

刘孟竹,王彦芳,裴宏伟.退耕还林(草)背景下中国北方农牧交错带土地利用及碳储量变化[J].中国沙漠,2021,41(1):174-182.

# 退耕还林(草)背景下中国北方农牧交错带 土地利用及碳储量变化

刘孟竹<sup>1,2</sup>,王彦芳<sup>3</sup>,裴宏伟<sup>1,2</sup>

(1.河北建筑工程学院 市政与环境工程系,河北 张家口 075000; 2.河北省水质工程与水资源综合利用重点实验室,河北 张家口 075000; 3.河北地质大学,河北 石家庄 050031)

**摘要:**为明晰退耕还林(草)背景下生态环境较为脆弱的北方农牧交错带土地利用及碳储量变化,基于该区2000、2010、2018年土地利用数据,通过动态度、土地转移矩阵、景观指数等指标从土地利用变化的数量、速率以及空间格局特征加以分析,同时基于InVEST模型定量估算了该区近20年来的碳储量变化。结果表明:(1)北方农牧交错带土地利用类型以草地、耕地、林地为主,面积合计逾 $4.30 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,占比超过91.83%;林地、建设用地显著扩张,草地与耕地有明显减少趋势,同时两者之间流转面积最多,高达 $1.67 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,研究区景观格局总体上收敛于“集中—分散”;(2)近20年来北方农牧交错带总碳储量51.44—52.81亿t,总体呈增加趋势,碳密度稳定在 $110 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右,退耕还林(草)政策下碳储量净增加逾300万t。北方农牧交错带土地利用变化程度较为剧烈,退耕还林(草)政策不仅是土地更迭的主要驱动因素,也是该区固碳功能显著提升的重要原因。

**关键词:**退耕还林(草);北方农牧交错带;土地利用;景观指数;InVEST模型;碳储量

**文章编号:** 1000-694X(2021)01-174-09

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00073

**中图分类号:** Q148;S714

**文献标志码:** A

## 0 引言

21世纪以来,随着二氧化碳、甲烷等温室气体的大量排放,温室效应加剧,全球暖干化趋势日趋严重<sup>[1]</sup>。在该背景下,区域乃至全球尺度的碳储存、碳循环等相关研究已成为全球性内容的重要研究内容<sup>[2]</sup>。生态系统固碳功能直接影响着区域的气候调节以及物质能量循环,而土地利用/覆盖变化则是驱动区域生态系统碳循环的最主要因素<sup>[3]</sup>,其通过区域土地覆盖类型的流转更迭进而改变包括碳循环在内的物质、能量循环流动<sup>[4]</sup>。土地利用/覆盖变化也被认为是仅次于化石燃料燃烧导致大气中二氧化碳浓度变化的重要因素<sup>[5]</sup>。目前,国内外相关领域研究采用较为广泛的主要是CASA模型<sup>[6]</sup>、InVEST模型<sup>[7]</sup>等。其中,InVEST(Integrate Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)模型以其理论发展成熟、输入变量少且易获取<sup>[8]</sup>、能便捷评价区域

碳储量等优点而被广泛应用<sup>[9]</sup>。通过GIS软件对数据的处理分析来对特定区域碳储量变化进行深入分析,以期揭示土地利用/覆盖变化对区域生态系统碳储量的影响,是国内外学者常用的研究方法。

中国北方农牧交错带处于半干旱向半湿润过渡区,生态环境极为脆弱<sup>[10]</sup>,且易受土地利用变化影响<sup>[11]</sup>。自退耕还林(草)政策实施以来,该区土地格局发生了显著改变,间接影响了该区生态系统固碳、水土保持等生态功能。北方农牧交错带不仅蕴藏着可观的生态开发能力<sup>[12]</sup>,同时也是中东部地区的生态屏障和京津冀地区重要的水源涵养地<sup>[13]</sup>,其生态意义和区位优势不言而喻。目前,针对整个农牧交错带地区退耕还林(草)以来的土地利用/覆盖变化以及碳储量的相关研究鲜有报道。本文通过分析北方农牧交错带退耕还林(草)政策实施以来的土地利用/覆盖变化以及利用InVEST模型估

收稿日期:2020-06-11; 改回日期:2020-07-14

资助项目:国家自然科学基金项目(41701017);河北省重点研发计划项目(18397002D);河北省教育厅青年拔尖人才项目(BJ2018027);河北省科技厅高水平人才团队建设项目(199A4201H);张家口市科技局人才专项(201903Y)

作者简介:刘孟竹(1994—),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要从事环境生态学研究。E-mail: protectzhuzhu@163.com

通信作者:裴宏伟(E-mail: hwpei@sjziam.ac.cn)

算该区近20年来碳储量的时空变化,旨在为该生态脆弱区生态服务能力评估以及可持续性发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

由于判断尺度不同,中国北方农牧交错带范围划分存在多种标准。本文参考农业部于2017年发布的《农业部关于北方农牧交错带农业结构调整的指导意见》,该指导意见中详细划分的重要区域共

