

2000—2020年中国陆地土壤碳储量 及土地管理碳汇核算

童荣鑫^{1,2}, 梁 迅^{1,2,3}, 关庆锋^{1,2,3}, 宋 宇¹, 陈玉玲³, 王钦艺^{2,3},
郑丽娜⁴, 金 群⁴, 余艳平⁴, 何 杰⁵, 熊雪晖⁶, 廖威林⁷

(1. 中国地质大学(武汉)国家地理信息系统工程技术研究中心, 武汉 430078; 2. 中国地质大学(武汉)自然资源部国土碳汇智能监测与空间调控工程技术创新中心, 武汉 430078; 3. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430078; 4. 湖北省自然资源厅信息中心, 武汉 430071;
5. 湖北省地质环境总站, 武汉 430034; 6. 广东省环境科学研究院, 广州 510045;
7. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要: 中国陆地土壤碳储量和土壤碳汇及管理碳汇对全球碳循环有重要的影响;然而,已有的土壤碳储量和碳汇估算研究主要采用较低分辨率的土地利用数据开展,且生态系统的管理碳汇较少被学者关注。为了解决这个问题,本文基于2000年、2020年中国30 m分辨率土地利用数据、中国气候区、中国温度带等多源数据,汇总国内土壤碳储量、土壤碳汇及土地利用管理碳汇相关的文献成果,采用土壤碳储量、土壤碳储量变化、土地管理碳汇、土地利用转变土壤碳变化核算模型,综合评估了中国2000—2020年农田和草地管理土壤(0~100 cm)碳汇、2000—2020年森林管理碳汇、2000年及2020年中国土壤碳储量(0~100 cm)、2000—2020年土壤碳储量的变化及土地利用转变土壤碳储量的变化。研究发现:① 2000—2020年中国农田管理土壤碳汇达17.918 Tg C a⁻¹,草地管理土壤碳汇约为20.171 Tg C a⁻¹;② 2000—2020年中国森林管理碳汇约为81.622 Tg C a⁻¹。③ 2000年和2020年中国土壤碳储量分别达到86.074 Pg C、86.771 Pg C;④ 2000—2020年土壤碳增加约34.850 Tg C a⁻¹;⑤ 研究时间段内,中国土地利用转变导致土壤碳储量减少约17.621 Tg C a⁻¹。本文研究成果有助于理清中国21世纪土壤碳储量和土壤碳汇及管理碳汇状况,为中国实现“双碳”目标提供科学的数据支持。

关键词: 土壤碳储量;土壤碳汇;高分辨率;土地利用变化;土地管理碳汇
DOI: 10.11821/dlxb202309006

1 引言

二氧化碳排放的逐年增加,导致了全球气候变暖问题越来越显著^[1]。在这个背景下,中国庄严承诺,力争2030年前二氧化碳排放达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和^[2-3]。厘清中国陆地的碳汇潜力对中国实现“双碳”目标具有重要的意义。陆地生态系统是全球主要碳汇之一^[4],每年能吸收约28%的由人为活动产生的二氧化碳^[5];且增加

收稿日期: 2022-11-11; 修订日期: 2023-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271437, 42171466); 湖北省自然资源厅科研计划项目(ZRZY2022KJ12)
[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42271437, No.42171466; Scientific Research Program of the Department of Natural Resources of Hubei Province, No.ZRZY2022KJ12]

作者简介: 童荣鑫(1994-), 男, 硕士生, 研究方向为土地利用碳储量核算及预测。E-mail: tongrx@cug.edu.cn

通讯作者: 梁迅(1990-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用变化建模和地理时空动态模拟。

E-mail: liangxun@cug.edu.cn

陆地生态系统碳储量,是应对气候变化的重要措施之一^[6]。而土壤是陆地生态系统最大的碳库,全球陆地生态系统超过80%的碳存储于土壤中^[7]。中国土壤碳储量约占全世界土壤碳储量6.73%^[8],占中国总碳储量82.9%^[9]。可见,研究和保护中国陆地生态系统土壤碳汇是实现“双碳”目标的必经路径和必要前提。

土地利用既是重要的碳源,也是重要的碳汇^[10]。有研究发现,2011—2020年全球土地利用转变导致的碳排放占全球碳排放的14%^[11]。但也有学者指出,农田、林地、草地经过施肥、灌溉等管理措施后相对于未经过管理措施的农田、林地、草地能吸收更多的二氧化碳,具有巨大的增汇潜力^[12]。金琳等^[13]认为,农田土壤碳库损失量的60%~70%左右可通过采用合理的管理措施重新固定。Yu等^[14]的研究结果显示,农田土壤有机碳库在特定气候变化或实施特定管理措施情况下均会有明显增加,且农田管理的影响远远大于气候变化的影响。另外,森林在陆地生态系统碳循环及减缓全球气候变化中也发挥着重要的作用^[15]。中国森林的碳汇约为163 Tg C a⁻¹^[16]。森林管理碳汇是森林碳汇的重要组成部分,Walker等^[17]认为全球未来固碳潜力为287 Pg C,改善现有森林的管理可提供近3/4的未实现潜力。此外,Zhang等^[18]指出,草地也是重要的碳汇。中国草地面积约占中国总面积的41%,草地管理实践被认为是提高土壤有机碳积累的有效选择之一^[19]。

随着地面观测和3S技术的发展,学者们以森林、草地清查数据或遥感影像数据为基础,开展了大量有关陆地生态系统碳储量的研究工作^[6]。如Pan等^[20]开展了全球森林碳汇研究,Piao等^[21]开展了中国陆地生态系统碳平衡研究,Yu等^[22]基于1 km网格土地利用数据,估算中国土壤有机碳储量为89.1 Pg C。然而,已有研究所用的土地利用数据分辨率普遍偏低,特别是在全国尺度,土地利用数据分辨率主要为500 m或1000 m^[23-27],难以很好地表达精细尺度的碳储量及碳汇情况。且研究的年份主要在2017年以前,早年的中国土地的碳储量和碳汇研究无法很好地支持新时期中国碳达峰、碳中和的战略需求。

因此本文基于2000年、2020年30 m中国土地利用数据、中国气候区、中国温度带等多源数据,同时收集和参考了近年已发布的中国碳储量文献数据,开展了以下研究工作:① 估测2000—2020年中国农田及草地管理土壤碳汇;② 核算2000—2020年中国森林管理碳汇;③ 计算2000年、2020年中国土壤有机碳储量;④ 评估2000—2020年中国土壤有机碳储量变化情况^①;⑤ 估算2000—2020年中国土地利用转变导致土壤碳储量变化。旨在为中国以及国内各级政府制定实现“双碳”目标的政策提供更有力的研究基础和数据支持。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 数据来源

