

The Study on the Change of Soil Carbon Reserves in Northwestern of Shanxi Province in Nearly 30 Years

Jing Shi, Chunxing Hai, Wenbang Gao, Hongtao Jiang*

College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia
Email: dlkxshijing@163.com, chunxinghai@163.com, 305349946@qq.com, *jianghongtao2003@126.com

Received: Aug. 1st, 2017; accepted: Aug. 22nd, 2017; published: Aug. 28th, 2017

Abstract

Study of the northwestern of Shanxi area to recognize patterns in soil organic carbon reserves and its distribution characteristics of soil organic carbon, soil carbon sequestration potential, the environmental effects of ecological restoration, and regulating regional climate, alleviating global warming has important scientific significance. This article was based on the second soil census data and remote sensing image data in 2013. The article estimated average soil organic carbon density of each soil type using soil type method, and soil carbon reserves changes of woodland, grassland and farmland using the IPCC calculation and land use conversion method. The results showed that the average soil organic carbon density is 8.6 kg/m² in northwestern of Shanxi, soil organic carbon density of different land use types are woodland (11.89 kg/m²) > grassland (8.16 kg/m²) > farmland > (6.09 kg/m²) > other lands (5.50 kg/m²), and the area of woodland, grassland, and farmland is reduced from 98.34% to 94.30% of total area while the soil carbon reserves of them from 2683.18 × 10⁵ t to 2883.27 × 10⁵ t (the IPCC calculation method) or 2883.14 × 10⁵ t (the land use conversion method). It can be seen that the ability of soil carbon sequestration has enhanced by applying the ecological environment restoration project in the northwestern of Shanxi.

Keywords

Northwestern of Shanxi, Soil Organic Carbon Density, Soil Carbon Reserves, the Land Use Type

近30年晋西北地区土壤有机碳蓄积量变化研究

史 静, 海春兴, 高文邦, 姜洪涛*

内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古自治区 呼和浩特
Email: dlkxshijing@163.com, chunxinghai@163.com, 305349946@qq.com, *jianghongtao2003@126.com

*通讯作者。

收稿日期：2017年8月1日；录用日期：2017年8月22日；发布日期：2017年8月28日

摘要

研究晋西北地区的土壤有机碳对认识农牧交错带的土壤有机碳储量及其分布特征、土壤碳固存潜力、生态恢复的环境效应、调节区域气候，缓解全球变暖具有重要的科学意义。本文基于全国第二次土壤普查数据、2013年遥感影像数据，采用土壤类型法估算晋西北各土壤类型的平均土壤有机碳密度；并结合IPCC计算方法和土地利用转化法对比不同类型土壤有机碳蓄积量的变化。研究发现：1) 晋西北地区土壤平均有机碳密度为 8.6 kg/m^2 ；2) 不同土地利用类型土壤有机碳密度为：林地(11.89 kg/m^2) > 草地(8.16 kg/m^2) > 耕地(6.09 kg/m^2) > 其他用地(5.50 kg/m^2)；3) 林地、草地和耕地面积占总面积的比重由98.34%减少到了94.30%，但三种地类的土壤碳储量由 $2683.18 \cdot 10^5 \text{ t}$ ，增加到了2013年的 $2883.27 \cdot 10^5 \text{ t}$ (IPCC算法)和 $2883.14 \cdot 10^5 \text{ t}$ (土地利用转化法)。由此可知，晋西北地区生态恢复工程的实施增强了土壤的固碳能力。

关键词

晋西北地区，土壤有机碳密度，土壤有机碳蓄积量，土地利用方式

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

碳循环研究是解决全球气候变暖问题的关键，陆地生态系统是全球碳循环的重要组成部分，土壤碳库是陆地生态系统最大的碳库[1]；且土壤碳库及其变动是影响大气 CO_2 浓度的关键生态过程[2]，1 m厚的土壤碳在陆地中存储时间最长，且对土地利用和环境变化最为敏感[3]，同时，土地利用变化是影响土壤碳库变动的重要因素，也是导致全球气候变化和碳循环不平衡的重要原因之一[4]。

农牧交错带是我国北方农业区和畜牧业区交汇、过渡地带，是干旱区向半干旱区的过渡地带，其生态系统极其脆弱。同时，多变性的生态环境导致土地利用类型也具有多样性，不同的土地利用类型及管理方式影响着植被的多样性及其生产力，从而影响到土壤的固碳能力，进而导致陆地生态系统碳收支受到影响。对农牧交错带土壤有机碳变化进行研究，能够更准确地评估土壤有机碳变化特征和区域生态系统碳收支状况，更科学地认识农牧交错区碳循环特征，对制定区域可持续发展战略、应对气候变化对策提供理论依据。

山西省西北地区不仅是农牧交错带的重要组成部分，也是黄土高原东北部边缘地区，是山西省规划建设生态经济畜牧区的重要区域，长期受自然和人文因素的综合影响，使得该区域内的土地利用方式发生着重大的变化，进而影响着该区域的土壤有机碳蓄积量。因而，本文对山西省西北地区土地利用与土壤有机碳进行研究，进而了解其动态变化状况及其产生的生态效益，从而服务于区域生态恢复与重建，进一步认识农牧交错带土壤碳储量及其分布特征、土壤固碳潜力，且对减缓气候变暖、调节区域小气候等具有重要的科学意义。