涉及宁夏、甘肃、内蒙古、陕西、山西、河北、辽宁7省(区)146个县市(图1)。本文划定的北方农牧交错带总面积约为 $4.70 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,海拔最高为3 061 m。该区年均气温2—8℃,近30年来每10年增温0.32℃,年降水量300—450 mm,降水极不稳定<sup>[14]</sup>。该区地貌单元以高原、丘陵镶嵌分布为主,部分区域地貌为平原、沙地、山地<sup>[15]</sup>。该区多年来存在过度开垦、超载过牧现象,直接导致生态环境退化,动植物数量和种类不断减少,甚至出现过严重的荒漠化现象<sup>[16]</sup>。目前研究区已施行的国家政策主要有“三北”防护林建设、“自然保护区建设”、“退耕还林(草)”。

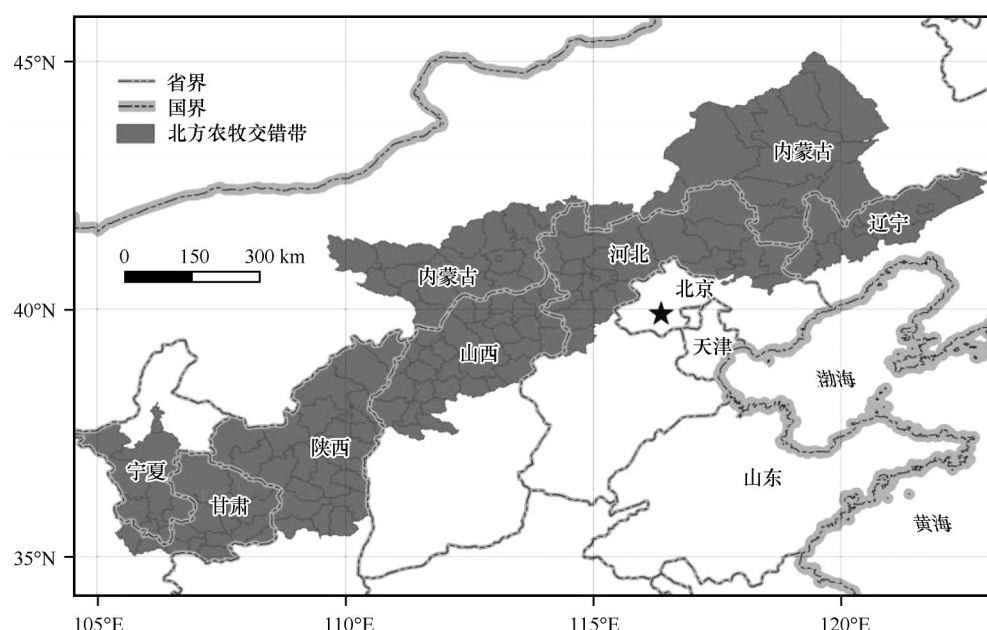


图1 研究区地理图

Fig.1 Sketch map of study area

### 1.2 数据来源与处理

本研究所用的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,由Landsat卫星影像目视解译制成,分辨率为30 m。时间选取了2000、2010、2018年共计3期。数据经过人工检验,精度在85%以上,能满足本文研究需要。土地利用类型根据《土地利用现状分类》标准并参考北方农牧交错带地区的实际情况分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地。高程数据(SRTMDEMUTM 90M分辨率数字高程数据产品)来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),经过ArcMap软件镶嵌处理合成得到。由于北方农牧交错带的范围比较大,本研究考虑现实因素无法实地一一取样调查,通过

广泛的文献查找,归纳总结得到适用于本研究区碳密度数据。其中地上生物量碳密度参数参考陈利军等<sup>[17]</sup>研究结果,地下生物量碳密度参数采用李克让等<sup>[18]</sup>和解宪丽等<sup>[19]</sup>研究结果,土壤碳密度参数采用解宪丽等<sup>[19]</sup>和朱超等<sup>[20]</sup>研究结果,死亡有机质碳密度参数采用汤洁等<sup>[21]</sup>研究结果。所有空间数据均统一为WGS-1984坐标系。

### 1.3 研究方法

本研究采用单一土地利用动态度、土地转移矩阵等分别从土地利用变化的速率、土地流转情况对北方农牧交错带土地格局的变化进行整体分析,通过景观指数分析其土地空间格局变化,同时采用应用较为广泛的InVEST模型估算该区的碳储量及多年

变化趋势,通过以上方法揭示研究区多年来土地利用演变规律以及总碳储量变化趋势。

### 1.3.1 单一土地利用动态度

土地利用动态度能定量反映出土地变化的速度,其中单一土地利用动态度侧重反映研究期内某种土地利用类型数量的年变化率,综合土地利用动态度则是对研究区内土地利用整体变化情况的刻画。为深入细化分析多年来坝上地区土地利用的变化情况,本文选择单一土地利用动态度这一指标<sup>[22]</sup>。