2.1.1 碳密度及土地管理碳数据 本文使用土壤碳密度数据来源于Yu等^[28]的研究,另外使用了Yu等^[22]发布的中国生态系统土壤碳密度数据。在土地管理碳方面,本文采用金琳等^[13]及Lai等^[12]的中国农田土壤有机碳储量管理影响因子数据。中国草地管理有机碳储量影响因子(F_{LU} 、 F_{MG} 、 F_I)来源于Lai等^[12]的研究,划定4个类别的草地管理条件(未退化、中度退化、重度退化和改良)。

本文所用2000年森林面积、2000—2020年森林转出面积来源于CLUD数据集^[29]。单位面积蓄积量、2014—2018年森林生长率、2014—2018年森林消耗率来源于《中国森林资源报告(2014—2018)》,树干材积密度、生物量扩展系数来源于第七次森林资源清查。

① 本文全国土壤碳储量计算深度为100 cm,与IPCC一致。

2.1.2 土地利用数据 本文所使用土地利用数据为CLUD数据集^[29]中的2000年、2020年中国30 m分辨率土地利用数据,该数据由人工解译获得,具有较为精细的土地斑块特征,且具有分辨率高,年份更新等优点。但该数据可能由于解译标准原因,青藏高原地区2000—2008年间与2010—2020年间草地转变为未利用地数据一致性较低。因此本文使用CLCD数据集^[30]中的草地数据替代CLUD数据集的草地数据。

2.1.3 气候区及温度带数据 本文所使用气候区数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<https://www.resdc.cn/>),根据气候、地形、地貌等特征将中国气候区划分为干旱区、半干旱区、半湿润区、湿润区^[31]。将中国温度带划分为寒温带、中温带、干旱中温带、暖温带、高原寒带、高原温带、高原亚寒带、北亚热带、中亚热带、南亚热带、边缘热带、赤道热带、中热带等气候带。

2.2 研究方法

本文所用的中国陆地土壤碳储量和土壤碳汇及管理碳汇估算框架涉及多种碳汇及碳储量估算。首先根据2000年、2020年土地利用数据、土壤密度数据、全国土壤分布数据、中国气候带及温度带数据,估算中国农田及草地管理土壤碳汇;然后根据2000年林地面积及2000—2020年林地转出面积、《中国森林资源报告(2014—2018)》,估算中国森林管理碳汇。其后根据2000年、2020年土地利用类型及土壤碳密度数据估算2000年、2020年中国土壤碳储量及2000—2020年中国土壤碳储量变化;最后将2000年及2020年土地利用类型叠加,得出2000—2020年动态栅格数据,估算2000—2020年中国土地利用转变导致碳储量排放。

2.2.1 碳储量和碳汇核算方法 本文中农田及草地管理土壤碳汇的计算公式一致,但使用了不同的计算参数^[12],其计算公式来自《2006年IPCC国家温室气体清单指南》^[32]。另外,森林管理碳汇计算公式来源于侯振宏等^[33]的研究。此外,根据不同年份的土壤有机碳储量的差值与对应年份差值的比值获得土壤有机碳储量变化的估算结果;

(1) 农田及草地管理土壤碳汇计算

本文采用IPCC报告^[32]推荐的经验模型评估了农田和草地管理土壤碳汇。农田和草地上不同管理活动的影响因子系数取自金琳等^[13]及Lai等^[12]的研究, SOC_{REFc} 值取自Yu等^[28]的研究。农田及草地管理土壤碳汇的计算公式如下:

$$\Delta SOC = \sum_c (SOC_{REFc} \times F_{LUC} \times F_{MGc} \times F_{Ic} \times A_c) \quad (1)$$

式中: ΔSOC 代表管理土壤碳汇 ($Tg\ C\ a^{-1}$); SOC_{REFc} 代表土壤有机碳密度; F_{LUC} 代表土地利用的影响因素; F_{MGc} 代表土地管理的影响因素; F_{Ic} 代表养分输入的影响因素; c 代表气候区; A 代表对应土地类型的面积。

农田管理土壤碳汇的计算数据来源于相关文献^[14, 34-35]及统计年鉴,按照六大区^[12](中、南、东北、西南、西北、华北、华东)中农田免耕、施化肥、施有机肥以及秸秆还田的比例推广至各省份。本文以常规耕作、施常量化肥为基础耕作方式,采用中国第二次土壤普查的土壤有机碳密度及相关耕地面积来估算不同管理情景中国各省2000—2020年间农田地块的管理碳汇。

另外,本文采用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》^[32]中提出的模型,对2000—2020年间的草地管理土壤碳汇进行核算,其中土壤碳密度数据来源于Yu等^[28]的研究。通过叠加全国土壤分布数据与土地利用数据来获得相应类型的草地土壤的有机碳储量,再将草地土壤有机碳储量乘以相应地区的管理系数,获得草地管理土壤碳汇的计算结果。

(2) 森林管理碳汇计算

森林管理碳汇根据侯振宏等^[33]的研究,由以下公式计算:

$$\Delta C = A_{FM,t} \times V_{i,t} \times D_{i,t} \times WD_i \times BEF_i \times CF_i \quad (2)$$

式中： ΔC 代表森林管理碳汇 (Tg C a^{-1})； $A_{FM,t}$ 为 t 年时森林管理面积 (hm^2)； $V_{i,t}$ 为 i 省(市、区)在 t 年时的森林单位面积蓄积量 ($\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$)； $D_{i,t}$ 为 i 省(市、区)在 t 年时的林分蓄积生长率与林分蓄积消耗率之差 (%)； BEF_i 为 i 省(市、区)树干到全林的生物量扩展系数平均值； WD_i 为 i 省(市、区)平均木材密度； CF_i 为 i 省(市、区)平均生物量碳含量，参考已有研究设置为0.5^[12]。

本文中，森林管理碳汇为2000—2020年间森林管理活动产生的碳汇。森林管理活动是指除造林、再造林和毁林以外的可引起碳储量变化的所有森林管理活动，如控制用火、森林防火、病虫害防治、森林更新、幼林抚育(除草、松土等)、修枝、施肥、灌溉、排水、采伐及采伐剩余物和枯死木管理等。其中森林管理面积为2000—2020年始终保持为森林的面积。