2. 研究区概况

晋西北地区地处东经 $110^\circ 33' \sim 114^\circ 32'$ ，北纬 $38^\circ 6' \sim 40^\circ 44'$ ，包括大同市、朔州市、忻州市3个地级市的23个县(市、区)(如图1所示)，面积约 $37,550.38 \text{ km}^2$ ，占山西省总面积的23.97%。区域内广泛覆盖黄

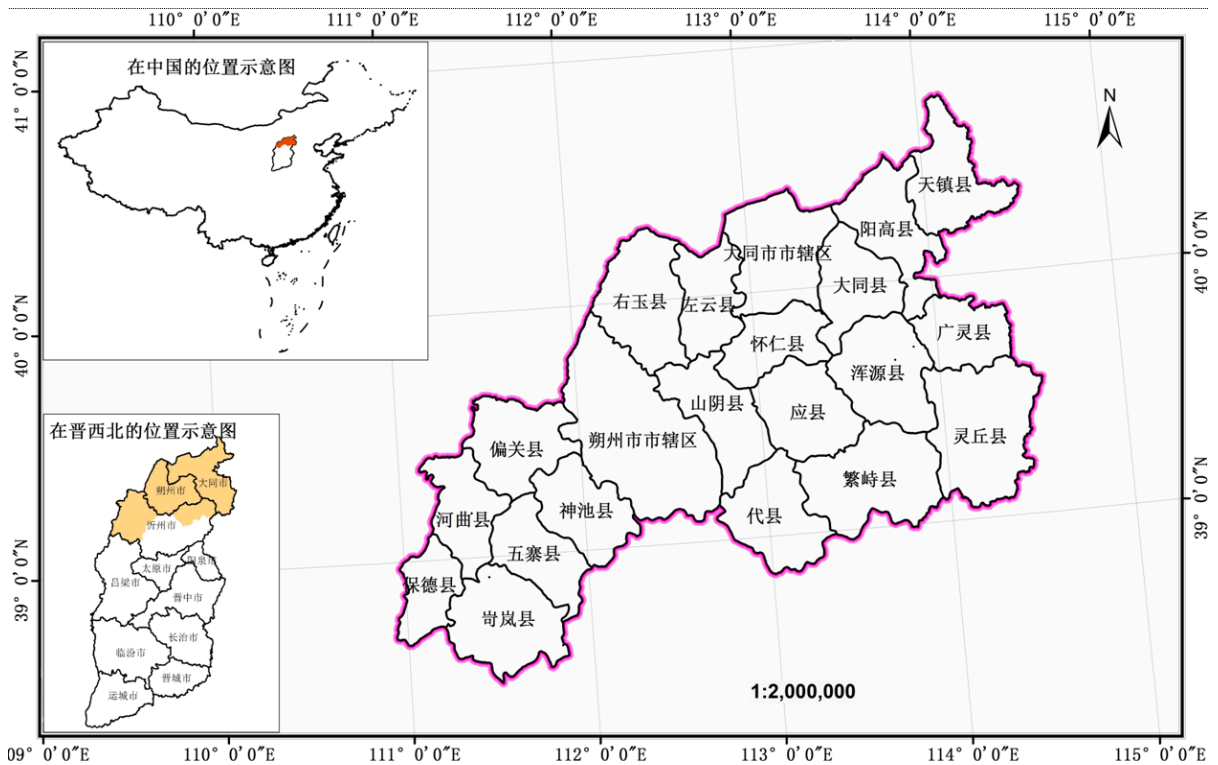


Figure 1. The study area is located in northwestern of Shanxi province

图 1. 晋西北地区行政区划图

土，盆地和山地相间分布，自东南向西北依次有五台山北部边缘、忻定盆地北部边缘、恒山部分地区、大同盆地、管涔山北部边缘。该地区为温带大陆性季风气候，年均温在 7℃ 以下，年平均降水量 380~460 mm。植被类型上以温带半湿润森林草原和半干旱草原为主。土壤类型以栗褐土、栗钙土为主；其他区域还分布有盐、潮土、亚高山草甸土、山地草甸土等土壤类型。

3. 数据来源和研究方法

3.1. 数据来源

数据采用由第二次土壤普查(1979~1985 年)编写的《山西土壤》、《山西土种志》、《山西省土壤图集》，并借助中国土壤数据库管理和共享平台。其中包括土壤各个剖面的地理位置、土壤分层容重、土壤有机质含量、土层深度等理化性质等基础数据；图件包括 1:200 万山西省土壤类型图(见图 2)和山西省土地利用现状图。

2013 年土地利用数据来源于 Landsat-8OLI 影像数据，并通过人机交互式解译获取相应的土地利用类型数据，并将土地利用类型归并为林地、草地、耕地和其他用地 4 大类。