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

式中: $K$ 表示研究时段内某一土地利用类型动态度; $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究初期和研究末期某种土地利用类型的数量; $T$ 为研究时长。

### 1.3.2 土地转移矩阵

土地转移矩阵反映了某一区域在研究初期和研究末期各类土地类型面积互相转化的动态信息,不仅可以定量地表明不同土地利用类型之间的转化情况,还可以揭示不同土地利用类型间的转移速率。转移矩阵表达式如下<sup>[23]</sup>:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $S$ 为面积; $n$ 为转移前后土地利用类型数; $i, j$  ( $i, j=1, 2, 3, \dots, n$ )分别表示转移前后的土地类型; $S_{ij}$ 表示转移前的 $i$ 类土地转换成转移后 $j$ 类土地类型的面积。

### 1.3.3 InVEST模型估算碳储量

InVEST模型全称为生态系统服务功能权衡综合评估模型,可提供生境质量、产水量、水土保持、碳储量等多个生态系统服务功能与价值评估。其中碳储量模型中需要的必要输入数据包括土地分类数据以及基本的四大碳库数据,即地上碳库、地下碳库、土壤碳库和死亡有机质碳库,输出可得到土地利用数据包含范围内的固碳总量、不同土地类型固碳量。由于所选研究区较大,除基本碳库以外的碳库数据获取上具有困难,故只考虑四大基本碳库,具体公式如下<sup>[24]</sup>:

$$C = C_a S_a + C_b S_b + C_c S_c + C_d S_d \quad (3)$$

式中: $C$ 为总碳储量,kg; $C_a$ 为单位面积地上碳密度; $C_b$ 为单位面积地下碳密度; $C_c$ 为单位面积土壤碳密

度; $C_d$ 为死亡有机质碳密度;密度单位 $t \cdot hm^{-2}$ ; $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$ 、 $S_d$ 为各地类面积, $hm^2$ 。

## 1.4 耕地转林(草)地区域碳储量变化

为了定量评估退耕还林(草)工程对北方农牧交错带地区2000—2018年的固碳功能影响,提取了研究区2000—2018年耕地转林、草地的图层,将耕地转林、草地区域栅格值设置为1,其余区域设置为0,得到相应的二值图。通过GIS软件将2000—2018年碳储量变化栅格图与上述二值图进行相乘处理,得到结果为研究区退耕还林(草)区域碳储量变化的栅格图。当栅格值大于0时,表示该栅格范围内碳储量增加增强;小于0时,则减弱;值为0时,表示该栅格为非退耕还林(草)区或者该栅格对应区域内碳储量无变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用变化

2000—2018年,北方农牧交错带土地利用类型以耕地、林地和草地为主,面积共计超过 $4.30 \times 10^5 km^2$ ,占比为91.83%(表1,图2)。在6种土地利用类型中面积最大的是草地,3个时期的平均面积为 $1.85 \times 10^5 km^2$ ,占地逾38.00%;水域面积最小,3个时期平均面积为 $6.30 \times 10^3 km^2$ ,草地平均面积约为水域的29.39倍。从变化趋势来看,近20年来北方农牧交错带土地利用类型处于减少趋势的为耕地、草地和未利用地,减少面积分别为5 852.58、6 488.41、557.59  $km^2$ ;林地、水域和建设用地则处于增加态势,增加面积分别为6 972.62、173.45、5 781.54  $km^2$ 。

从动态度分析结果来看(图3),建设用地无论是整个研究期还是分阶段,相对变化程度都非常剧烈,动态度均高达0.02以上。其次是林地,在2000—2010年,动态度值为 $0.83 \times 10^{-2}$ ,上升趋势较为急剧,但在2010—2018年则变化极为缓和。耕地和草地的变化趋势较为相似,两者动态度在各阶段均相差无几。总体来看,水域、建设用地和未利用地在前一时期变化程度均不如后一时期剧烈,而耕地、林地、草地的变化显著发生于2000—2010年,三者作为研究区主要的土地利用类型,对该区的土地利用变化特征的解释具代表性。

2000—2018年,北方农牧交错带土地利用类型



表 1 研究区 2000—2018 年土地利用面积与比例  
Table 1 Area and proportion of land use in study area from 2000 to 2018

土地利用类型	2000 年		2010 年		2018 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
耕地	163 975.09	34.92	159 457.37	33.96	158 122.51	33.67
林地	83 345.09	17.75	90 271.87	19.23	90 317.71	19.23
草地	188 779.62	40.21	184 404.28	39.27	182 291.21	38.82
水域	6 225.26	1.33	6 277.01	1.34	6 398.71	1.36
建设用地	10 396.60	2.21	12 547.74	2.67	16 178.14	3.45
未利用地	16 817.50	3.58	16 575.27	3.53	16 259.91	3.46