(3) 土壤碳储量计算

土壤碳储量根据Xu等^[6]的研究，由以下公式计算：

$$SOC = \sum_{i=1}^n (SOC_{REFi} \times A_i) \quad (3)$$

式中： SOC 表示土壤有机碳储量 (Pg C)； SOC_{REFi} 表示第 i 种生态系统的土壤有机碳密度； A_i 代表第 i 种生态系统土壤的面积。

(4) 土壤有机碳储量变化计算

土壤有机碳储量变化速率根据Xu等^[6]的研究，由以下公式计算：

$$\Delta V_s = \frac{SOCs(2020) - SOCS(2000)}{20} \quad (4)$$

式中： ΔV_s 为土壤有机碳储量变化速率 (Pg C a^{-1})， $SOCS(2020)$ 及 $SOCS(2000)$ 分别代表2020年及2000年中国陆地土壤有机碳储量 (Pg C)。

2.2.2 土地利用转变导致的土壤碳储量变化 土地利用转变导致的土壤碳储量变化根据Chuai等^[26]的研究，由以下公式计算：

$$C = \sum (V_i - V_j) \times S_{transfer-ij} \quad (5)$$

式中： C 表示土地利用变化引起的总碳排放变化； V_i 和 V_j 表示 i 型和 j 型土地利用的碳密度； $S_{transfer-ij}$ 表示 j 型到 i 型土地利用转变的面积。

3 研究结果

3.1 2000—2020年中国农田及草地管理土壤碳汇

2000—2020年中国农田土壤经过施用有机肥、秸秆还田以及免耕等措施，农田管理土壤碳汇约为 $17.918 \text{ Tg C a}^{-1}$ (表1)。农田管理土壤碳汇较大的省份为山东、新疆、甘肃、河北、吉林、河南、内蒙古、黑龙江，数值范围为 $0.852 \sim 2.487 \text{ Tg C a}^{-1}$ ，主要为农田面积分布较多的省份。农田管理土壤碳汇较小的省份为上海、北京、西藏、天津、海南、青海、福建，数值范围为 $0.021 \sim 0.150 \text{ Tg C a}^{-1}$ 。

2000—2020年间草地经过灌溉、施肥、物种改良等管理措施之后，草地管理土壤碳汇达到 $20.171 \text{ Tg C a}^{-1}$ (表1)。草地管理土壤碳汇较大的省份为甘肃、黑龙江、新疆、四川、青海、内蒙古，数值范围为 $0.219 \sim 17.133 \text{ Tg C a}^{-1}$ ，主要分布在草地面积较为广泛

表1 2000—2020年中国各省区管理碳汇(Tg C a^{-1})Tab. 1 Carbon sink of management from 2000 to 2020 in different provincial-level regions in China (Tg C a^{-1})

省份	农田管理碳汇	草地管理碳汇	森林管理碳汇	省份	农田管理碳汇	草地管理碳汇	森林管理碳汇
北京	0.035	0.000	0.366	湖北	0.596	0.003	3.019
天津	0.069	0.000	0.004	湖南	0.465	0.001	3.587
河北	1.026	0.036	0.618	广东	0.291	0.002	8.020
山西	0.640	0.000	1.465	广西	0.495	0.001	6.165
内蒙古	1.242	17.133	7.122	海南	0.082	0.001	1.602
辽宁	0.772	0.001	2.742	重庆	0.258	0.037	1.149
吉林	1.076	0.028	4.751	四川	0.706	0.634	3.320
黑龙江	2.487	0.300	11.578	贵州	0.478	0.045	1.999
上海	0.021	0.000	0.001	云南	0.652	0.050	4.718
江苏	0.509	0.005	0.039	西藏	0.056	0.196	0.119
浙江	0.222	0.009	4.416	陕西	0.382	0.067	1.394
安徽	0.657	0.000	1.242	甘肃	0.930	0.219	0.906
福建	0.150	0.023	5.421	青海	0.102	0.794	0.159
江西	0.344	0.001	4.454	宁夏	0.220	0.012	0.017
山东	0.852	-0.004	0.028	新疆	0.897	0.579	0.597
河南	1.206	-0.001	0.604				

注: 台湾、香港、澳门数据暂缺。

的北部及西北地区。北京、天津草地管理土壤碳汇分别为 $238.833 \text{ t C a}^{-1}$ 、 $29.696 \text{ t C a}^{-1}$ 。其中上海、山西、安徽、河南、山东 5 个省级地区草地管理土壤为碳排放, 分别排放 3.145 t C a^{-1} 、 $231.189 \text{ t C a}^{-1}$ 、 $307.648 \text{ t C a}^{-1}$ 、 $0.001 \text{ Tg C a}^{-1}$ 及 $0.004 \text{ Tg C a}^{-1}$ 。上述省级地域主要分布在中国华北及沿海地区。

3.2 2000—2020年中国森林管理碳汇

本文估算的 2000—2020 年中国森林管理碳汇约为 $81.622 \text{ Tg C a}^{-1}$ 。森林管理碳汇较多的省份为吉林、福建、广西、内蒙古、广东、黑龙江, 上述省份碳汇数值范围为 $4.751 \sim 11.578 \text{ Tg C a}^{-1}$ (表1)。森林管理碳汇较多的省份主要为森林资源分布广泛的东北及南部地区, 较少的省份为上海、天津、宁夏、山东、江苏、西藏, 碳汇范围为 $0.001 \sim 0.119 \text{ Tg C a}^{-1}$ 。主要分布在中国的东部沿海及西部地区。

3.3 中国土壤碳储量核算结果及变化

3.3.1 2000—2020年中国土壤有机碳储量 研究结果还显示, 2000年和2020年中国的土壤有机碳储量 (0~100 cm) 分别为 86.074 Pg C 和 86.771 Pg C , 其中耕地土壤碳储量分别为 16.592 Pg C 和 16.349 Pg C , 林地土壤碳储量分别为 32.131 Pg C 和 32.565 Pg C , 草地土壤碳储量分别为 29.464 Pg C 和 29.036 Pg C , 湿地土壤碳储量分别为 2.322 Pg C 和 2.787 Pg C , 其他用地土壤碳储量分别为 5.565 Pg C 和 6.034 Pg C 。2000年土壤总碳储量排名前7的省份分别是云南、青海、四川、黑龙江、新疆、内蒙古、西藏, 这些地区的土壤碳的存储量范围在 $4.772 \sim 9.868 \text{ Pg C}$ 之间 (表2), 主要为区域面积较大的省份。2020年土壤总碳储量排前7的省份与2000年一致, 但碳储量数值范围与排名顺序略有不同。2000年土壤总碳储量排名后8位的省级地域分别为上海、天津、北京、海南、宁夏、台湾、江苏、重庆, 土壤碳储量的变化范围为 $0.050 \sim 0.943 \text{ Pg C}$, 主要为面积较小的

表2 2000—2020年中国不同省份土壤碳储量和碳密度及变化
Tab. 2 Soil carbon storage and carbon density and changes from 2000 to 2020 in different provincial-level regions of China