3.2. 研究方法

3.2.1. 土壤类型法

土壤类型法[5]是指在土壤发生学分类的基础上，以土壤剖面的分层厚度为权重，求出各个土壤类型以深度为权重的平均有机质含量(>1 m 的土层深度以 1 m 统计)，以面积为权重，计算得到晋西北地区内的土壤平均有机质含量、土壤平均容重、土层平均深度；通过 *Bemmelen* 转换系数[6]得出晋西北地区内的平均土壤有机碳密度。本文通过使用土壤类型法，分析并估算晋西北地区内土壤有机碳密度及其蓄积量。

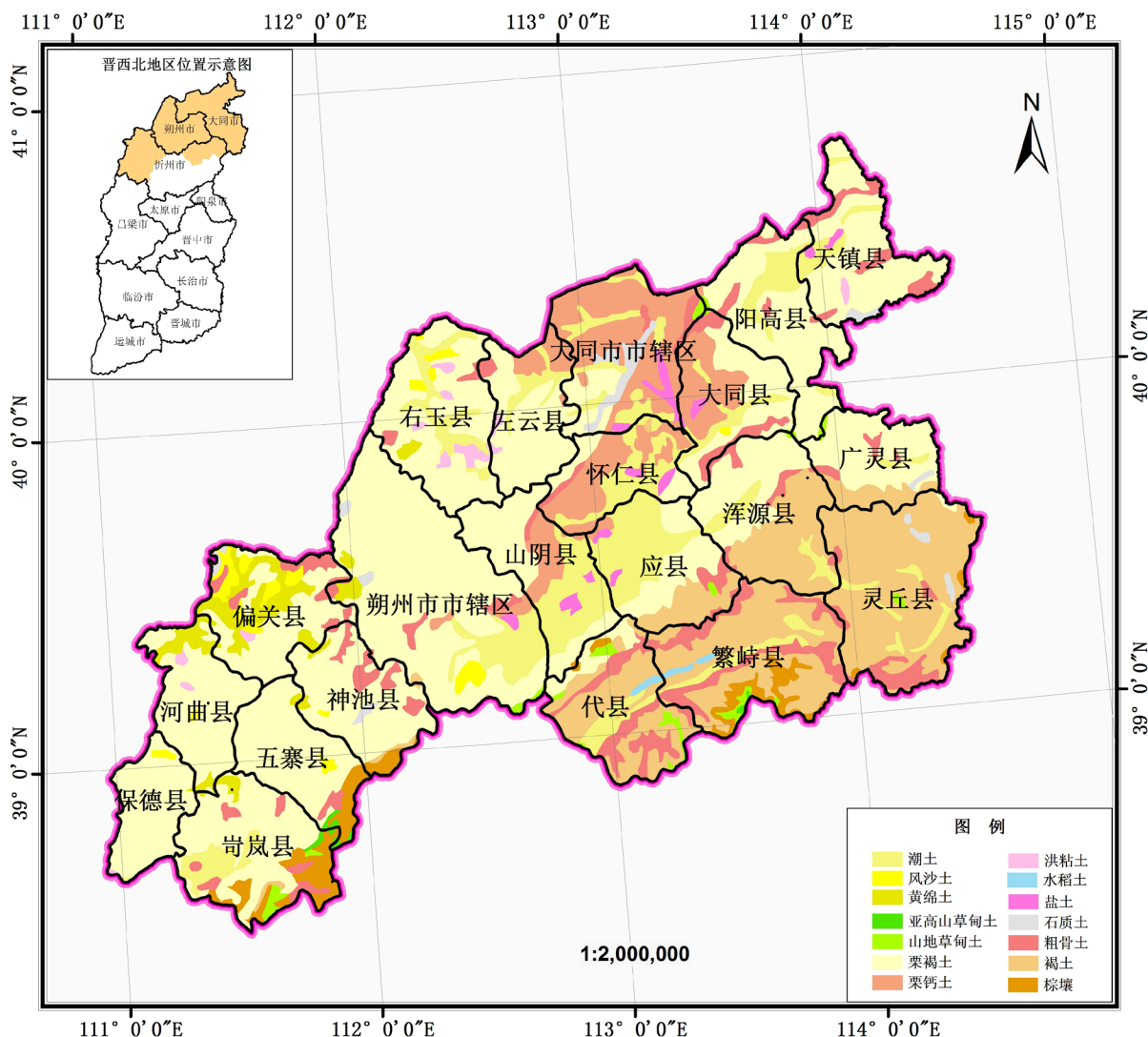


Figure 2. The map of soil type
图 2. 晋西北地区土壤类型分布图

其中土壤类型的有机碳蓄积量可以通过以下公式计算：

$$C_i = 0.58 \cdot S_i \cdot \sum (P_i \cdot H_i \cdot W_i) \tag{1}$$

式中： i 为土壤类型； C_i 是第 i 类土壤的有机碳蓄积量(t)； S_i 是第 i 类土壤的面积(km^2)； P_i 是第 i 类土壤的平均有机质含量(%)； W_i 是第 i 类土壤的平均容重(g/cm^3)； H_i 是第 i 类土壤典型剖面的平均深度(cm)；0.58 是有机碳含量由有机质含量的 *Bemmelen* 转换系数[10]。

