



陈龙,郭海全,尚晓雨,等.新乐市地表基质有机碳储量变化趋势及影响因素[J].黑龙江农业科学,2023(3):34-40.

新乐市地表基质有机碳储量变化趋势及影响因素

陈龙¹,郭海全²,尚晓雨¹,李锋²,张闯¹,刘泽¹,董硕¹

(1.河北省地质矿产勘查开发局 国土资源勘查中心(河北省矿山和地质灾害应急救援中心),河北石家庄 050081; 2.河北省地质矿产勘查开发局 地质勘查技术中心,河北石家庄 050081)

摘要:为探究有机碳储量在地表基质中的变化趋势及影响因素,利用新乐市 2005 年和 2021 年两期数据,按地表基质类型划分方式计算新乐市地表基质有机碳储量,分析新乐市地表基质有机碳储量的变化趋势及决定因素。结果表明,2005—2021 年,新乐市地表基质有机碳总储量呈增长趋势;表层平均有机碳含量和单位基质碳含量均与基质粒径大小呈负相关;表层(0~0.2 m)平均有机碳含量增长率与基质粒径大小呈负相关;深层(2.0 m)平均有机碳含量增长率与基质粒径大小呈正相关。新乐市地表基质有机碳总储量处于增长趋势,其中粗骨土中有机碳储量减少的主要因素是河道采砂造成地表基质破坏,有机碳流失;砂土和壤土中有机碳储量呈增长的主要因素是植树造林和合理的农业活动。

关键词:新乐市;地表基质;有机碳储量;双碳;固碳

控制碳排放是减缓全球气候变暖,促进人类社会健康发展的重要议题,我国也明确提出了“双碳”目标。农业固碳相对于工业减碳可操作性更强,更易实现。有国内外科学家研究认为土壤有机碳含量增加具有实现土壤肥力提高和土壤固碳的双重效果^[1]。据估计,土壤有机碳中贮存的碳含量巨大,全球赋存于土壤有机碳中的碳含量是陆地植被中碳含量的 2~3 倍,是大气中碳含量的 2 倍多^[2-5]。

地表基质是支撑孕育自然资源的基础物质,分为岩石、砾质、土质、泥质四种类型。基于地表基质的有机碳储量时空变化规律研究,对实现“双碳”目标具有重要意义。自然资源部印发的《自然资源调查监测体系构建总体方案》(自然资发〔2020〕15 号)(以下简称总体方案)构建了自然资源分层分类模型,提出了地表基质层的概念,地表基质是地球表层孕育和支撑耕地、森林、草原、湿地、水等各类自然资源的基础物质,海岸线向陆一侧(包括各类海岛)分为岩石、砾石、沙和土壤等^[6]。

地表基质层具有作为多门类自然资源相互作用和密切联系纽带的独特功能^[7],是联接地下和地上资源(物质)的纽带,是地球关键带的重要组成部分^[8]。研究和计算地表基质层中有机碳储量可以更全面地反映陆地表层有机碳储量。

目前,基于地表基质的有机碳储量研究尚属空白。2021 年,为落实自然资源部和河北省自然资源厅相关精神,河北省地矿局结合河北省特殊的地理区位、齐全的地貌类型、多样化的地表基质层类型,开展“河北省自然资源地表基质层示范性调查”工作,新乐市全域作为示范区之一开展地表基质调查^[9]。新乐市地处河北省西南部的太行山山前倾斜平原,地势平坦、西高东低,市区距石家庄正定国际机场 5 km,京广铁路、京广高铁、京港澳高速从市域穿过,为京津冀协同发展背景下的正定县和定州市的连接点^[10],区位优势明显。新乐市是河北西瓜之乡、花生之乡^[11]。新乐市地形地貌和地表基质类型基本反映了河北平原的特征,本研究选取新乐市进行地表基质有机碳储量研究,对于研究河北平原区有机碳储量变化和引导碳达峰碳中和有重要意义。