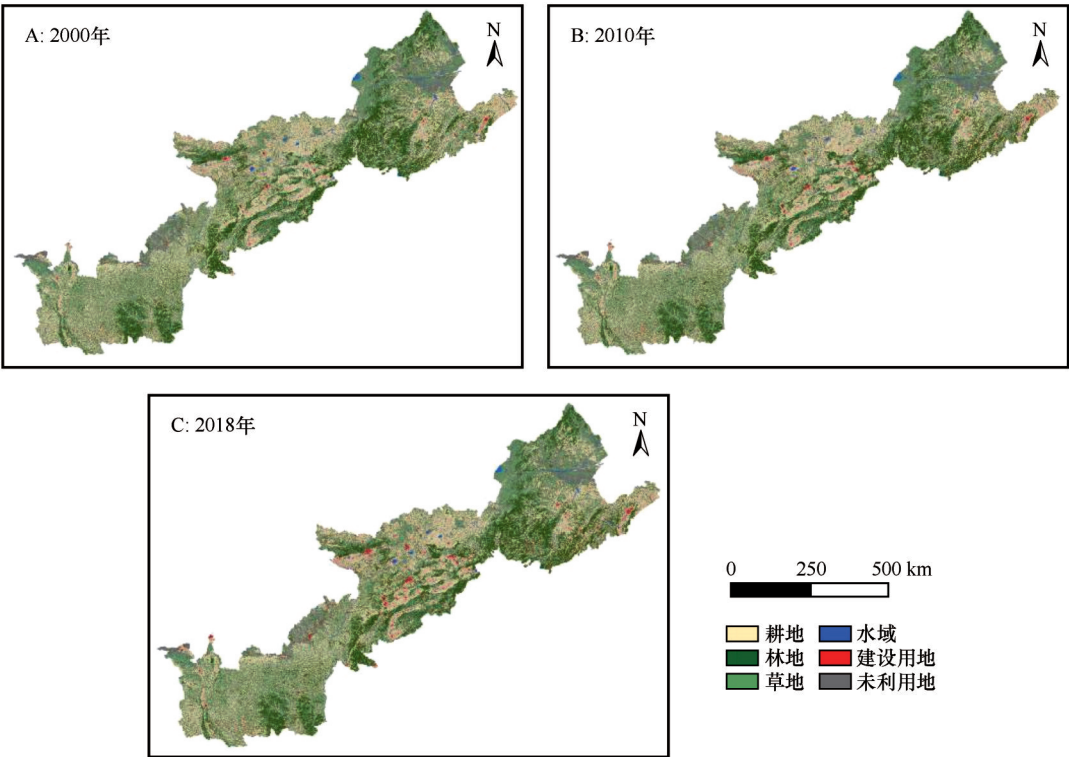


图 2 研究区 2000—2018 年土地利用  
Fig.2 Land use in study area from 2000 to 2018

变化最大发生在耕地和草地之间,18年间超过  $1.67\times 10^4\text{ km}^2$  的耕地和草地的互相转化(表 2)。其次约有  $1.06\times 10^4\text{ km}^2$  的草地和  $6.42\times 10^3\text{ km}^2$  的耕地转为林地。此外,约有  $972\text{ km}^2$  的耕地转入水域;建设用地主要由耕地和草地转化而来,转入面积分别为  $4.77\times 10^3\text{ km}^2$ 、 $2.11\times 10^3\text{ km}^2$ ,林地转入建设用地也有相当可观的面积,多达  $655.45\text{ km}^2$ 。对未利用地贡献最大的主要来源为草地和耕地的转入,北方农牧交错带草地退化面积多达  $1\,743.75\text{ km}^2$ ,耕地撂荒超过  $600\text{ km}^2$ 。可以认为,自退耕还林(草)政策实施以来,北方农牧交错带地区取得了一定成效,最大成效期发生在

2000—2010 年,主要表现在“还林”部分。“还草”的面积虽然最大,但其过程发生了近乎同等程度的可逆现象,加上草地自身退化以及建设用地的占用,导致北方农牧交错带区域草地多年萎缩明显,“还草”起到的更多是对草地退化的抑制效果。

2.2 碳储量变化

2.2.1 碳储量及碳密度

利用北方农牧交错带 2000—2018 年的土地利用数据以及碳密度参数数据(表 3)运行 InVEST 模型的碳储量模块,得到碳储量和碳密度变化(图 4),

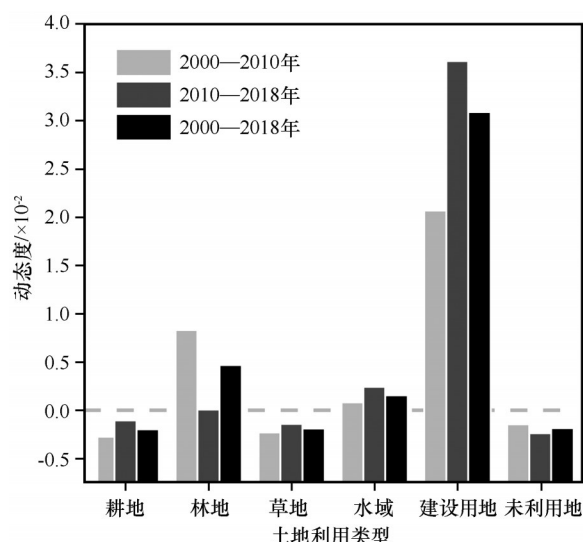


图3 研究区2000—2018年单一土地动态度变化

Fig.3 The change of single land use dynamic degree in study area from 2000 to 2018