省份	2000年 总碳储量 (Pg C)	2000年 碳密度 (t C hm ⁻²)	2020年 总碳储量 (Pg C)	2020年 碳密度 (t C hm ⁻²)	2000—2020年 碳储量变化 (Tg C)	2000—2020年 碳密度 变化(t C hm ⁻²)	2000—2020年 总碳储量 (Pg C)	2000—2020年 碳密度 (t C hm ⁻²)	2000—2020年 碳储量变化 (Tg C)	2000—2020年 碳密度变化 (t C hm ⁻²)
北京	0.175	106.642	0.165	100.548	-9.857	-6.007	2.697	127.337	42.704	2.016
天津	0.085	71.429	0.075	63.025	-9.872	-8.296	2.166	120.534	-2.727	-0.152
河北	1.862	98.623	1.817	96.239	-44.801	-2.373	3.057	128.662	14.573	0.613
山西	1.679	107.147	1.678	107.084	-1.535	-0.098	0.433	122.316	-1.418	-0.401
内蒙古	9.58	80.981	9.787	82.730	207.591	1.755	0.943	114.442	21.812	2.647
辽宁	1.638	110.676	1.656	111.892	18.066	1.221	5.335	109.774	119.728	2.464
吉林	2.197	117.236	2.235	119.264	38.14	2.035	2.182	123.907	25.852	1.468
黑龙江	5.581	117.992	5.678	120.042	96.437	2.039	4.772	121.117	89.817	2.28
上海	0.05	78.864	0.041	64.669	-8.552	-13.489	9.868	82.066	-452.271	-3.762
江苏	0.781	72.854	0.706	65.858	-75.375	-7.031	2.11	102.527	41.455	2.014
浙江	1.304	127.843	1.278	125.294	-25.813	-2.531	3.049	71.606	70.754	1.662
安徽	1.37	98.138	1.367	97.923	-2.532	-0.181	4.969	68.794	212.792	2.946
福建	1.552	125.161	1.554	125.323	1.888	0.152	0.451	67.922	1.188	0.179
江西	2.127	127.442	2.155	129.119	27.769	1.664	8.518	51.313	375.918	2.265
山东	1.322	83.724	1.251	79.227	-70.919	-4.491	0.457	126.944	11.101	3.084
河南	1.572	94.132	1.543	92.395	-29.071	-1.741	0.012	107.743	0.283	2.541
湖北	2.18	117.267	2.194	118.020	13.873	0.746	0.0001	30.488	0.003	0.915
合计	86.074	89.243	86.771	89.968	697.001	0.723				

直辖市、省份或者东部沿海省份, 2020年土壤总碳储量排后8位的省级地区与2000年一致, 但碳储量数值范围与排名顺序有一定的变化。2000年碳密度排名前6的省份为: 福建、台湾、湖南、江西、浙江、广西, 上述各省份碳密度变化范围为 $125.161\sim 128.662\text{ t C hm}^{-2}$; 到了2020年, 贵州省成为前6的省份, 福建省落到第7位。2000年碳密度排名后六位的省份为: 新疆、宁夏、青海、天津、甘肃、和江苏, 各省份碳密度变化范围为 $51.313\sim 72.854\text{ t C hm}^{-2}$; 直至2020年, 上海成为后6位的省级区域, 甘肃上升到第27位。

总的来说, 2000—2020年中国土壤有机碳储量(0~100 cm)增加约 0.697 Pg C (约 $34.850\text{ Tg C a}^{-1}$), 其中耕地土壤碳储量减少约 0.243 Pg C , 森林土壤碳储量增加约 0.434 Pg C , 草地土壤碳储量减少约 0.428 Pg C , 湿地土壤碳储量增加约 0.465 Pg C , 其他土壤碳储量增加 0.469 Pg C (图1)。草地生态系统土壤有机碳储量有较大幅度减少, 耕地生态系统土壤有机碳储量小幅减少, 而林地及湿地生态系统土壤有机碳储量有较大的提高。

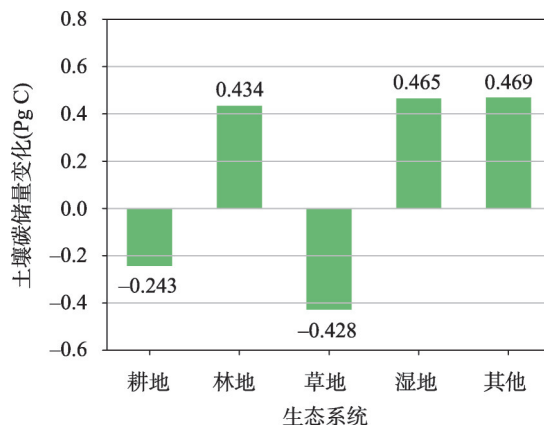


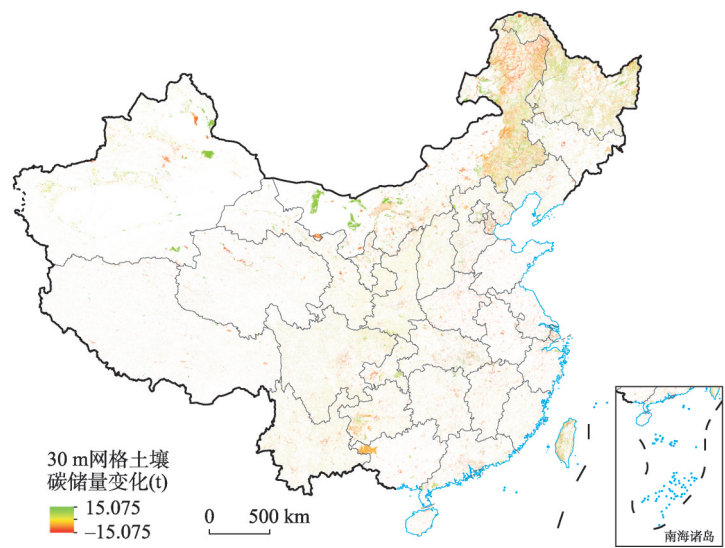
图1 2000—2020年中国陆地不同生态系统土壤碳储量变化

Fig. 1 Changes in soil carbon storage in different ecosystems of China from 2000 to 2020