3.2.2. IPCC 计算方法

依据 IPCC 中温室气体清单计算方法，某一土地利用类型下的所有土壤类型在 20 年期间表层 30 cm 土壤碳净变化如下：

$$NC_j = \sum_{all-soil} NC_{ij} = C_j \times IF_j \times S_{jt} \tag{2}$$

式中： NC_j 是第 j 种土地利用类型的净碳变化量； NC_{ij} 是第 j 种土地利用类型下第 i 种土壤类型的净碳变

Table 1. The rate of soil carbon after the land use change
表 1. 土地利用变化后土壤碳变化率[7]

	林地	耕地	草地
林地	0.00	$-27.0 \pm 4.6\%$	$-2.4 \pm 21.2\%$
耕地	恢复到林地的 90%	0.00	恢复到草地的 100%
草地	恢复到林地的 90%	-0.20	0.00

化量; C_j 是第 j 种土地利用类型的土壤有机碳密度; IF_j 是第 j 种土地利用类型转变时的碳库的影响因子(耕地: 0.77, 草地: 0.9, 林地: 1.0) [7]; S_{jt} 是第 j 种土地利用类型在 t 时间内面积变化量。

3.2.3. 土地利用转换方法

土地利用变化之后土壤有机碳的变化速率会随时间呈现降低的趋势, 其土壤碳蓄积量最终将会达到一种新的平衡状态(见表 1)。有研究表明, 在森林演替和次生演替过程中, 土壤碳蓄积量总体上没有明显的变化[8], 因而本文不考虑林地类型之间、草地与耕地内部不同类型的转变。

4. 结果分析

4.1. 土壤有机碳密度的空间分布特征

4.1.1. 不同土壤类型的土壤有机碳密度

基于第二次土壤普查数据, 采用土壤类型法估算晋西北上世纪 80 年代的土壤有机碳密度, 得到晋西北地区各土壤类型有机碳密度分布图(见图 3)。

由估算得出研究区内土壤平均碳密度为 8.06 kg/m^2 , 土壤有机碳密度在 $5\sim 10 \text{ kg/m}^2$ 范围内的土壤占大多数, 面积共为 $25,458.44 \text{ km}^2$, 占晋西北地区总面积的 67.80%。从图 3 中可以明显看出土壤有机碳密度 $> 10 \text{ kg/m}^2$ 区域集中分布在研究区域的东南部, 占总面积的 19.85%。其中, 土壤有机碳密度较高的土壤类型有亚高山草甸土、山地草甸土、棕壤、褐土等, 亚高山草甸土集中分布在五台山的中、东、西、北部, 以及管涔山的荷叶坪、黄草梁海拔在 2700 米以上的山顶平地, 面积约 66.64 km^2 。山地草甸土分布在 1900~2700 m 诸山山顶的平台和缓坡处, 上接亚高山草甸土, 下至棕壤或淋溶褐土。棕壤主要分布于五台山、管涔山、恒山等诸山次生林或残存林区, 海拔 1700~2400 m。海拔较高地区降水量较多, 植被生长状况良好, 土壤湿度较大等优良的自然因素使得这些地区分布的土壤类型其有机碳密度较高。

研究区内栗褐土、褐土、潮土等的总面积较大, 栗褐土是该地区地带性土壤之一, 面积为 $18,365.18 \text{ km}^2$, 占总面积的 48.91%, 其亚类中淡栗褐土主要分布于晋西北地区水蚀、风蚀较为严重的广大丘陵地带; 潮栗褐土主要分布于栗褐土区内的川地低洼处和河谷阶地, 包括右玉等县。褐土面积为 5978.35 km^2 , 占总面积的 15.92%, 主要分布在土层深厚、地势低平宽阔、成土母质为黄土状冲积物和黄土等, 海拔多在 400~600 m 之间; 潮土面积为 4397.94 km^2 , 占总面积的 11.71%, 是该地区内重要的耕作土壤, 分布于各大河流沟谷、阶地, 有机质积累不多。

4.1.2. 不同土壤类型的土壤有机碳密度对比分析

由以上分析可知, 晋西北地区土壤平均有机碳密度 8.6 kg/m^2 小于于东升[9]对全国土壤有机碳密度的估算值 9.6 kg/m^2 。与周围其他区域相比(见表 2), 晋西北地区土壤有机碳密度大于陕西省(6.87 kg/m^2)与河南省(7.46 kg/m^2), 小于河北省(10.83 kg/m^2)、甘肃省(17.62 kg/m^2)和内蒙古自治区(17.62 kg/m^2)。其中, 河南省和甘肃省均是采用土壤类型法, 通过土层厚度、容重、土壤有机碳密度等数据, 乘以 *Bemmelen* 换算系数 0.58, 得出土壤类型的平均碳密度。