经GIS软件对图4进行数据统计来看(表4),北方农牧交错带2000年、2010年和2018年的总碳储量分

别为51.44亿t、52.81亿t、51.75亿t,整个研究区的平均碳密度分别为109.55、110.35、110.22  $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。随着研究区多年来土地之间的流转,总碳储量在2000—2010年增加了3 740万t,主要源于退耕还林背景下前一时林地显著扩张导致固碳能力增加,但在2010—2018年总碳储量减少了631.61万t,这与耕地被占用以及草地退化密不可分。总的来看,北方农牧交错带在整个研究期间土地利用变化所导致的固碳功能出现显著上升后小幅度下降,主要表现在2000—2010年有较为显著的升高,碳密度上升了近0.80  $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,在2010—2018年存在较小的下降趋势,碳密度下降了0.80  $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。碳储量和碳密度最高的是耕地和草地,碳储量多年来均保持在 $1.8\times 10^8$  t左右,碳密度3 700—3 900  $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。较高的为林地,最低的是水域,其碳储量未超过 $2.00\times 10^6$  t,碳密度也仅为4.00  $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$ 左右,研究区的固碳功能与土地利用格局以及土地利用变化存在显著相关关系。

表2 研究区2000—2018年土地转移矩阵(单位:  $\text{km}^2$ )Table 2 Land transfer matrix in in study area from 2000 to 2018 (Unit:  $\text{km}^2$ )

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	134 906.31	3 597.84	16 669.74	727.58	1 402.64	791.06
林地	6 420.98	72 778.72	10 564.43	194.52	184.25	154.08
草地	16 247.86	5 990.15	157 264.89	353.24	462.74	1 898.32
水域	971.99	159.65	385.61	4 674.09	62.62	127.05
建设用地	4 768.89	655.45	2 108.85	122.02	8 211.41	308.29
未利用地	635.43	116.59	1 743.75	142.32	72.99	13 530.96

表3 北方农牧交错带土地利用类型碳密度参数(单位:  $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )Table 3 Carbon density index of each land use type in study area (Unit:  $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

土地利用类型	地上部分碳	地下部分碳	土壤碳	死亡有机质碳
耕地	4.00	25.60	80.70	0.72
林地	4.80	42.40	115.90	0.18
草地	2.50	18.20	74.60	0.45
水域	3.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	2.50	0.08	78.00	0.00
未利用地	1.30	8.60	31.40	0.00

## 2.2.2 退耕还林(草)对碳储量变化的影响

经过GIS软件分区统计可知(图5,表5),研究区在2000—2018年耕地转林(草)地区域主要发生在辽宁、陕西、内蒙古等地区,可见,该区内退耕还

林(草)政策取得了实质性进展,而研究区耕地转林(草)地区域整体“偏黑”,生态系统固碳功能整体增强。碳减少区域主要发生在宁夏西部、山西北部、陕西南部等区域,碳储量净减少区域只发生在宁夏,减少约4.28万t;其余6省区碳储量均有不同程度的增加,其中增加最明显的为辽宁省和陕西省,碳增量分别约为156.48万t、78.03万t,甘肃省碳储量增加程度最小,仅为7.91万t,约为辽宁省碳增量的5%。从碳储量变化面积来看,近20年来北方农牧交错带耕地转林(草)地区域面积约为22 666.19  $\text{km}^2$ ,在该区域内碳未变化区域面积13 347.77  $\text{km}^2$ ,碳增加区域面积5 121.59  $\text{km}^2$ ,碳减少区域4 191.28  $\text{km}^2$ 。耕地转林(草)区域内碳储量变化区占比41.10%,碳储量净增加量为 $3.13\times 10^6$  t。固碳功能受多方因素影响,不仅仅受土地利用类型更迭带来的变化。