1 数据样品的采集与分析

本次工作数据来源包括两部分:收集本地区已有的多目标地球化学数据和本次地表基质调查采集样品分析测试数据。

收稿日期:2022-12-06

基金项目:河北省土地整治专项资金项目(13000021GAXM-03ND27P4M)。

第一作者:陈龙(1986—),男,硕士,工程师,从事水文地质、工程地质和自然资源调查。E-mail:chenlong309@126.com。

通信作者:郭海全(1968—),男,硕士,正高级工程师,从事环境地球化学及矿产勘查研究。E-mail:ghq0310@163.com。

1.1 收集数据

本次收集数据 163 个,其中表层数据 130 个,深层数据 33 个,收集数据为“河北省农业地质调查”项目于 2005 年在新乐市采集、分析的多目标地球化学数据。其中表层(0~0.2 m)土质样品采样密度为 1 点·km⁻²,4 km² 组合一个分析样,采样点按网格均匀分布;深层(2.0 m)土质样品采集密度为 1 点·(4 km²)⁻¹,16 km² 组合一个分析样,采样点按网格均匀分布。土壤样品分析由河北地矿中心实验室完成。其中有机碳采用重铬酸钾容量法分析,分析检出限为 0.1%。

1.2 调查样品

2021 年,地表基质调查项目在新乐市采集表层土质样品 42 件,包括钻孔表层土质样品 12 件,洛阳铲表层土质样品 30 件,采样深度为 0~0.2 m;深层土质样品 42 件,包括钻孔深层土质样品 12 件,洛阳铲深层土质样品 30 件,采样深度约为 2.0 m。样品分析由中冶一局环境科技有限公司测试中心完成。样品分析了有机碳等 33 项元素指标,有机碳检测方法、检出限与 2005 年数据相同。

2005 年和 2021 年表层、深层取样点位见图 1 和 2。

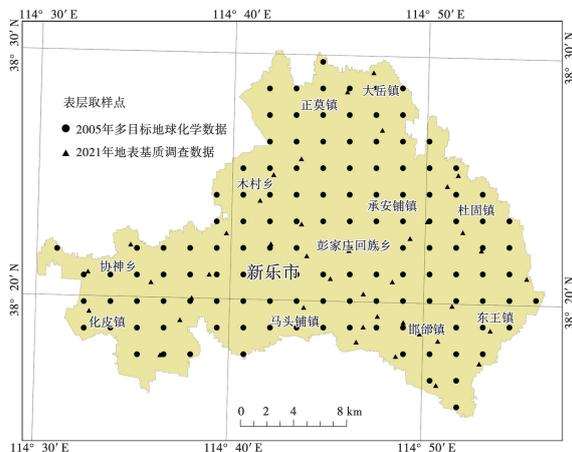


图 1 表层取样点位图

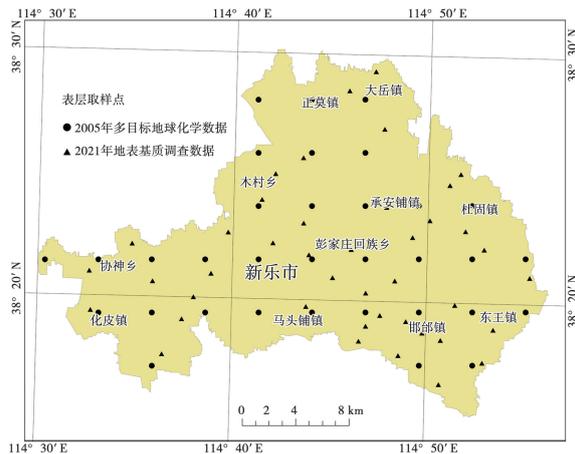


图 2 深层取样点位图

2 新乐市地表基质类型及分布

2.1 地表基质分类

参照自然资源部《地表基质分类方案(试行)》,新乐市地表基质一级类为土质,再细分为壤土、砂土、粗骨土 3 种二级类;壤土以砂壤土和粉壤土为主,砂土以细砂土和中砂土为主,粗骨土主要为砂质粗骨土。本次研究中土质二级类分类依据为粒径分级,按平均粒径大小进行对比可得出, $D_{粗骨土} > D_{砂土} > D_{壤土}$ 。本研究在新乐市地表基质二级类基础上,对地表基质层有机碳储量进行计算。其中,二级类以砂土为主,约占新乐市面积的 64.18%;其次为壤土,约占新乐市面积的 30.06%;粗骨土约占 5.76%(表 1)。