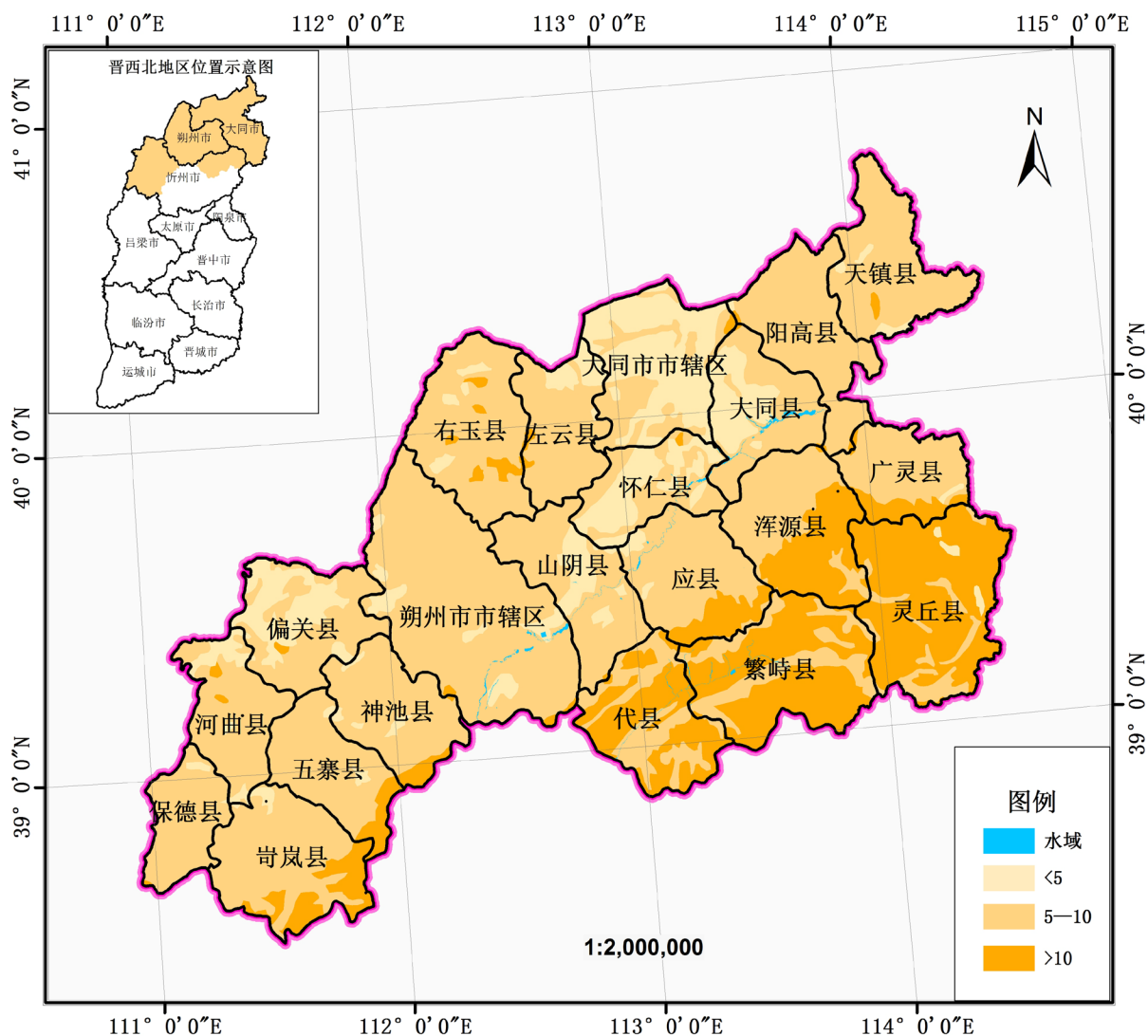


Figure 3. The map of soil organic carbon density
图 3. 晋西北地区土壤有机碳密度分布图

各土壤类型有机碳密度中，大部分土壤类型的有机碳密度与其他区域的研究成果相近，部分土壤类型有机碳密度有所区别，这与不同土壤类型在不同地域气候条件下发育的土层厚度、土壤面积、土壤容重等因素相关。如晋西北地区，栗钙土的土壤平均有机碳密度 3.39 kg/m^2 低于全国以及邻近省份，其主要原因可能是：栗钙土为区域内的地带性土壤之一，是在温带干草原气候条件下发育的土壤，区域内土壤干旱、降水较少，植被多为旱生草本植物，在本研究区内，栗钙土上植被类型主要是耕地，占区域耕地总量的 80.95%，由于其本身矿质化高于腐殖化，且有有机质分解强烈，再加之农业利用占很大比重，消耗大于补给，导致区域内栗钙土平均有机碳密度较小。