另外, 本文还统计2000—2020年不同省份土壤碳储量变化。研究结果表明, 中国各省份土壤碳储量在研究时间段内有较大幅度的改变(表2)。其中碳储量增加最多的7个省份为甘肃、云南、黑龙江、四川、内蒙古、青海及新疆, 增加的范围在 $70.754\sim 375.918\text{ Tg C}$ 。主要分布在北部及西部面积较大的省份。碳储量减少最多的6个省份为浙江、河南、河北、山东、江苏及西藏, 减少的范围在 $25.813\sim 452.271\text{ Tg C}$, 主要分布在华东经济发达及西部面积较大的省份。2000—2020年碳密度增加排名前6的省份为新疆、云南、四川、重庆、青海及台湾, 增加范围为 $2.265\sim 3.084\text{ t C hm}^{-2}$, 主要分布在东北部及西部地区。碳密度减少最多的前6个省份为西藏、山东、北京、江苏、天津及上海, 减少范围 $3.762\sim 13.489\text{ t C hm}^{-2}$, 除了西藏外, 都分布在沿海经济发达的地区。

2000—2020年中国土地利用转变导致土壤碳储量减少约 352.422 Tg C (图2)。其中固碳较多的土地转变类型为耕地转变为林地, 总吸收量达到 578.109 Tg C , 草地转变为耕地和林地, 分别吸收 96.572 Tg C 及 313.518 Tg C ; 水域转变为耕地吸收 103.148 Tg C , 未利用地转变为耕地及草地分别吸收 118.427 Tg C 及 1009.433 Tg C 。释放碳较多的土地转变类型分别为耕地转变为草地、水域及建设用地, 分别释放 91.904 Tg C 、 132.574 Tg C 和 778.310 Tg C ; 林地转变为耕地释放 592.830 Tg C , 草地转变为未利用地释放 811.930 Tg C (表3)。

研究结果还发现, 土地利用变化导致各省份土壤碳储量发生较大幅度的变化。其中碳储量增加较多的省份为陕西、西藏、内蒙古、甘肃及新疆, 增加的范围在 $2.179\sim 6.850\text{ Tg C a}^{-1}$, 主要分布在西部及北部面积较大的省份。碳储量减少较多的省份为湖南、安徽、江西、河南、浙江、黑龙江、江苏及山东, 数值范围在 $2.060\sim 5.157\text{ Tg C a}^{-1}$ 。主要分布在中国东部、东北以及中南部地区(图3)。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1579号标准地图制作,底图边界无修改。

图2 2000—2020年中国地块尺度土地利用转变土壤碳储量变化

Fig. 2 Changes in soil carbon storage in China at parcel scale from 2000 to 2020

表3 2000—2020年土地类型转变导致土壤碳储量的变化

Tab. 3 Changes in soil carbon storage due to land use conversion from 2000 to 2020

土地类型转变	土壤碳储量变化(Tg C)	土地类型转变	土壤碳储量变化(Tg C)
农田转变为森林	578.109	草地转变为未利用地	-811.930
农田转变为灌木	5.981	草地转变为建设用地	-60.860
农田转变为草地	-91.904	草地转变为湿地	4.180
农田转变为水域	-132.574	水域转变为农田	103.148
农田转变为未利用地	-9.222	水域转变为森林	9.440
农田转变为建设用地	-778.310	水域转变为灌木	0.014
农田转变为湿地	0.166	水域转变为草地	20.250
森林转变为农田	-592.830	水域转变为湿地	0.074
森林转变为灌木	-24.983	未利用地转变为农田	118.427
森林转变为草地	-20.612	未利用地转变为森林	0.590
森林转变为水域	-4.835	未利用地转变为灌木	0.051
森林转变为未利用地	-0.086	未利用地转变为草地	1009.433
森林转变为建设用地	-54.778	未利用地转变为湿地	0.009
森林转变为湿地	0.001	建设用地转变为农田	7.548
灌木转变为农田	-10.593	建设用地转变为森林	0.104
灌木转变为森林	39.662	建设用地转变为草地	0.116
灌木转变为草地	-13.868	建设用地转变为湿地	0.001
灌木转变为水域	-0.118	湿地转变为农田	-6.174
灌木转变为未利用地	-0.014	湿地转变为森林	-0.218
灌木转变为建设用地	-0.050	湿地转变为灌木	0.000
灌木转变为湿地	0.001	湿地转变为草地	-2.605
草地转变为农田	96.572	湿地转变为水域	-0.960
草地转变为森林	313.518	湿地转变为雪地	0.000
草地转变为灌木	11.597	湿地转变为未利用地	-0.163
草地转变为水域	-53.660	湿地转变为建设用地	-0.067

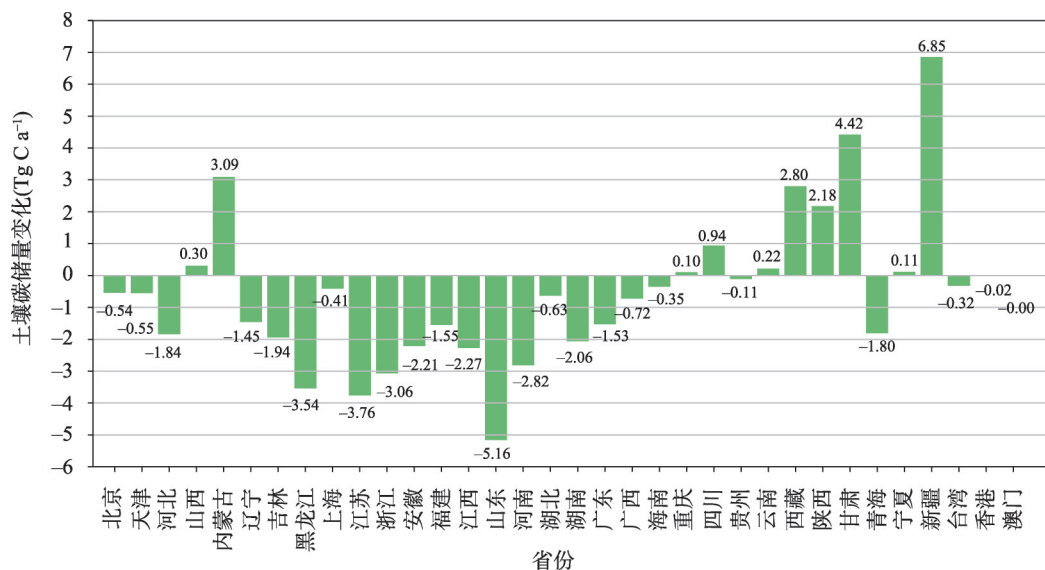


图3 2000—2020年各省区土地类型转变导致土壤碳储量的变化

Fig. 3 Changes in soil carbon storage due to land-use conversion in different provincial-level regions in China from 2000 to 2020