2.2 地表基质分布

新乐市粗骨土主要分布于大沙河、木刀沟河床及新乐市西南部磁河古河道,地貌类型为一级河漫滩地小区,成因类型为冲积。砂土主要分布于大沙河与木刀沟河道两侧、新乐市西北部和中部地区,主要地貌类型为二级河漫滩地小区和古河道高地或微高地小区,成因类型为冲洪积。壤土主要分布在新乐市西南部和东南部,地貌类型主要为缓斜地小区、洼地小区。新乐市地表基质分布受两条河控制,整体呈现距离河道越远基质粒径越小的规律。新乐市二级类地表基质分布见图 3,地貌图见图 4。

表 1 新乐市地表基质分类及面积占比

一级类	二级类	分类依据	面积/km ²	比例/%
土质	粗骨土	粒径≥2 mm 砾含量为 25%~75%	30.21	5.76
	砂土	不同粒级砾体积含量<25%,筛除砾质后粒径 0.05~2.00 mm 砂粒质量含量≥55%	336.49	64.18
	壤土	不同粒级砾含量<25%,筛除砾质后砂粒含量<55%,粒径小于 0.002 mm 的黏粒含量<35%,粒径 0.002~0.050 mm 粉粒占有一定比例	157.58	30.06
汇总			524.28	100.00

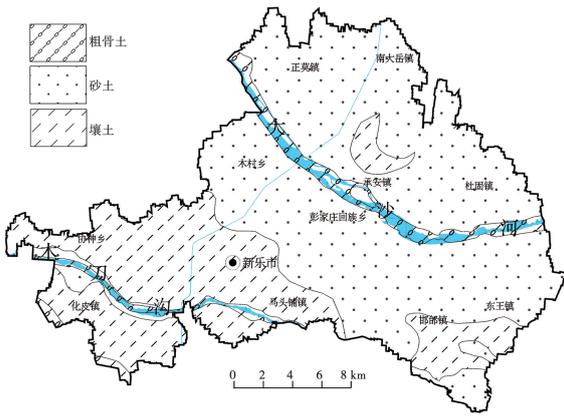


图3 新乐市二级类地表基质分布图

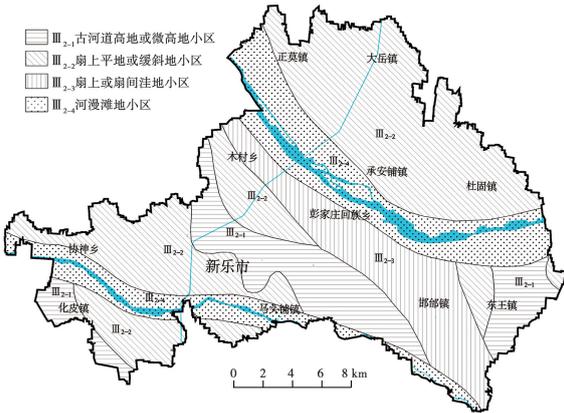


图4 新乐市地貌图

3 地表基质有机碳储量计算方法及实现过程

3.1 有机碳储量计算方法

本研究中地表基质层有机碳储量计算参考文献^[12-13]中提出的土壤有机碳储量计算方法,进行地表基质层有机碳储量计算方法的转换。以4 km²为计算单位(地表基质层表层样品分析单元参考多目标地球化学),按2.0 m地表基质深度来估算新乐市地表基质层有机碳储量。

表层和深层地表基质有机碳含量平均值代表该分析单元内地表基质层平均有机碳含量,称为单位地表基质层平均有机碳含量。单位地表基质层平均有机碳含量与采样深度乘积代表计算单元内一定深度基质层的平均有机碳含量,称为单位基质深度平均有机碳含量。

单位基质深度平均有机碳含量 = (GOC_表 + GOC_深) ÷ 2 × 2.0

式中,GOC_表为表层基质有机碳含量;GOC_深为深层基质有机碳含量;2.0为地表基质层采样深度(m)。

单位基质深度平均有机碳含量(%)与单位基质面积(4 km²)、基质容重(t·m⁻³)的乘积,称为单位基质有机碳含量(t)。

单位基质有机碳含量 = [(GOC_表 + GOC_深) ÷ 2 × 2.0] × 4 × 10⁶ × 基质容重

地表基质层有机碳储量 = ∑单位基质有机碳含量

进一步分析不同基质中GOC_表和GOC_深增长率的关系,计算方法如下:

