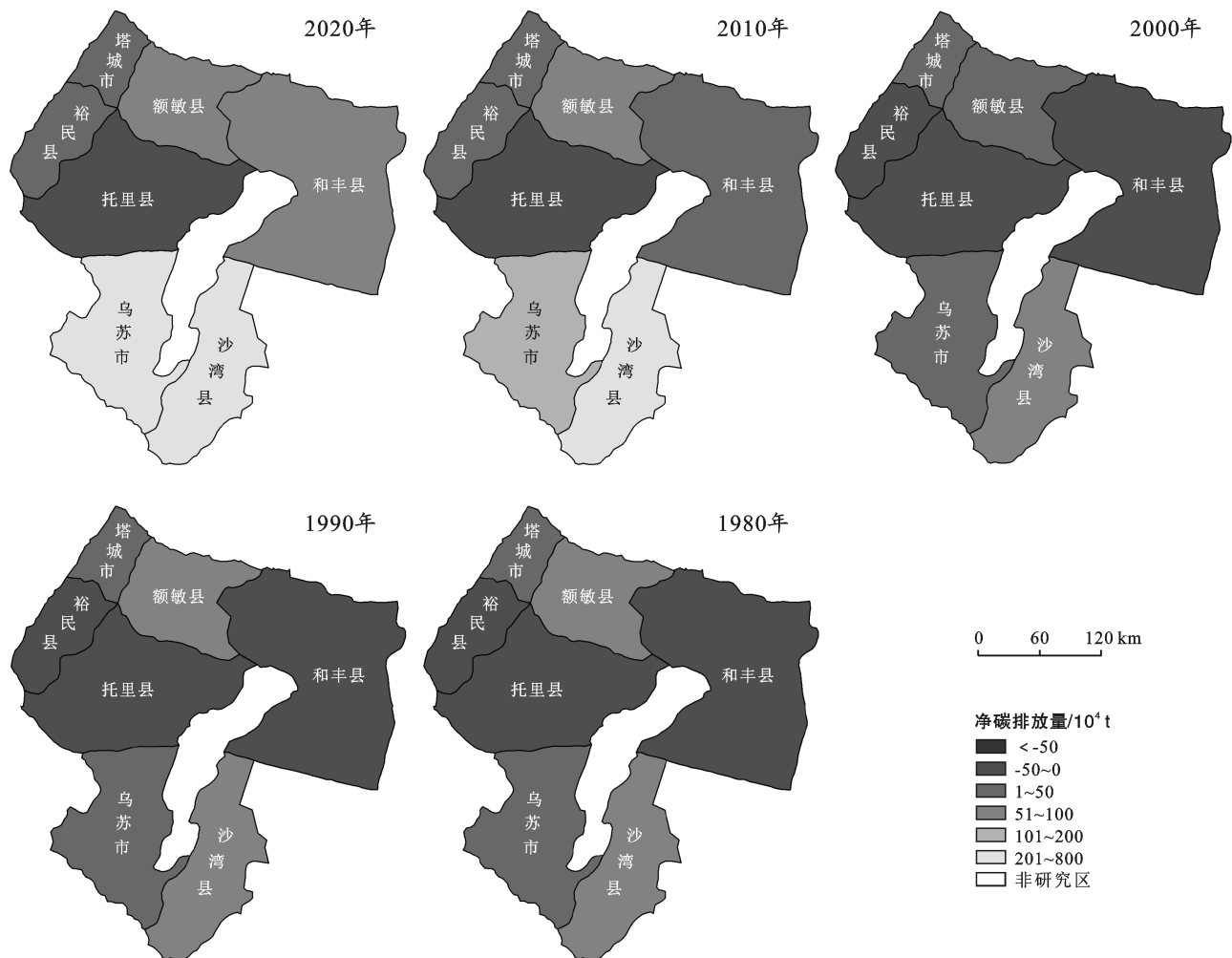


图 3 1980—2020 年塔城地区净碳排放量空间分布

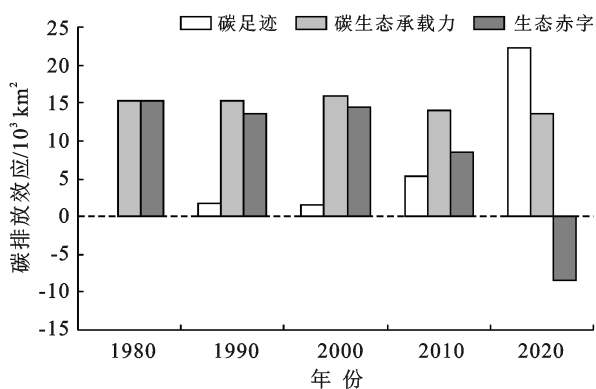


图 4 塔城地区 1980—2020 碳排放效应

4 讨论与结论

全球碳排放浓度随着人类活动的增加而逐年上升^[18]。作为全球最大碳排放国, 2017 年碳排放总量已占全球比重 23.87%^[5]。最新研究显示, 中国对全

球变暖的贡献率达 8.6%^[19]。准确掌握和了解区域碳排放特征及其效应是科学制定“双碳”目标下的区域节能减排、低碳协调发展政策的重要前提和基础。本文基于 1980—2020 年的土地利用数据, 精细刻画了塔城地区碳排放时空特征及碳排放效应, 分析发现, 在时间变化上, 塔城地区碳排放量呈增加趋势, 碳吸收量呈降低趋势, 导致净碳排放量显著增长。已有研究表明, 土地利用方式的变化是驱动区域碳排放改变的关键因素^[6]。本文分析表明, 耕地面积和建筑面积的持续扩张是导致塔城地区碳排放量增加的主要原因, 这与众多区域碳排放特征研究结果基本一致^[6,8-9], 其中 2010 年之前, 耕地碳排放量对塔城地区净碳排放总量起决定性作用, 2010 年后, 耕地和建设用地均成为导致塔城地区净碳排放总量增长的决定因素。碳吸收量主要受林地、草地、水域和未利用地的影响^[6]。本文研究显示, 林地和草地是塔城地区最