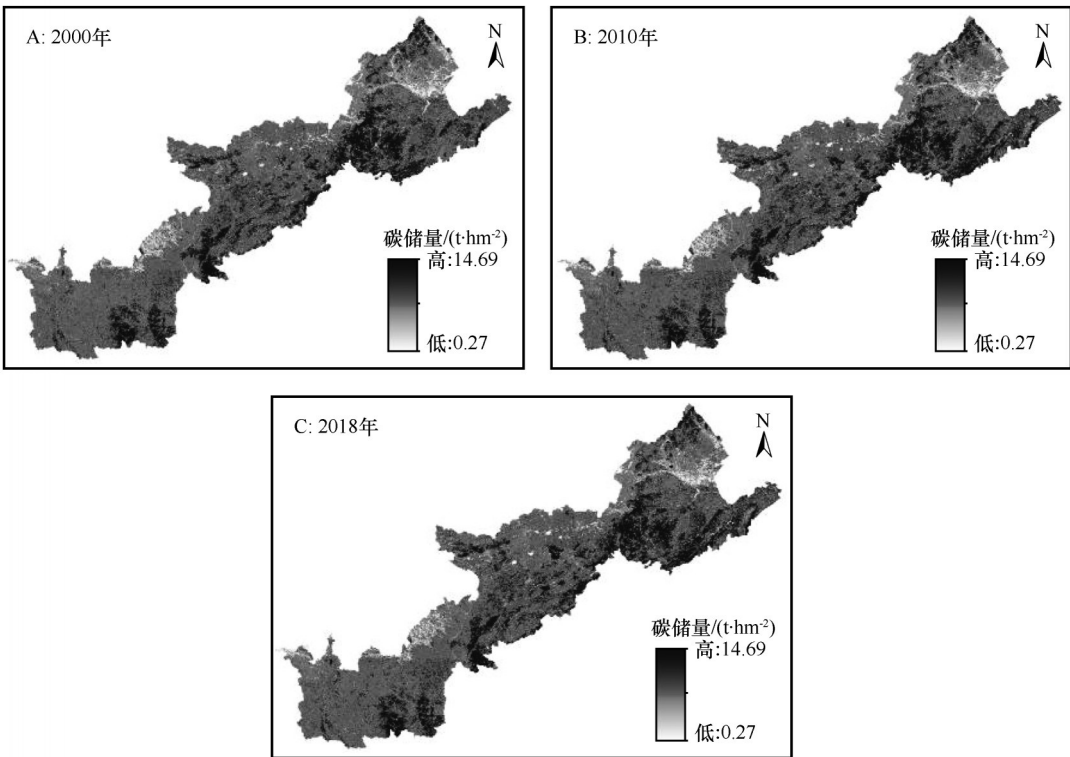


图 4 研究区 2000—2018 年碳储量

Fig.4 The change carbon storage in study area from 2000 to 2018

表 4 研究区 2000—2018 年各土地利用类型碳储量及碳密度

Table 4 carbon storage and density in study area from 2000 to 2018

土地利用 类型	碳储量/ $\times 10^6$ t			碳密度/ $(t \cdot km^{-2})$		
	2000 年	2010 年	2018 年	2000 年	2010 年	2018 年
耕地	1 820.45	1 770.30	1 755.48	3 877.10	3 770.28	3 738.72
林地	1 360.86	1 473.96	1 474.71	2 898.29	3 139.16	3 140.76
草地	1 807.56	1 765.67	1 745.44	3 849.66	3 760.43	3 717.34
水域	1.87	1.88	1.92	3.98	4.01	4.09
建设用地	83.78	101.11	130.36	178.42	215.34	277.64
未利用地	69.46	68.46	67.15	147.92	145.79	143.02

表 5 各省份 2000—2018 年耕地转林(草)区碳变化

Table 5 The data of carbon storage changes of each province in farmland to forest (grass) areas from 2000 to 2018

指标	陕西	山西	宁夏	内蒙古	辽宁	河北	甘肃
退耕还林(草)区/ $km^2$	7 508.60	3 190.55	1 306.05	3 499.54	2 810.99	2 230.57	2 119.89
碳未变化区/ $km^2$	4 537.35	2 000.13	908.72	2 160.18	859.58	1 333.76	1 548.05
碳增加区/ $km^2$	1 824.85	617.40	107.98	469.50	1 405.17	443.66	253.03
碳减少区/ $km^2$	-1 145.26	-572.83	-288.46	-868.20	-545.48	-452.95	-318.10
碳储量变化/t	780 314.72	306 029.1	-42 794.93	148 776.47	1 564 840.24	295 977.52	79 131.02

由表 4 可知,耕地与草地的碳密度近似相等,但显著小于林地碳密度,当耕地转为林地时,碳储量会增

加。综上分析可知,退耕还林(草)会增强生态系统固碳功能。

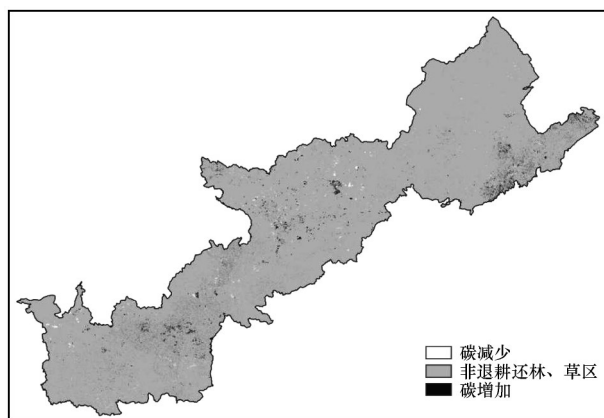


图5 研究区2000—2018年耕地转林、草地区碳储量变化

Fig.5 Changes of carbon storage in farmland to forest (grass) areas from 2000 to 2018