深浅比 = GOC_深 ÷ GOC_表

式中,GOC_表为表层基质有机碳含量;GOC_深为深层基质有机碳含量。

增长率(%) = (GOC₂₀₂₁ - GOC₂₀₀₅) ÷ GOC_{2005} × 100}

式中,GOC₂₀₀₅为地表基质2005年有机碳含量;GOC₂₀₂₁为地表基质2021年有机碳含量。

3.2 有机碳储量计算实现过程

通过分析新乐市多目标地球化学和地表基质调查采集分析的表层数据和深层数据,将表层、深层组合样品按2 km和4 km网格单元大小进行插值,分别形成表层、深层地表基质有机碳含量分布图。利用ArcGIS 10.8软件Spatial Analyst工具中局部分析的像元统计数据,完成4 km²网格大小的单位基质层平均碳含量计算。样品有机碳分析检出限为0.1%,按0.1%间隔对平均碳含量图层进行重新分类(Reclassify),使结果图层为离散数据类型,便于后继进行叠加提取和计算。

对新乐市有机碳数据进行分析,生成新乐市表层(0~0.2 m)、深层(2.0 m)和0~2.0 m平均有机碳含量分布图。

4 新乐市地表基质有机碳储量变化趋势分析

将新乐市不同的基质类型分布区域与单位基质层平均碳含量图层进行叠加,对新乐市有机碳数据进行分析,按照每个取样点所在的基质类型和深度进行分类,计算不同基质类型中有机碳的储量。

通过对本次地表基质调查工作中样品采集与分析测试,计算出2021年新乐市0~2.0 m地表基质有机碳储量,与2005年“河北省农业地质调查”项目在新乐采集、分析的多目标地球化学数据得出的0~2.0 m地表基质有机碳储量进行对比,分析2005—2021年间新乐市地表基质有机碳储量的变化趋势。

4.1 土壤容重分析

土壤容重数据来源于第二次土壤普查成果《河北土壤》^[14]。根据《新乐县土壤志》(新乐县土壤普查办公室 1984 年 12 月)^[15],综合分析得出粗骨土容重为 $1.45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,砂土容重为 $1.38 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,壤土容重为 $1.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。根据新乐市年度耕地质量监测报告、河北省年度耕地质量监测报告等资料,新乐市土壤容重有减小的趋势,总体无明显变

化,属黄淮海区 3 级(中等)水平^[16-19],因此本研究不再考虑土壤容重的变化量。

4.2 2005 年和 2021 年新乐市地表基质有机碳储量

4.2.1 有机碳含量 由表 2 可知,2005 年和 2021 年地表基质有机碳含量变化规律一致,GOC_表随地表基质粒径的增大而减小,GOC_深在砂土中最高,粗骨土中最低。

表 2 2005 年和 2021 年样品有机碳含量统计分析

基质类型	表层(0~0.2 m)						深层(2.0 m)					
	数量/件		有机碳含量/%		GOC _表 /%		数量/件		有机碳含量/%		GOC _深 /%	
	2005	2021	2005	2021	2005	2021	2005	2021	2005	2021	2005	2021
粗骨土	8	1	0.260~0.680	0.120	0.44	0.12	2	1	0.039~0.120	0.154	0.08	0.15
砂土	85	28	0.091~1.220	0.143~1.825	0.77	0.77	19	28	0.078~0.320	0.063~1.975	0.14	0.25
壤土	37	13	0.610~1.290	0.373~1.846	0.99	1.03	12	13	0.067~0.210	0.090~0.302	0.12	0.18
汇总	130	42					33	42				

注:GOC_表为表层样品有机碳含量平均值;GOC_深为深层样品有机碳含量平均值。下同。

4.2.2 有机碳储量 由表 3 可知,2005 年和 2021 年,新乐市地表基质有机碳主要分布在砂土和壤土中,各基质类型中有机碳储量与基质类型的面积比例基本一致。

其中 2005 年,地表基质 0~2.0 m 厚度范围内固定的有机碳储量约 1 366.156 7 万 t,地表基质平均有机碳储量 $2.605 78 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。其中壤土的平均碳储量最高,约 $2.980 98 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$,粗骨土的平均碳储量最低,约 $1.627 63 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

2021 年,地表基质 0~2.0 m 厚度范围内固定的有机碳储量约 1 488.479 9 万 t,地表基质平均有机碳储量 $2.839 09 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。其中壤土的平均碳储量最高,约 $3.265 15 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