主要的碳汇,解释了塔城地区碳吸收量的98%,且1980—2020年,林地面积持续下降是造成碳吸收量减少的关键因素。在空间变化上,塔城地区净碳排放量呈现出明显的空间异质性,其中:沙湾县 > 乌苏市 > 额敏县 > 和丰县 > 裕民县 > 塔城县 > 托里县。沙湾县和乌苏市是决定塔城地区净碳排放量的关键区域,解释了塔城地区净碳排放的67.20%,属于塔城地区的主要碳源区,其次和丰县和额敏县也是塔城的碳源区,解释了塔城地区净碳排放量的20.89%。托里县是塔城地区的碳汇区。塔城地区的碳排放效应也呈现出显著的时空差异性,其中2010年之前塔城

地区碳排放效应均表现为生态盈余,但2010年后,由于建设用地的快速扩张和耕地的持续增加,导致碳足迹显著增加,而林地的持续减少导致碳生态承载力降低,最终造成塔城地区碳排放的生态赤字。其中,沙湾县是塔城地区生态赤字最严重的区域,其次为和丰县和乌苏市,托里县和裕民县在1980—2020年一直都处于碳排放的生态盈余。这进一步证实,中国碳排放具有显著的空间分异和集聚效应^[5],各区域内土地利用方式、社会经济各异,在制定降碳减污方案时应充分考虑区域碳排放时空特征,因地制宜地制定切实可行的政策与措施,切记一刀切。