4 讨论

4.1 2000—2020年中国农田及草地管理土壤碳汇

本文基于30 m分辨率土地利用数据,估算2000—2020年中国农田管理土壤碳汇约为17.918 Tg C a⁻¹,比1990—2010增加了17.1%^[12]。本文结果与2000—2020年间已有研究结果接近^[12, 34, 36]。农田生态系统土壤有机碳含量增加主要归因于秸秆还田与有机肥施用、化肥投入增加与合理的养分配比以及少(免)耕技术的推广^[37-39],其中,氮肥、秸秆还田和免耕可封存的碳量分别为5.96 Tg C a⁻¹、9.76 Tg C a⁻¹和0.80 Tg C a⁻¹^[34]。可见,大力实施和推广秸秆还田和有机肥施用等农业管理实践和激励措施,将有助于提高中国农田土壤固碳能力^[40]。另外,2000—2020年间中国草地管理土壤碳汇约为20.171 Tg C a⁻¹,比1990—2010年中国草地管理土壤碳汇(12.4 Tg C a⁻¹)增加了62.66%^[12]。草地管理土壤碳汇最高的地区为内蒙古,这是由于该地区2000—2020年有大量低覆盖草地转化为中覆盖草地和高覆盖草地、且部分未利用地也在转变为草地而产生的结果,而西藏地区草地面积的大幅度减少仍然导致了我国草地碳储量的整体减少^[4]。但我国现存大量的未利用地,为新增草地的产生提供了较大的空间。可见,我国草地具有较大的固碳潜力,在我国西部地区加强对放牧地区和行为的管控,有利于持续增加西部地区草地管理碳汇^[18]。

4.2 2000—2020年中国森林管理碳汇

目前有关森林的研究主要集中在森林碳汇及碳储量的核算^[10, 15, 20-21],在森林管理碳汇方向的研究较少^[33]。本文测算2000—2020年中国森林管理碳汇约为81.622 Tg C a⁻¹。与侯振宏等对2020年的森林管理碳汇的预测结果(72.1 Tg C a⁻¹)差异较小,造成差异的原因是本文采用第七次森林资源清查报告的树干材积密度及生物扩展系数。总体来看,森林管理面积越大的省份森林管理碳汇则越高;但森林面积不是唯一的决定性因素。例如,导致西藏地区森林管理碳汇相对较低的原因在于该地区森林生长率和消耗率之间的差异较小。

4.3 2000—2020年中国土壤有机碳储量

本文估算2000年和2020年中国土壤有机碳储量分别为86.074 Pg C和86.771 Pg C,与Yu等^[22]、李克让等^[41]、解宪丽等^[42]及中国大部分土壤学家所认可的中国土壤有机碳储量约为90 Pg C^[43]的研究结果接近,但也与其他一部分研究的结果有一定差异(Tang等^[9]认为中国土壤碳库为74.98Pg C)。其原因可能是不同研究采用了不同的数据源、不同的算法导致的不同的研究结果^[41-45]。2000年与2020年各省份总土壤有机碳储量及土壤碳密度总排名变化不大。土壤碳密度较高的地区主要分布在中国南部及东北部地区。西部地区的省份因为行政面积较大,因此总体上土壤碳储量总量较多,但西藏地区草地的减少导致了土壤碳储量及土壤碳密度的较大程度的下降^[4]。

4.4 2000—2020年中国土壤有机碳储量变化及土地利用转变土壤碳储量变化

2000—2020年土壤碳密度增加较高的省份主要分布在中国东北地区,这是由于东北地区固碳速率较高导致的^[46]。中国土地利用转变释放的二氧化碳,主要由城市化过程中大量建设用地侵占了农田、林地等高碳储量用地所造成的(建设用地侵占农田排放了38.916 Tg C a⁻¹,侵占森林排放了2.739 Tg C a⁻¹)。但由于植树造林工程^[27]及退耕还林等大型环境保护工程的实施,中国森林生态系统有较大幅度的改善,其中森林生态系统土壤碳储量增加0.434 Pg C。另外,由于大量的人口进城务工,农村劳动力及耕种人口减少^[47],导致中国农田面积有所减少。根据2000—2020年土地利用分类数据统计,中国农用地总面积小幅减少了2633719.50 hm²,农田生态系统土壤碳储量减少了0.243 Pg C。2000—2020年中国草地总面积小幅减少了924922.53 hm²,草地生态系统土壤有机碳储量减少0.428 Pg C,其中西藏地区碳储量出现明显下降^[4]。可见,中国的草地保护面临相对严峻的挑战。未来,中国应建立更多的草地类型的开放空间,用草地修复城市中的裸地;继续减少相关高碳汇省份的天然林的商品性采伐,在宜林荒山荒地等区域进行造林种草;增强区域保持水土、涵养水源,防风固沙的能力,改善区域的生态环境,增加区域的林地和草地碳储量^[48]。且植树造林等大型环境工程所增加的碳汇可在碳排放交易中心进行配额交易^[49]。

5 结论

本文基于2000年、2020年中国30 m分辨率土地利用数据、中国气候区和温度带数据,汇总近几年关于中国碳汇和碳储量的文献资料,以更加精细的空间分辨率估算了中国陆地近20年的土壤碳储量、农田、草地土壤管理碳汇及森林管理碳汇。本文的主要结论如下:

(1) 本文使用中国30 m分辨率土地利用数据进行核算和分析,相对于已有研究使用的粗分辨率数据,能更好地避免空间数据的扭曲和失真^[50],可以更精确地估算中国各省份碳储量及碳储量的变化,也能更好地支持县、镇一级乃至更精细尺度的碳储量的核算和分析。

(2) 2000—2020年中国农田土壤管理碳汇约为17.918 Tg C a⁻¹,草地管理土壤碳汇约为20.171 Tg C a⁻¹,森林管理碳汇约为81.622 Tg C a⁻¹。2000年和2020年中国土壤有机碳储量(0~100 cm)分别为86.074 Pg C和86.771 Pg C。2000—2020年中国土壤有机碳储量(0~100 cm)增加约34.850 Tg C a⁻¹,碳密度增加约0.723 t C hm⁻²,土地利用转变导致土壤碳储量减少约17.621 Tg C a⁻¹。

(3) 目前中国农田、森林、草地仍然具有较大的固碳潜力。但相对来说,草地的保

护形势相对较为严峻。因此,宜在草地丰富的地区继续加强对放牧的管控,在城市地区建立更多的草地类型的开放空间,用草地修复城市中的裸地,以促进中国草地碳汇的增加。对于林地来说,在宜林地区进行造林种草,对现有森林实施有效管理战略和扩大造林,能有效地增加中国土壤有机碳储量。对于农田来说,继续推广秸秆还田、有机肥施用、以及少(免)耕技术可以有效加强农田土壤的固碳能力。