2005—2021 年,新乐市有机碳储量增加 122.323 2 万 t,平均碳储量增加 $0.233 32 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$,变化率为 8.95%。其中粗骨土基质中有机碳储量和平均碳储量均有大幅度减少,有机碳储量减少 25.139 4 万 t,平均碳储量减少 $0.832 16 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$,变化率为 -51.13%;砂土基质有机碳储量增加 102.685 4 万 t,平均碳储量增加 $0.305 17 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$,变化率为 12.12%;壤土基质有机碳储量增加 44.777 2 万 t,平均碳储量增加 $0.284 16 \text{ 万 t}\cdot\text{km}^{-2}$,变化率为 9.53%。

2005—2021 年,新乐市地表基质有机碳储量总量以及砂土、壤土基质有机碳储量明显增加,仅有粗骨土基质有机碳储量减少。

表 3 2005—2021 年新乐市地表基质有机碳储量变化

基质类型	2005 年			2021 年			2005—2021 年变化		
	有机碳储量/万 t	平均碳储量/ ($\text{万 t}\cdot\text{km}^{-2}$)	比例/%	有机碳储量/万 t	平均碳储量/ ($\text{万 t}\cdot\text{km}^{-2}$)	比例/%	有机碳储量/万 t	平均碳储量/ ($\text{万 t}\cdot\text{km}^{-2}$)	变化率/%
粗骨土	49.1706	1.62763	3.6	24.0311	0.79547	1.6	-25.1394	-0.83216	-51.13
砂土	847.2410	2.51788	62.0	949.9264	2.82305	63.8	102.6854	0.30517	12.12
壤土	469.7451	2.98099	34.4	514.5223	3.26515	34.6	44.7772	0.28416	9.53
汇总	1366.1567	2.60578	100.0	1488.4799	2.83909	100.0	122.3232	0.23332	8.95

4.3 2005—2021 年地表基质有机碳含量变化率

对比分析 2005—2021 年各基质类型 GOC_表和 GOC_深数据(表 4)得出,2005 年,粗骨土和砂土的深浅比均为 0.18,高于土壤土;2021 年,深浅比与地表基质粒径呈正相关,即深浅比在粗骨土中最大,

壤土最小。2005 年和 2021 年有机碳深浅比在粗骨土中最大,壤土最小,整体表现为与基质粒径呈正相关,即地表基质粒径越大,有机碳受重力等作用随水等载体由上往下运移通道越顺畅,有利于有机碳在深部富集^[20]。

将2021年有机碳含量与2005年对比分析得出,相同基质类型的深浅比增长明显,其中粗骨土

深浅比增长率为594.44%,砂土为77.78%,壤土为41.67%,深浅比增长率与基质粒径呈正相关。

表4 2005—2021年地表基质平均有机碳含量变化率

基质类型	2005年平均有机碳含量/%			2021年平均有机碳含量/%			增长率/%		
	表层 (0~0.2 m)	深层 (2.0 m)	深浅比	表层 (0~0.2 m)	深层 (2.0 m)	深浅比	表层 (0~0.2 m)	深层 (2.0 m)	深浅比
粗骨土	0.44	0.08	0.18	0.12	0.15	1.25	-72.73	92.50	594.44
砂土	0.77	0.14	0.18	0.77	0.25	0.32	0	76.76	77.78
壤土	0.99	0.12	0.12	1.03	0.18	0.17	4.16	54.62	41.67

表层地表基质有机碳2021年较2005年增长率(GOC_表)表现为粗骨土呈负增长(-72.73%),砂土无明显增长(0%),壤土增长率为4.16%,GOC_表增长率与地表基质粒径大小呈负相关(图5);深层地表基质有机碳2021年较2005年增长率(GOC_深)表现为粗骨土(92.50%)>砂土(76.76%)>壤土(54.62%)>0,GOC_深增长率值高并且与地表基质粒径大小呈正相关(图6),说明2021年深层地表基质有机碳含量明显大于2005年。