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

从本研究存在的误差来分析,文中土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,该数据由官方验证具有良好精度,但用于解译的遥感影像成像时间尚未可知。植被在不同生长时期的固碳能力不完全相同,加上土地利用数据精度的影响,因此对碳储量的计算结果会造成一定误差,未来研究会更倾向于选择特定时间的影像进行影像解译,避免误差。同时,往往分类越多对于碳密度计算结果会更准确,而土地利用分类只选择了6类,主要考虑的是更多的土地利用类型在以往的研究中难以找到相对应的适合的碳密度参数数据。为达到研究目的,在数据可获得性的限制下,土地利用类型分类过少而造成的研究区碳储量计算的误差难以避免,未来会考虑适当缩小研究范围,通过实地测量获得更准确的碳密度参数数据。此外,本文中参考以往研究<sup>[17-19]</sup>获取的碳密度数据,研究时间均在本研究时期初期,对本文研究具有一定参考性,但上述研究的研究区域针对的是全国,而本文研究区范围较大,整个片区实地测验的碳密度数据研究鲜有报道,因此将全国各土地利用类型的碳密度研究结论移植到本研究,空间异质性带来的对研究结果的误差只能在以后条件允许的情况下进行实地测验来进行弥补。

从研究结果来分析,本研究得出退耕还林(草)政策对北方农牧交错带地区固碳能力具有提升效益的结论,与许明祥等<sup>[25]</sup>及邓元杰等<sup>[26]</sup>研究结果一

致,研究结果具有一定信服力,但对于整个片区碳储量的估算在以往研究中鲜有报道,该结果仍然需要在以后的实地调查中获得的数据来进行补充。此外,我们发现,陕西、甘肃两省在研究期间退耕还林(草)区面积对应各自省份的面积占比相较于其余省份偏大,碳增加区域也相对较大,通过分析认为,陕西省、甘肃省是最早的退耕还林(草)政策的试点区(陕西、甘肃、四川),时间上、政策力度上都优于其余省份,因此可以推论上述现象与之存在关联。从整个片区的退耕还林(草)情况来看,研究期间草地出现了萎缩,这明显与政策的预期相违背,经分析退耕还草确实取得了一定效果但其过程也出现了同等程度的可逆,同时由于研究区处于脆弱生态区,多年来该区草地发生了一定程度的退化并被建设用地大肆占用,导致近20年来草地面积不升反降,“还草”愿景未能如期实现,更多的是减缓了草地进一步萎缩。另外,从变化的时期来看,退耕还林(草)主要发生于2000—2010年阶段,该结论与殷小茵等<sup>[27]</sup>关于北方农牧交错带西段的研究中在2010年后耕地转林(草)面积显著减少的变化基本一致。

#### 3.2 结论

2000—2018年北方农牧交错带土地利用类型以草地、耕地、林地为主,三者面积之和占比超过91.83%。此外,近20年来变动幅度较大的为耕地、草地、林地、建设用地,其中耕地、草地分别减少5 852.58、6 488.41 km<sup>2</sup>,林地和建设用地增加了6 972.62、5 781.54 km<sup>2</sup>。变化最剧烈的为建设用地,其动态度超过0.02。土地利用类型更迭最为明显的是耕地和草地,两者之间有超过1.67×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>的互相转化。

2000—2018年北方农牧交错带在退耕还林(草)政策上取得了一定成效,主要发生于2000—2010年,具体表现在耕地大幅度地下降和林地显著增加,同时,草地在研究期间下降趋势较为明显。

经估算,北方农牧交错带在2000、2010、2018年总碳储量分别为51.44亿t、52.81亿t、51.75亿t,该区碳密度在110 t·hm<sup>-2</sup>左右,呈显著上升后微弱下降的趋势。前一时期的固碳能力增强主要是由于退耕还林背景下林地的大幅度扩张,后一时期耕地和草地的明显减少导致固碳功能存在微小的变弱趋势。根据InVEST模型估计,退耕还林(草)使得研究区碳储量净增加3.13×10<sup>6</sup> t。