本文对中国及各省区2000—2020年土壤碳储量、碳汇以及土地管理碳汇进行了核算和分析,研究结果有利于帮助管理者从整体上把握中国陆地土壤碳储量和土地管理碳汇的现状和变化趋势,有望为中国“双碳”目标的实现提供方法和数据的支持。

参考文献(References)

- [1] Cui Yaoping, Li Nan, Fu Yiming, et al. Contribution of terrestrial carbon sink to future warming in China, the United States, Russia and Canada. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(1): 167-177. [崔耀平, 李楠, 付一鸣, 等. 中美俄加陆域碳汇对人为增温的消减贡献. *地理学报*, 2021, 76(1): 167-177.]
- [2] Liu Weidong, Tang Zhipeng, Xia Yan, et al. Identifying the key factors influencing Chinese carbon intensity using machine learning, the random forest algorithm, and evolutionary analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2592-2603. [刘卫东, 唐志鹏, 夏炎, 等. 中国碳强度关键影响因子的机器学习识别及其演进. *地理学报*, 2019, 74(12): 2592-2603.]
- [3] Wang Guixin, Li Gang. Effect of "Ecological Province" construction on carbon emission reduction in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2431-2442. [王桂新, 李刚. 生态省建设的碳减排效应研究. *地理学报*, 2020, 75(11): 2431-2442.]
- [4] Yang Yuanhe, Shi Yue, Sun Wenjuan, et al. Terrestrial carbon sinks in China and around the world and their contribution to carbon neutrality. *Scientia Sinica (Vita)*, 2022, 52(4): 534-574. [杨元合, 石岳, 孙文娟, 等. 中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献. *中国科学: 生命科学*, 2022, 52(4): 534-574.]
- [5] Xu L, Yu G R, He N P, et al. Carbon storage in China's terrestrial ecosystems: A synthesis. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 2806. DOI: 10.1038/s41598-018-20764-9.
- [6] Xu Li, Yu Guirui, He Nianpeng. Changes of soil organic carbon storage in Chinese terrestrial ecosystems from the 1980s to the 2010s. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2150-2167. [徐丽, 于贵瑞, 何念鹏. 1980—2010中国陆地生态系统土壤碳储量的变化. *地理学报*, 2018, 73(11): 2150-2167.]
- [7] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159.
- [8] Wang Shaoqiang, Zhou Chenghu, Li Kerang, et al. Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 533-544. [王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. *地理学报*, 2000, 55(5): 533-544.]
- [9] Tang X L, Zhao X A, Bai Y F, et al. Carbon pools in China's terrestrial ecosystems: New estimates based on an intensive field survey. *PNAS*, 2018, 115(16): 4021-4026.
- [10] Lyu Guowei, Zhou Jianchun, Cai Yumei, et al. Carbon accounting for land use, land-use change and forestry in Guangdong province. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(3): 640-657. [吕国玮, 周建春, 蔡玉梅, 等. 广东省土地利用及其变化和林业碳核算研究. *地理学报*, 2023, 78(3): 640-657.]
- [11] Friedlingstein P, O'Sullivan M, Jones M W, et al. Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data*, 2020, 12(4): 3269-3340.
- [12] Lai L, Huang X J, Yang H, et al. Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010. *Science Advances*, 2016, 2(11): e1601063. DOI: 10.1126/sciadv.1601063.
- [13] Jin Lin, Li Yu'e, Gao Qingzhu, et al. Estimate of carbon sequestration under cropland management in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(3): 734-743. [金琳, 李玉娥, 高清竹, 等. 中国农田管理土壤碳汇估算. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 734-743.]
- [14] Yu Y Q, Huang Y, Zhang W. Projected changes in soil organic carbon stocks of China's croplands under different agricultural managements, 2011-2050. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 178: 109-120.
- [15] Cai Weixiang, Xu Li, Li Mingxu, et al. Imbalance of inter-provincial forest carbon sequestration rate (2010-2060) in China and its regulation strategy. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(7): 1808-1820. [蔡伟祥, 徐丽, 李明旭, 等. 2010—2060年中国森林生态系统固碳速率省际不平衡性及调控策略. *地理学报*, 2022, 77(7): 1808-1820.]

- [16] Fang J Y, Yu G R, Liu L L, et al. Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China. *PNAS*, 2018, 115 (16): 4015-4020.
- [17] Walker W S, Gorelik S R, Cook-Patton S C, et al. The global potential for increased storage of carbon on land. *PNAS*, 2022, 119(23): e2111312119. DOI: 10.1073/pnas.2111312119.
- [18] Zhang P, Tang J E, Sun W J, et al. Differential effects of conservational management on SOC accumulation in the grasslands of China. *Plos One*, 2015, 10(9): e0137280. DOI: 10.1371/journal.pone.0145590.
- [19] Song J, Wan S Q, Peng S S, et al. The carbon sequestration potential of China's grasslands. *Ecosphere*, 2018, 9(10): e02452. DOI: 10.1002/ecs2.2452.
- [20] Pan Y D, Birdsey R A, Fang J Y, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, 333 (6045): 988-993.
- [21] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [22] Yu D S, Shi X Z, Wang H J, et al. Regional patterns of soil organic carbon stocks in China. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(3): 680-689.
- [23] Zheng J F, Cheng K, Pan G X, et al. Perspectives on studies on soil carbon stocks and the carbon sequestration potential of China. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(35): 3748-3758.
- [24] Zhu G F, Qiu D D, Zhang Z X, et al. Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region, China. *Ecological Indicators*, 2021, 127: 107770. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107770.
- [25] Feng Y J, Chen S R, Tong X H, et al. Modeling changes in China's 2000-2030 carbon stock caused by land use change. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 252: 119659. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119659.
- [26] Chuai X W, Huang X J, Wang W J, et al. Land use, total carbon emissions change and low carbon land management in coastal Jiangsu, China. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 77-86.
- [27] Lu F, Hu H F, Sun W J, et al. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. *PNAS*, 2018, 115(16): 4039-4044.
- [28] Yu D S, Shi X Z, Sun W X, et al. Estimation of China soil organic carbon storage and density based on 1:1000000 soil database. *The Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2279-2283.
- [29] Kuang W H, Liu J Y, Dong J W, et al. The rapid and massive urban and industrial land expansions in China between 1990 and 2010: A CLUD-based analysis of their trajectories, patterns, and drivers. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 145: 21-33.
- [30] Yang J E, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [31] Zhu Kezhen. Climate classification in China//Anthology of Zhu Kezhen Editorial Team. *Anthology of Zhu Kezhen*. Beijing: Science Press, 1979: 124-132. [竺可桢. 中国气候区域论//《竺可桢文集》编辑小组. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979: 124-132.]
- [32] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006.
- [33] Hou Zhenhong, Zhang Xiaoquan, Xiao Wenfa. Carbon sink estimation and potential of forest management in China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2012, 48(8): 11-15. [侯振宏, 张小全, 肖文发. 中国森林管理活动碳汇及其潜力. 林业科学, 2012, 48(8): 11-15.]
- [34] Lu F, Wang X K, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland. *Global Change Biology*, 2009, 15(2): 281-305.
- [35] Chen J H, Gong Y Z, Wang S Q, et al. To burn or retain crop residues on croplands? An integrated analysis of crop residue management in China. *Science of the Total Environment*, 2019, 662: 141-150.
- [36] Huang Yao, Sun Wenjuan. Trends in organic carbon content of farmland topsoil in mainland China over the past 20 years. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(7): 750-763. [黄耀, 孙文娟. 近20年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势. 科学通报, 2006, 51(7): 750-763.]
- [37] Sun W J, Huang Y, Zhang W, et al. Carbon sequestration and its potential in agricultural soils of China. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(3): GB3001. DOI: 10.1029/2009GB003484.
- [38] Yu Y Q, Huang Y, Zhang W. Modeling soil organic carbon change in croplands of China, 1980-2009. *Global and Planetary Change*, 2012, 82: 115-128.
- [39] Xie Z B, Liu G, Bei Q C, et al. CO₂ mitigation potential in farmland of China by altering current organic matter amendment pattern. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 53: 1351-1357.