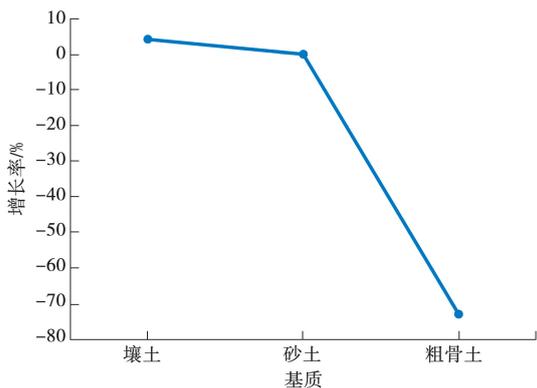


图5 2005—2021年不同基质类型 GOC_表增长率

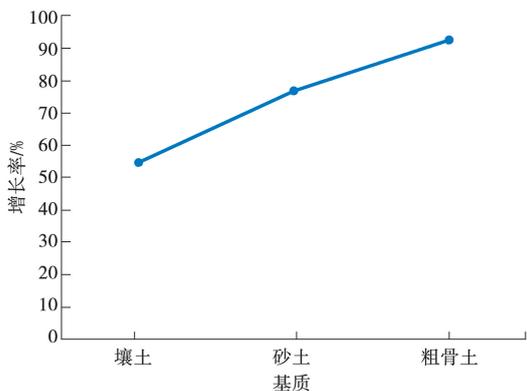


图6 2005—2021年不同基质类型 GOC_深增长率

5 新乐市地表基质有机碳储量变化的影响因素分析

新乐市地表基质类型以砂土和壤土为主,承载的自然资源以耕地和林地为主,地表基质有机碳储量增加的原因主要包括合理的农业活动和植树造林,粗骨土基质内有机碳储量减少的原因主要为采砂活动。

5.1 砂土、壤土有机碳储量增加的影响因素分析

5.1.1 植树造林 林地具有较强的固碳能力。当一地块内土地利用方式由草地、林地改为耕地后,耕作层有机碳含量会明显降低^[21]。近年来,新乐市以大沙河、木刀沟流域的沙荒地为重点,在砂土基质分布区域采取大规模的防风固沙、植树造林工程。新乐市政务公开资料显示,2005—2021年,新乐全市森林覆盖率由17%提高到30%以上。

基于 ArcGIS 10.8 软件 Spatial Analyst 工具中地图代数的栅格计算器,对2021年和2005年两个时期的表层有机碳含量值栅格数据进行减法运算,得到2005—2021年新乐市地表基质表层有机碳含量变化分布图(图7)。

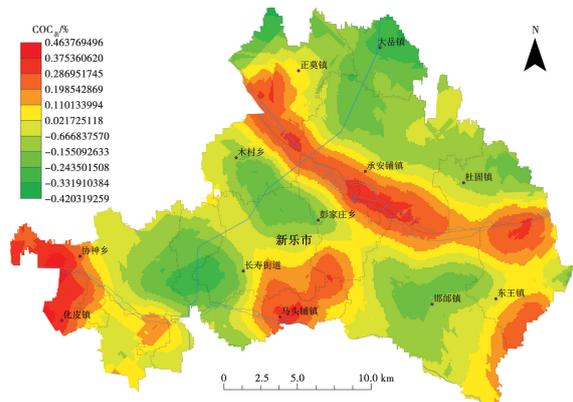


图7 2005—2021年新乐市 GOC_表变化

由图7可以看出,新乐市表层有机碳含量变化情况,大沙河、木刀沟河道附近以及新乐市区东南部有机碳含量增加明显,与河流沙荒地治理和城市绿地建设的植树造林重点区域相符。

根据实地调查,大沙河两侧种植的树木以杨树为主,兼有桃树等果树,林地内多施用有机肥。植树造林和施用有机肥对增加砂土基质内有机碳含量具有明显促进作用。

5.1.2 合理的农业活动 壤土基质内土地利用类型主要为耕地,壤土基质内有机碳储量增加的原因包括实施秸秆还田和免耕措施、合理施用化肥和增施有机肥等合理的农业活动。

根据相关资料,免耕能防止土壤结构体破坏,秸秆还田以及根系分泌物为土壤团聚体提供胶结物质^[22],实施秸秆还田和免耕措施后,能显著提高土壤团聚体的比例^[23],新乐市所在的华北平原农田有机碳储量在实施秸秆还田和免耕措施后呈上升趋势^[24]。