因而，今后在发展过程中，要针对不同的土壤类型进行改良利用，如草甸栗钙土水分条件好，是高产农业土壤，要搞好农业基础建设，发展井灌、河灌，但要防治涝渍以及次生盐渍化等；栗钙土性土处于丘陵、低山侵蚀较重地带，要对其进行农林牧全面合理规划，在坡度较大的以造林为主，发育牧草防风、保持水土，沟底和沟边林灌木结合，沟坡和梁地以种植牧草为主等以此增加土壤有机质含量，改善土壤理化性质，增强土壤肥力，进而提高土壤的固碳能力，从而提高晋西北地区土壤总体固碳水平。

4.1.3. 不同土地利用类型条件下土壤有机碳密度

对晋西北地区土地利用类型图和土壤类型分布图叠加分析,并以土地利用类型面积为权重,从而估算不同土地利用下的土壤平均有机碳密度(见表3)。

从表3可以看出:除其他用地外,林地的土壤平均有机碳密度最大为11.89 kg/m²,耕地的最小为6.09 kg/m²。与刘纪远等[7]根据第二次全国土壤普查资料,得出的1990~2000年中国华北地区土地利用方式林地(4.07 kg/m²)、草地(11 kg/m²)、耕地(6.63 kg/m²)的土壤平均有机碳密度的结论是相似的,均为林地 > 草地 > 耕地。其他区域也有相似的结论,如东北地区林地(15.68 kg/m²) > 草地(11.42 kg/m²) > 耕地 9.49 kg/m²;华东地区林地(12.08 kg/m²) > 草地(11.97 kg/m²) > 耕地(9.26 kg/m²)等。由此可知,林地的土壤有机碳密度较高,更有助于土壤固碳能力的增强,可以更有效地保护区域的生态环境,从而进一步体现陆地生态系统的碳汇功能。

Table 2. The contrast of soil organic carbon density in different places

表2. 土壤有机碳密度对比分析表

土壤类型	晋西北地区	全国[9]	河南省[10]	甘肃省[11]	河北省[12]	内蒙古自治区[13]	陕西省[1]
褐土	11.56	8.25	7.24	13.70	9.80	6.62	10.31
栗钙土	3.39	11.06	—	11.37	8.29	8.77	2.42
黄绵土	2.33	3.98	—	4.09	—	—	5.85
洪粘土	12.46	5.30	5.35	5.62	3.37	—	—
风沙土	2.98	1.91	1.38	2.86	2.44	3.08	2.20
石质土	2.36	1.62	—	1.47	14.35	0.22	0.09
粗骨土	8.09	5.15	6.95	0.73	8.97	1.07	2.67
亚高山草甸土	56.51	—	—	25.14	—	11.38	14.81
山地草甸土	30.73	26.91	17.69	21.26	25.24	43.84	21.52
潮土	6.12	6.54	7.77	8.31	5.76	8.69	6.62
盐土	3.86	6.36	5.83	6.84	8.41	4.54	2.36
水稻土	10.15	11.14	11.36	16.94	7.86	—	11.29
棕壤	30.86	12.81	14.64	11.31	23.10	13.14	12.39
栗褐土	5.25	5.61	—	—	9.69	8.06	—
平均	8.06	9.60	7.46	17.62	10.83	10.35	6.87

Table 3. The soil average organic carbon density in or under different ways of land use

表3. 不同土地利用方式下土壤平均有机碳密度

土地利用方式	面积		平均碳密度(kg/m ²)
	数量(km ²)	百分比(%)	
林地	3030.39	8.07	11.89
耕地	21402.07	57.00	6.09
草地	12493.65	33.27	8.16
其他用地	624.28	1.66	5.50
总计	37550.38	100.00	—

4.2. 土地利用变化

将晋西北地区的 80 年代的土地利用类型数据与 2013 年遥感影像解译分析的土地利用类型数据叠加分析(见表 4), 获得土地利用变化转移矩阵从近 30 年土地利用变化数据中可以看出, 草地面积的增加大部分来自于耕地面积的减少, 林地面积的增加来自于耕地和草地两种地类面积的减少, 可见晋西北地区实行的退耕还林还草、植树造林等生态措施对区域内的植被恢复产生了相当大的作用。

4.3. 土壤有机碳蓄积量的变化

按照 IPCC 建议的土壤净碳变化的计算方法, 并结合土地利用类型转移矩阵, 着重分析林地、草地和耕地的净变化对土壤有机碳蓄积量的影响。根据前人的研究可知, 0~30 cm 土壤碳蓄积量约为 0~100 cm 碳蓄积量的 54% [7], 基于 IPCC 计算方法并按照该比例计算得到三种土地利用类型的土壤碳蓄积量, 于此同时, 依据土地利用转化方法计算林地、草地和耕地的土壤碳蓄积量。得到两种方法下近 30 年晋西北地区土壤有机碳蓄积量的变化情况(见表 5 和图 4)。