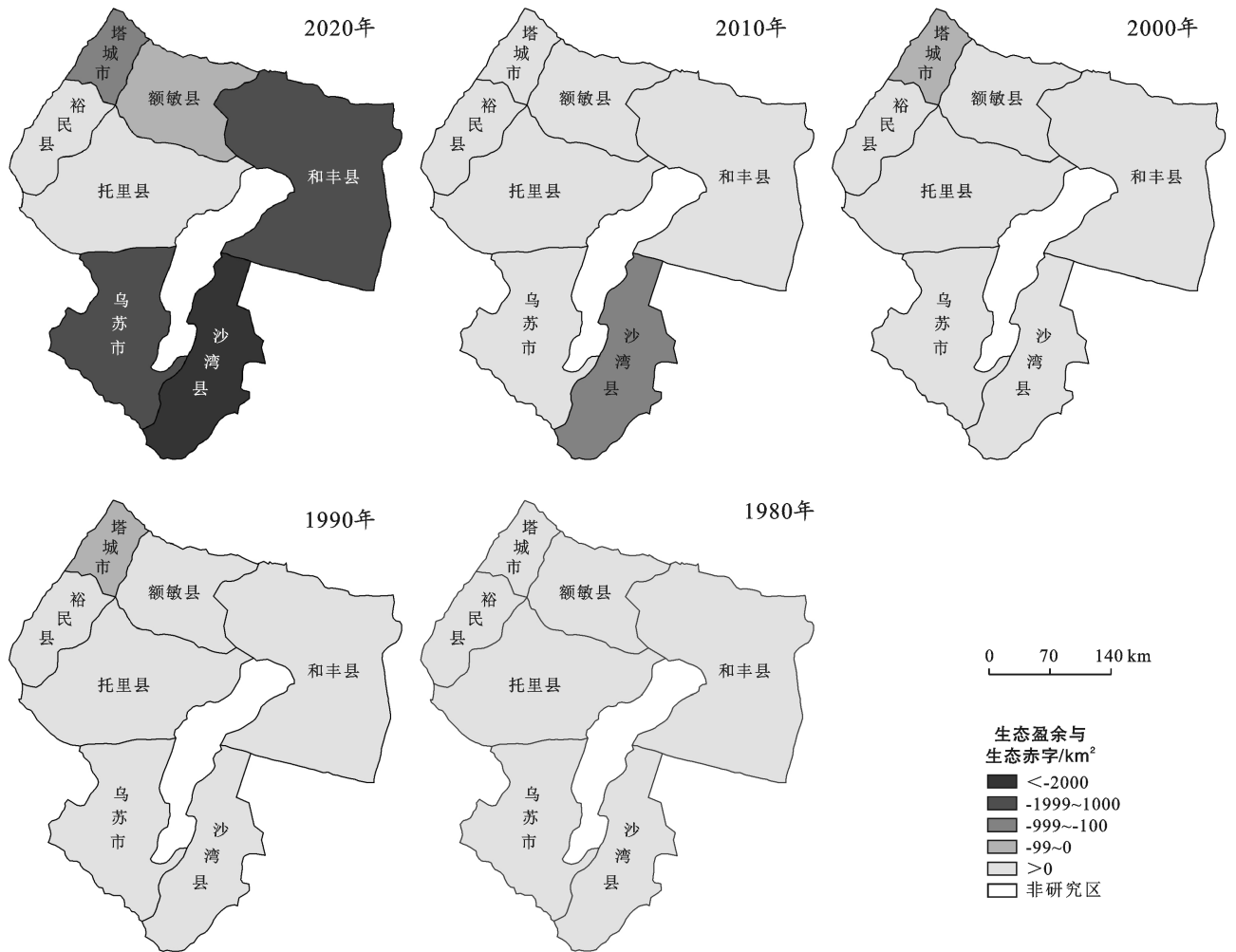


图5 塔城地区碳排放效应空间分布

碳达峰、碳中和已成为中国应对气候变暖的重大战略决策^[19]。尽管中国正稳步推进碳减排工作,但在保持经济中高速增长的同时实现低碳循环发展,对中国而言依旧是严峻的挑战,实现“双碳”目标紧迫而艰巨^[5]。“十四五”时期是实现碳达峰、碳中和目标的重要机遇期,推动能源消费结构性改善和减污降碳政策落实到区县,是改善生态环境和可持续发展的关键

举措^[5]。根据塔城地区碳排放时空特点,沙湾县和乌苏市将是未来塔城地区碳减排重点关注和调控区,其次为和丰县、额敏县和塔城市。未来塔城地区的节能减排政策需主要实现区域土地利用方式的调整和经济结构的转变:①必须避免建设用地的无限制扩张,减少化石类能源消耗,逐步采用能替代化石能源的绿色工业能源,实现绿色工业和制造业;②严格控制耕

地面积,遏制耕地面积的持续扩张,积极实施退耕还林政策,增加林地面积。

[参 考 文 献]