合理施用化肥可通过改善植物生长营养环境和影响土壤微生物两个方面对农田固碳产生影响^[25],起到增加土壤生物量和提高微生物种群、数量、活性等作用,进而提高农田有机碳储量。同时,合理施肥可以抑制土壤呼吸作用,减少因呼吸作用产生的碳排放^[26-27],起到固碳的作用。有长期定位试验研究表明,土壤中有有机碳含量由低到高依次为:不施肥、施化肥、秸秆还田配施化肥、化肥配有机肥,其中化肥配有机肥处理的有机碳增加17.9%^[28]。增施有机肥对增加土壤有机碳含量有明显促进作用^[29-30],有机肥与无机肥配施对有机碳平均含量增幅最大^[31]。孙志朋等^[32]在与新乐地区自然资源以及农业活动类似的河北农业大学教学基地,对潮褐土进行连续18年的研究成果表明,有机碳含量在长期施用有机肥以及有机肥和磷肥配施的情况下会显著增加。

5.2 粗骨土有机碳储量减少的影响因素分析

粗骨土作为粗粒基质有利于有机碳的流失^[33],粗骨土主要位于大沙河和木刀沟河道内,2005—2021年间,河道内采砂活动造成粗骨土基质严重破坏,有机碳含量较高的表层基质已被破坏殆尽,剩余基质中有机碳含量明显降低。

6 结论

本研究首次确定新乐市地表基质分类及分布,并采用单位基质碳含量计算方法估算了新乐市地表基质有机碳储量。新乐市地表基质二级类有粗骨土、砂土和壤土。2021年新乐市地表基质

0~2.0 m范围内有机碳储量约488.4799万t,平均有机碳储量2.83909万t·km⁻²。壤土中平均碳储量最高,约3.26515万t·km⁻²,粗骨土中平均碳储量最低,约0.79547万t·km⁻²。

地表基质表层平均有机碳含量和单位基质碳含量均与基质粒径大小呈负相关。地表基质粒径越大,越有利于有机碳向下迁移和在深部富集。

2005—2021年,新乐市地表基质有机碳总储量处于增长趋势,增长率为8.95%。仅有粗骨土中有机碳储量呈减少趋势,减少的主要因素是河道采砂造成地表基质破坏,有机碳流失;砂土和壤土中有机碳储量呈增长趋势,主要因素是植树造林和合理的农业活动。这一成果为实现双碳目标提供了地表基质固碳的基层范例和理论支撑。

本研究中2021年地表基质调查表层采样数量和密度较2005年小,采样点未按网格均匀分布且未考虑2005—2021年间的土壤容重变化量,可能会造成计算结果与实际有机碳储量略有误差。

参考文献:

- [1] 李随民,梁文楼,宋泽峰,等.河北省南部平原区土壤有机碳储量估算[J].中国地质,2010,37(2):526-529.
- [2] 苏永中,赵哈林.土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展[J].中国沙漠,2001,22(3):220-228.
- [3] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and world life zones [J]. Nature, 1982, 298(8): 156-159.
- [4] SCHLESINGER W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soil [J]. Nature, 1990, 348(15):232-234.
- [5] HOUGHTON R A. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1950[A]. LAL R. Soils and Globe Change[C]. London: CRC Press, 1995: 45-65.
- [6] 自然资源部.自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL]. (2020-01-17)[2022-10-11]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.
- [7] 葛良胜,杨贵才.自然资源调查监测工作新领域:地表基质调查[J].中国国土资源经济,2020,9(4):4-11.
- [8] 安培凌,张志强,王立伟.地球关键带的研究进展[J].地球科学进展,2016,31(12):1228-1234.
- [9] 尚晓雨,张闯,安娜,等.河北省自然资源地表基质层示范性调查——地质测量实施方案[R].石家庄:河北省地矿局国土资源勘查中心,2021.
- [10] 孟祥林.石家庄“第三极”背景下新乐市城市团及周边关系研究[J].石家庄学院学报,2021,23(6):5-15.
- [11] 新乐市人民政府.新乐概览[EB/OL]. [2022-10-11]. <http://www.xinle.gov.cn/col/1584435139301/index.html>.
- [12] 奚小环,张建新,廖启林,等.多目标区域地球化学调查与土壤碳储量问题——以江苏、湖南、四川、吉林、内蒙古为例[J].第四纪研究,2008,28(1):58-67.
- [13] 张秀芝,赵相雷,李宏亮,等.河北平原土壤有机碳储量及