分析可知研究时段内草地的总面积变化较小, 林地面积总体增加, 耕地面积总体减少, 这三种地类占晋西北地区总面积比重由 98.34% 减少到了 94.30%。可见晋西北地区实行生态环境恢复工程进行的同时, 城市化进程的加快, 使得建设面积大量增加, 这可能是导致该区域这三种地类总面积减少的主要原因。从图 4 的土壤碳蓄积量变化分析可以看出, 虽然不同地类的土壤碳蓄积量增加的幅度不一样, 但由 IPCC 算法和土地利用转化两种估算得出的土壤碳蓄积量变化不大, 与二次土壤普查数据相比, 总的土壤碳蓄积量增加了。可见, 晋西北地区土地利用方式的转变导致土壤有机碳蓄积量发生了变化, 并且林地、草地对增强区域土壤固碳能力起着相当重要的作用, 进而增强区域的碳汇功能, 能够有效地缓减区域碳排放所导致的温室效应。

Table 4. The land use type conversion from the 1980s to 2013

表 4. 20 世纪 80 年代~2013 年土地利用类型转化表(单位: km²)

	草地	耕地	林地	减少	净变化
草地	5884.52	1971.85	4211.89	6183.74	738.38
耕地	5998.58	9876.18	3962.68	9961.26	-7470.83
林地	923.54	518.58	1488.63	1442.12	6732.45
增加	6922.12	2490.43	8174.57		

Table 5. The change of soil carbon stock volume from the 1980s to 2013

表 5. 20 世纪 80 年代~2013 年土壤碳蓄积量变化表

	二次土壤普查			2013 年			
	面积(km ²)	占总面积百分比(%)	碳蓄积量(10 ⁵ t)	面积(km ²)	占总面积百分比(%)	土壤碳蓄积量(10 ⁵ t)	
						IPCC 计算方法	土地利用转化方法
草地	12,493.65	33.27	1019.48	12,914.18	34.39	1109.11	1059.61
耕地	21,402.07	57.00	1303.39	12,758.06	33.98	1136.95	1514.99
林地	3030.39	8.07	360.31	9736.06	25.93	637.21	308.54
总计	36,926.10	98.34	2683.18	35,408.29	94.30	2883.27	2883.14