- [40] Pan G X, Xu X W, Smith P, et al. An increase in topsoil SOC stock of China's croplands between 1985 and 2006 revealed by soil monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 136(1/2): 133-138.
- [41] Li Kerang, Wang Shaoqiang, Cao Mingkui. Vegetation and soil carbon stocks in China. *Scientia Sinica Terrae*, 2003, 33(1): 72-80. [李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量. *中国科学: 地球科学*, 2003, 33(1): 72-80.]
- [42] Xie Xianli, Sun Bo, Zhou Huizhen, et al. Soil carbon stocks and their influencing factors under native vegetations in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 687-699. [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. *土壤学报*, 2004, 41(5): 687-699.]
- [43] Lai Li. Study on the carbon emission effect of land use in China [D]. Nanjing: Nanjing University, 2010. [赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京: 南京大学, 2010.]
- [44] Fang Jingyun, Yu Guirui, Ren Xiaobo, et al. Carbon sequestration in China's terrestrial ecosystems under climate change: Progress on Ecosystem Carbon Sequestration from the CAS Strategic Priority Research Program. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 30(6): 848-857. [方精云, 于贵瑞, 任小波, 等. 中国陆地生态系统固碳效应: 中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之生态系统固碳任务群研究进展. *中国科学院院刊*, 2015, 30(6): 848-857]
- [45] Liu Jiyuan, Yu Guirui, Wang Shaoqiang, et al. A method of geo-information science for studying carbon cycle and its mechanism of terrestrial ecosystems. *Geographical Research*, 2003, 22(4): 397-405. [刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 等. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探. *地理研究*, 2003, 22(4): 397-405.]
- [46] Yang R M, Huang L M, Zhang X, et al. Mapping the distribution, trends, and drivers of soil organic carbon in China from 1982 to 2019. *Geoderma*, 2023, 429: 116232. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116232.
- [47] Zhang X X, Brandt M, Tong X W, et al. A large but transient carbon sink from urbanization and rural depopulation in China. *Nature Sustainability*, 2022, 5(4): 321-328.
- [48] Piao Shilong, Yue Chao, Ding Jinzhi, et al. Perspectives on the role of terrestrial ecosystems in the carbon neutrality strategy. *Scientia Sinica Terrae*, 2022, 65(6): 1178-1186. [朴世龙, 岳超, 丁金枝, 等. 试论陆地生态系统碳汇在“碳中和”目标中的作用. *中国科学: 地球科学*, 2022, 65(6): 1178-1186.]
- [49] Ba Feng. Analysis on embeddedness mechanism of forestry carbon sequestration trading project: An analytical study in the ethnic minority communities of south Sichuan province [D]. Beijing: China Agricultural University, 2020. [巴枫. 林业碳汇交易项目嵌入性研究: 以四川西部少数民族山区的林业碳汇交易项目为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2020.]
- [50] Li X, Chen G Z, Zhang Y P, et al. The impacts of spatial resolutions on global urban-related change analyses and modeling. *iScience*, 2022, 25(12): 105660. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105660.

Estimation of soil carbon storage change from land use and management at a high spatial resolution in China during 2000-2020

TONG Rongxin^{1,2}, LIANG Xun^{1,2,3}, GUAN Qingfeng^{1,2,3}, SONG Yu¹, CHEN Yuling³,
WANG Qinyi^{2,3}, ZHENG Lina⁴, JIN Qun⁴, YU Yanping⁴, HE Jie⁵,
XIONG Xuehui⁶, LIAO Weilin⁷

(1. National Engineering Research Center for Geographic Information System, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China; 2. Technology Innovation Center for Intelligent Monitoring and Spatial Regulation of Land Carbon Sink, MR of China, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China; 3. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China; 4. Information Center of Department of Natural Resources of Hubei Province, Wuhan 430071, China; 5. Geological Environmental Center of Hubei Province, Wuhan 430034, China; 6. Guangdong Province Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China; 7. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Soil organic carbon (SOC) storage and soil carbon sinks play a crucial role in the global carbon cycle of terrestrial ecosystem. However, many previous studies of soil carbon storage and sinks utilized low-resolution land use dataset, with limited focus on soil carbon sinks from farmland and grassland management. To address this issue, this study employed a series of accounting models to estimate the carbon sink from farmland and grassland management, the carbon sink from forest management, changes in soil carbon storage, changes in carbon storage due to land use conversion from 2000 to 2020, as well as the soil carbon storage in China in 2000 and 2020 using a 30 m-resolution land use dataset. The results showed that the national carbon sink from farmland management in China was approximately 17.918 Tg C a⁻¹ and the carbon sink from grassland management was approximately 20.171 Tg C a⁻¹ during 2000-2020. The carbon sink from forest management in China was approximately 81.622 Tg C a⁻¹ during 2000-2020. The soil carbon storage (0-100 cm) in China increased from 86.074 Pg C in 2000 to 86.771 Pg C in 2020. The soil carbon storage increased by approximately 34.850 Tg C a⁻¹ from 2000 to 2020. The land use transformation during the study period resulted in a decrease of approximately 17.621 Tg C a⁻¹ in soil carbon storage. The findings of this study can help researchers understand China's carbon storage and provide scientific data to China's 2060 Carbon Neutrality Target.

Keywords: soil carbon storage; carbon sinks; high resolution; land use change; carbon sinks from management