- 固碳机制研究[J]. 地学前缘, 2011, 18(6): 41-55.
- [14] 李承绪. 河北土壤[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1990: 321-323.
- [15] 新乐县土壤普查办公室. 新乐县土壤志[M]. 1984.
- [16] 新乐市农业农村局. 新乐市 2019 年度耕地质量监测报告[R/OL]. [2022-10-11]. <http://info.xinle.gov.cn/content.jsp?code=000761-037/2020-00463>.
- [17] 新乐市农业农村局. 新乐市 2020 年度耕地质量监测报告[R/OL]. [2022-10-11]. <http://info.xinle.gov.cn/content.jsp?code=000761037/2022-00602>.
- [18] 河北省农业农村厅. 河北省 2019 年度耕地质量监测报告[R/OL]. [2022-10-11]. <http://nync.hebei.gov.cn/article/gdbhjc/tzgg/202008/20200800017204.shtml>.
- [19] 河北省农业农村厅. 河北省 2020 年度耕地质量监测报告[R/OL]. [2022-10-11]. <http://nync.hebei.gov.cn/article/xxgk/202109/20210900021177.shtml>.
- [20] 胡琴. 灌溉水量对滨海盐碱地有机碳及水盐运移影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [21] 杨学明, 张晓平, 方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 101-106.
- [22] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉, 等. 土壤团聚体有机碳稳定性同位素组成[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 114-116.
- [23] 陈文超, 朱安宁, 张佳宝, 等. 保护性耕作对潮土团聚体组成及其有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 35-40.
- [24] 邓祥征, 韩健智, 王小彬, 等. 免耕与秸秆还田对中国农田土壤有机碳贮量变化的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(6): 22-28.
- [25] 曹丽花, 刘合满, 杨东升. 农田土壤固碳潜力的影响因素及其调控(综述)[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 16-20.
- [26] BOWDEN R D, DAVIDSON E, SAVAGE K, et al. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 196(1): 43-56.
- [27] JANSSENS I A, DIELEMAN W, LUYSSAERT S, et al. Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition[J]. Nature Geoscience, 2010, 3(5): 315-322.
- [28] PAN G X, ZHOU P, LI Z P, et al. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake Region, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2009, 131(3/4): 274-280.
- [29] 彭华, 纪雄辉, 刘昭兵, 等. 洞庭湖地区长期施肥条件下双季稻田生态系统净碳汇效应及收益评估[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2526-2532.
- [30] 韩冰, 王校科, 逯非, 等. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 612-619.
- [31] 魏猛, 张爱君, 李洪民, 等. 长期不同施肥对潮土有机碳储量的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(1): 233-238.
- [32] 孙志朋, 郭玉冰, 刘建玲, 等. 长期有机肥磷肥配施对潮褐土有机质固存效应的影响[J]. 河北农业大学学报, 2022, 45(2): 67-75.
- [33] LAL R. Carbon management in agricultural soils[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2007, 12(2): 303-322.

Change Trend and Determinants of Organic Carbon Storage in Ground Substrate of Xinle City

CHEN Long¹, GUO Haiquan², SHANG Xiaoyu¹, LI Feng², ZHANG Chuang¹, LIU Ze¹, DONG Shuo¹

(1. Land and Resources Survey Center, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development (Hebei Mine and Geological Disaster Emergency Rescue Center), Shijiazhuang 050081, China; 2. Geological Exploration Technology Center, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: In order to explore the change trend and influencing factors of organic carbon reserves in the ground substrate, ground substrate organic carbon reserves of Xinle City were calculated according to the classification method of ground substrate types using the data of Xinle City in 2005 and 2021, and the change trend and determining factors of Xinle City's ground substrate organic carbon reserves were analyzed. The results showed that, from 2005 to 2021, the total storage of organic carbon in the ground substrate of Xinle City showed an increasing trend; The average organic carbon content and unit substrate carbon content in the surface layer were negatively correlated with the substrate particle size; The growth rate of the average organic carbon content in the surface layer (0-0.2 m) was negatively correlated with the size of the substrate particle size; The growth rate of the average organic carbon content in the deep layer (2.0 m) was positively correlated with the size of the substrate particle size. The total storage of organic carbon in ground substrate in Xinle City was on the increase trend, and the main factor for the decrease of organic carbon storage in coarse soil was the destruction of ground substrate and the loss of organic carbon caused by sand mining in river channels. The main factors for the increase of organic carbon storage in sandy soil and loam were afforestation and reasonable agricultural activities.

Keywords: Xinle City; ground substrate; organic carbon storage; double carbon; carbon sequestration