- [1] 雷学军.二氧化碳是人类的宝贵财富[J].中国能源,2016,38(1):12-21.
- [2] Quéré L C, Andrew M R, Friedlingstein P, et al. Global Carbon Budget 2017 [J]. Earth System Science Data, 2018,10:405-448.
- [3] 莫惠斌,王少剑.黄河流域县域碳排放的时空格局演变及空间效应机制[J].地理科学,2021,41(8):1324-1335.
- [4] 邵帅,张可,豆建民.经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J].管理世界,2019,35(1):36-60.
- [5] 王少剑,谢紫寒,王泽宏.中国县域碳排放的时空演变及影响因素[J].地理学报,2021,76(12):3103-3118.
- [6] 李彦旻,沈育生,王世航.基于土地利用变化的安徽省陆地碳排放时空特征及效应[J].水土保持学报,2022,36(1):182-188.
- [7] Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones W M, et al. Global Carbon Budget 2020 [J]. Earth Syst. Sci. Data, 2020, 12:3269-3340.
- [8] Nijdam D, Rood T, Westhoek H. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes [J]. Food Policy, 2012,37(6):760-770.
- [9] Ishii S, Tabushi S, Aramaki T, et al. Impact of future urban form on the potential to reduce greenhouse gas emissions from residential, commercial and public buildings in Utsunomiya, Japan [J]. Energy Policy, 2010,38(9):4888-4896.
- [10] 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.
- [11] 王芳.重庆市土地利用变化及其碳排放效应研究[D].重庆:重庆师范大学,2017.
- [12] 张秀梅,李升峰,黄贤金,等.江苏省 1996—2007 年碳排放效应及时空格局分析[J].资源科学,2010,32(4):768-775.
- [13] 黄思雅.福建省土地利用变化碳排放效应研究[D].福建福州:福建师范大学,2019.
- [14] 刘英,赵荣钦,焦士兴.河南省土地利用碳源/汇及其变化分析[J].水土保持研究,2010,17(5):154-157.
- [15] 周嘉,王钰萱,刘学荣,等.基于土地利用变化的中国省域碳排放时空差异及碳补偿研究[J].地理科学,2019,39(12):1955-1961.
- [16] 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(地球科学),2008,38(2):197-210.
- [17] 姜蔚.新疆塔城地区农村居民参与人居环境治理意愿与行为研究[D].新疆石河子:石河子大学,2021.
- [18] 朴世龙,何悦,王旭辉,等.中国陆地生态系统碳汇估算:方法、进展、展望[J].中国科学(地球科学),2022,52(6):1010-2020.
- [19] Fu Bojie, Li Bengang, Gasser T, et al. The contributions of individual countries and regions to the global radiative forcing [J]. PNAS, 2021,118(15). <https://doi.org/10.1073/pnas.2018211118>.
- [14] 方金云,杨元合,马文红,等.中国草地生态系统碳库及其变化[J].中国科学(生命科学),2010,40(7):566-576.
- [15] 程积民,程杰,杨晓梅,等.黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征[J].生态学报,2012,32(1):226-237.
- [16] 杨进怀.北京市生态清洁小流域与美丽乡村建设[J].中国水利,2014(20):18-20.
- [17] 北京市质量技术监督局. DB 11/T 548-2008 生态清洁生态小流域技术规范[S].北京,2008.
- [18] 中华人民共和国水利部. SL 534-2013 生态清洁生态小流域建设技术导则[S].北京,2013.
- [19] 孟庆华,傅伯杰.景观格局与土壤养分流动[J].水土保持学报,2000,14(3):116-121.
- [20] 北京市水务局. 2020 年北京市水土保持公报[EB/OL](2021-09-02)[2022-03-20]. <http://swj.beijing.gov.cn/zwgk/stbcgb/202109/P020210902621395664208.pdf>.
- [21] 李姝,喻阳华,袁志敏,等.碳汇研究综述[J].安徽农业科学,2015,43(34):136-139.
- [22] 余新晓,贾国栋,郑鹏飞.碳中和的水土保持实现途径和对策[J].中国水土保持科学,2021,19(6):138-144.
- [23] 刘宝元,刘瑛娜,张科利,等.中国水土保持措施类型[J].水土保持学报,2013,27(2):80-84.
- [24] 陈毅凤,张军,万国江.贵州草海湖泊系统碳循环简单模式[J].湖泊科学,2001,13(1):15-20.
- [25] 未来 100 年中国陆地生态系统仍是弱碳汇[EB/OL](2008-03-24)[2022-03-20]. https://www.cas.cn/xw/kjss/gndt/200906/t20090608_651668.shtml.
- [26] 王伟.欧洲现有森林或许已达到碳汇能力的极限[EB/OL](2013-08-31)[2022-03-20]. <http://www.tanpaifang.com/tanhui/2013/0831/23655.html>.
- [27] 全国人大代表、三明市委书记余红胜.建议大力发展林业碳汇推动生态产品价值实现[EB/OL](2022-03-10)[2022-03-20]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1726875332731480557&wfr=spider&for=pc>.

(上接第 317 页)