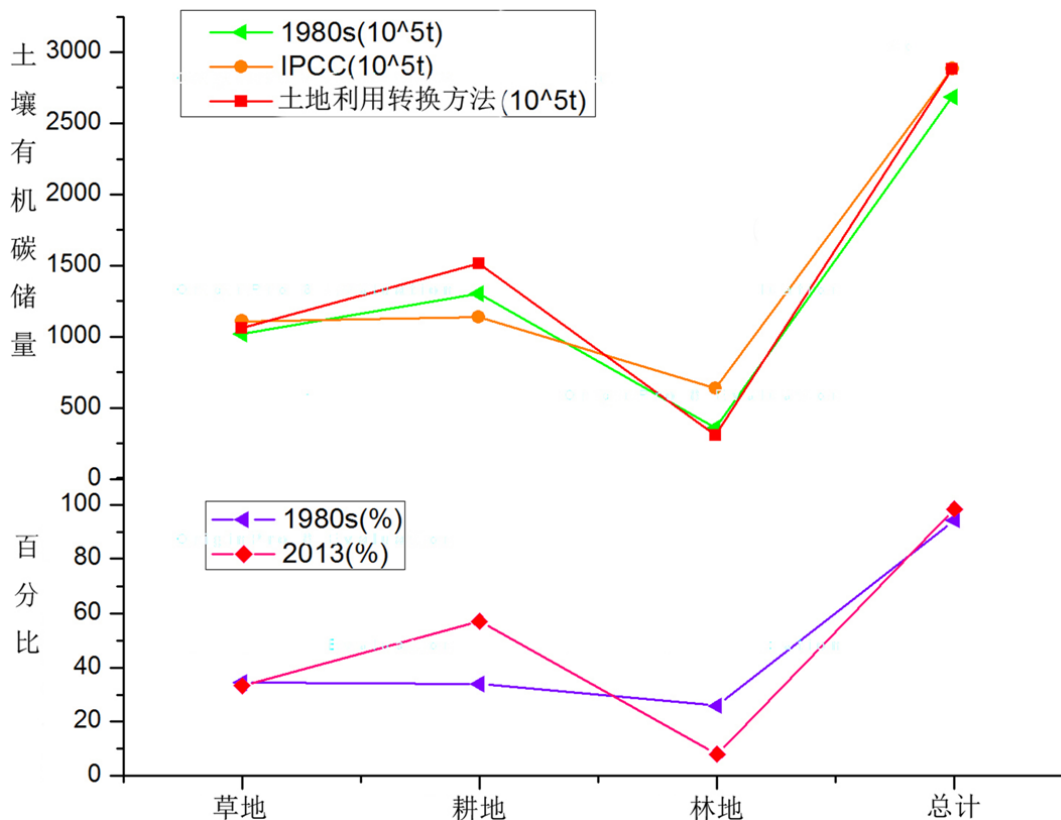


Figure 4. The contrast of soil organic carbon stock volume at different times

图 4. 晋西北地区土壤有机碳蓄积量变化对比图

5. 结论与讨论

5.1. 讨论

土地利用/覆被变化是导致全球气候变化和碳循环不平衡的重要原因之一，通过改变土壤有机物的输入、土壤形成条件、区域小气候，从而影响土壤有机碳的分解速率，使土壤有机碳的储量发生变化。据 Houghton [14]对土地利用影响的研究可得，在过去的百年时间内，历史上的自然生态系统转化为人为生态系统，促使植被释放 100~150 Pg C，土壤向大气释放 80~100 Pg C。20 世纪 80 年代，由于土地利用方式改变，全球平均每年平均释放约 $(1.6 \pm 0.7) \times 10^9$ t 碳素 [15]。在国内外研究中，土壤有机碳研究的差异性较大，土地利用变化对土壤有机碳效应的影响差异也无法较合理地解释，因而，对碳储量的估算，以及不同尺度上土地利用变化对土壤有机碳的研究也尤为重要。

本文借鉴前人的研究成果，采用山西省全国第二次土壤普查数据和 2013 年遥感影像，并借助 GIS 软件和土壤类型法对晋西北地区各类型土壤平均有机碳密度，以及采用 IPCC 算法和土地利用转化方法对不同土地利用类型间土壤碳蓄积量的变化进行了分析。在估算土壤碳蓄积量的方法中，除了方法本身存在的土地利用类型转变造成的碳库的影响因子、转变时造成的碳变化率、以及植被生物量凋落物等不确定性因素之外，还存在本研究在估算 2013 年林地、草地和耕地碳蓄积量时，没有考虑到土壤类型本身对土壤有机碳的影响，且缺乏实地调查数据，可能会导致估算结果存在着一定程度的不确定性。因而，在今后的研究中，将进一步加强晋北地区的土壤有机碳实测资料的调查，并进行长期的观测，以便更好地了解晋北地区土壤碳蓄积量的变化情况，从而为区域发展提供建设性的建议。

5.2. 结论

1) 晋西北地区土壤平均有机碳密度为 8.6 kg/m^2 , 不同土地利用类型土壤有机碳密度分别为: 林地 (11.89 kg/m^2) > 草地 (8.16 kg/m^2) > 耕地 (6.09 kg/m^2) > 其他用地 (5.50 kg/m^2)。

2) 晋西北地区研究时段内, 林地面积总体增加, 耕地面积总体减少, 草地的总面积变化较小, 三种地类面积比重由 98.34% 减少到了 94.30%。三种地类的土壤碳储量由二次土壤普查的 $2683.18 \cdot 10^5 \text{ t}$ 增加到了 2013 年的 $2883.27 \cdot 10^5 \text{ t}$ (IPCC 算法) 和 $2883.14 \cdot 10^5 \text{ t}$ (土地利用转化法)。可见晋西北地区实行生态环境恢复工程增强了区域的固碳能力。

参考文献 (References)

- [1] 刘京, 常庆瑞, 陈涛, 等. 陕西省土壤有机碳密度空间分布及储量估算[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 656-661.
- [2] 耿元波, 董云社, 孟维奇. 陆地碳循环研究进展[J]. 地理科学进展, 2000, 19(4): 297-306.
- [3] Batjes, N.H. (1996) Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World. *European Journal of Soil Science*, **47**, 151-163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x>
- [4] Jean, P.C. and Anver, G. (1994) The Role of the European Union in Global Change Research. *AMBIO*, **23**, 101-103.
- [5] Wang, S., Zhou, C., Li, K., et al. (2000) Analysis on Spatial Distribution Characteristics of the Soil Organic Carbon Reservoir in China. *Acta Geographica Sinica*, **55**, 533-544.
- [6] 甘海华, 吴顺辉, 范秀丹. 广东土壤有机碳储量及空间分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1499-1502.
- [7] 刘纪远, 王绍强, 陈镜明, 等. 1990-2000 年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 483-496.
- [8] Mann, L.K. (1986) Changes in Soil Carbon Storage after Cultivation. *Soil Science*, **142**, 279-288. <https://doi.org/10.1097/00010694-198611000-00006>
- [9] 于东升, 史学正, 孙维侠, 等. 基于 1:100 万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2279-2283.
- [10] 于建军, 杨锋, 吴克宁, 等. 河南省土壤有机碳储量及空间分布[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1058-1063.
- [11] 陈芳, 盖艾鸿, 李纯斌. 甘肃省土壤有机碳储量及空间分布[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(11): 176-181.
- [12] 门明新, 彭正萍, 刘云慧, 等. 基于 SOTER 的河北省土壤有机碳、氮密度的空间分布[J]. 土壤通报, 2005, 3(4): 469-473.
- [13] 傅野思, 夏学齐, 杨忠芳, 等. 内蒙古自治区土壤有机碳库储量及分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 886-895.
- [14] Houghton, R.A. (1995) Changes in the Storage of Terrestrial Carbon since 1850. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E. and Stewart, B.A., Eds., *Soil and Global Change*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 45-65.
- [15] Houghton, R.A. (1995) Land-Use Change and the Carbon Cycle. *Global Change Biology*, **1**, 275-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00026.x>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：gser@hanspub.org