## 参考文献:

- [1] Pan Y, Birdsey R A, Fang J, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests [J]. *Science*, 2011, 333 (6045): 988-993.
- [2] 方精云, 朱江玲, 王少鹏, 等. 全球变暖、碳排放及不确定性 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(10): 1385-1395.
- [3] 孔君洽, 杜泽玉, 杨荣, 等. 黑河中游土地利用/覆被变化及其对碳储量影响的预测 [J]. *中国沙漠*, 2019, 39(3): 87-97.
- [4] Mishra V, Cherkauer K A, Niyogi D, et al. A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Midwest United States [J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(13): 2025-2044.
- [5] Brovkin V, Boysen L, Arora V K, et al. Effect of anthropogenic land-use and land-cover changes on climate and land carbon storage in CMIP5 projections for the twenty-first century [J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(18): 6859-6881.
- [6] 周广胜, 张峰, 王玉辉. 基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟 [J]. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 786-797.
- [7] Lyu R, Mi L, Zhang J, et al. Modeling the effects of urban expansion on regional carbon storage by coupling SLEUTH-3r model and InVEST model [J]. *Ecological research*, 2019, 34(3): 380-393.
- [8] 张福平, 李肖娟, 冯起, 等. 基于 InVEST 模型的黑河流域上游水源涵养量 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(6): 1321-1329.
- [9] Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 540: 63-70.
- [10] 敖登高娃, 李跃进, 兀良哈·巴雅尔. 脆弱草原带农牧交错区村域尺度土地利用结构定量分析 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 222-231.
- [11] 李旭亮, 杨礼箫, 田伟, 等. 中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 331-339.
- [12] 蔡玉梅, 郭焕成. 我国北方地区后备耕地资源开发的特点、问题及对策 [J]. *地理科学进展*, 1999(1): 78-82.
- [13] 高廷, 王静爱, 李睿, 等. 中国北方农牧交错带土地利用变化及预测分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(10): 52-57.
- [14] 董满宇, 江源, 任斐鹏, 等. 近 50 a 来北方农牧交错带气温变化趋势及突变分析 [J]. *中国沙漠*, 2010, 30(4): 926-932.
- [15] 李旭亮, 杨礼箫, 田伟, 等. 中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 331-339.
- [16] 卢远, 华璿, 王娟. 东北农牧交错带典型区土地利用变化及其生态效应 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(2): 58-62.
- [17] 陈利军, 刘高焕, 励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测 [J]. *遥感学报*, 2002, 6(2): 129-136.
- [18] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量 [J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2003, 33(1): 72-80.
- [19] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子 [J]. *土壤学报*, 2004, 41(5): 687-699.
- [20] 朱超, 赵淑清, 周德成. 1997—2006 年中国城市建成区有机碳储量的估算 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(5): 1195-1202.
- [21] 汤洁, 张楠, 李昭阳, 等. 吉林西部不同土地利用类型的土壤有机碳垂向分布和碳密度 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2011, 41(4): 1151-1156.
- [22] 张军峰, 孟凡浩, 包安明, 等. 新疆孔雀河流域人工绿洲近 40 年土地利用/覆被变化 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(3): 664-672.
- [23] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨 [J]. *资源科学*, 2010, 32(8): 1544-1550.
- [24] 蒋九华, 齐实, 胡俊, 等. 基于 InVEST 模型的北京山区森林生态系统碳储量评估分析 [J]. *地球与环境*, 2019, 47(3): 326-335.
- [25] 许明祥, 王征, 张金, 等. 黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应 [J]. *生态学报*, 2012, 32(17): 5405-5415.
- [26] 邓元杰, 姚顺波, 侯孟阳, 等. 退耕还林还草工程对生态系统碳储存服务的影响: 以黄土高原丘陵沟壑区子长县为例 [J]. *自然资源学报*, 2020, 35(4): 826-844.
- [27] 殷小蕊, 孙希华, 徐新良, 等. 我国北方农牧交错带西段退耕对土壤保持功能影响研究 [J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(12): 1721-1732.



## The changes of land use and carbon storage in the northern farming-pastoral ecotone under the background of returning farmland to forest (grass)

Liu Mengzhu<sup>1,2</sup>, Wang Yanfang<sup>3</sup>, Pei Hongwei<sup>1,2</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Hebei University of Architecture, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; 2. Hebei Key Laboratory of Water Quality Engineering and Comprehensive Utilization of Water Resources, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; 3. Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** The well-researched analysis of land use change and carbon storage in the northern farming-pastoral ecotone such a fragile ecological environment, under the background of returning farmland to forest (grass), could help generate a scientific basis for local regional ecological construction and sustainable development. Based on the land use data of the three periods of 2000–2018 in this area, the quantity, rate and spatial pattern characteristics of land use change in the past two decades were investigated through land transfer matrix, landscape index, and meanwhile carbon storage also got estimated quantitatively by InVEST model. The final results indicated that: (1) The land use types mainly consisted of grassland, cultivated land and forest land in the northern farming-pastoral ecotone, covering an area of more than  $4.30 \times 10^5 \text{ km}^2$  and accounting for 91.83% of the total area. Among them, forest land and construction land expanded significantly, and meanwhile grassland and cultivated land declined remarkably because the area of their mutual circulation was the largest, as high as  $1.67 \times 10^4 \text{ km}^2$ . The landscape pattern of the study area generally converged to "concentration-dispersion". (2) In the past two decades, the total carbon storage floated at 5.14–5.28 billion ton in the northern farming-pastoral ecotone, with a carbon increment of three million tons benefited from the policy of returning farmland to forest (grass). Besides, the carbon density reached nearly  $110 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . In conclusion, the change of land use grew increasingly vigorous in the northern farming-pastoral ecotone and the policy of returning farmland to forest (grass) not only had made some progress but also significantly improved the carbon sequestration function towards this area.

**Key words:** returning farmland to forest (grass); northern farming-pastoral zone; land use; landscape index; InVEST model; carbon storage