

孟和,郭月峰,张美丽,等. 小流域梯田土壤有机碳含量及其固碳潜力[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):237-241.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.054

小流域梯田土壤有机碳含量及其固碳潜力

孟和¹,郭月峰¹,张美丽²,祁伟³,秦富仓¹,姚云峰¹

(1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院,内蒙古呼和浩特 010011; 2. 内蒙古职业技术学校,内蒙古呼和浩特 010070;
3. 内蒙古自治区水利水勘测设计院,内蒙古呼和浩特 010020)

摘要:以内蒙古赤峰市敖汉旗黄花甸子流域梯田土壤为研究对象,选取玉米地 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤,运用描述性统计分析、差异性分析以及土地利用方式对比法探究样地土壤有机碳含量状况及其固碳潜力。研究表明:(1)黄花甸子流域梯田土壤有机碳含量从表层到底层逐渐减少,具有表聚现象。梯田 60 cm 深度土壤平均有机碳含量为 6.67 g/kg,转换为有机质是 11.50 g/kg,处于中等水平。(2)梯田土壤退耕还林后,各层土壤固碳潜力由大到小表现为耕层>中层>底层,耕层是梯田土壤中最具固碳潜力的部分。在以后的农作活动中,应该着重保护表层土壤,增加耕层土壤碳累积,充分发挥农田的固碳功能。(3)土壤 60 cm 深度的现实固碳潜力为 $0.024\ 32 \times 10^6$ t。

关键词:梯田;土壤;有机碳含量;表聚现象;固碳潜力

中图分类号: S153.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0237-05

土壤为养分转化过程提供了载体^[1-2]。土壤有机质是陆地生物圈生物地球化学循环过程的主要成分之一,其主要指土壤含碳有机物,可指示土壤健康状况,是土壤的重要组成部分^[3]。有机质中的有机碳能协调土壤水、气关系,改善土壤结构及其通气性,维持和改良土壤肥力以提高土壤生产力。农田土壤有机碳含量是衡量土壤肥力和耕地地力最重要的物质基础,是判断土壤质量和农业可持续发展的重要指标之一^[2]。土壤有机碳(SOC)库可吸存大量 CO₂、CH₄ 等温室气体^[4]。通过增加农田土壤固碳量,可有效减小大气中 CO₂ 浓度,同时也能保障粮食安全^[2]。因此,掌握土壤有机碳含量水平及其固碳潜力,对于明晰当地农田土壤肥力水平并采取科学合理的管理措施进行农业生产具有重要作用。

梯田能有效控制中国丘陵沟壑区内流域坡耕地水土流失的状况并提高耕地地力,其具备良好的通风透光性,利于作物生长和土壤有机物的累积,能够实现农业可持续发展^[5-8]。

流域是地面水和地下水天然汇集的区域,也是目前水土流失治理和开发,用以发挥小流域水土资源经济效益、社会效益的基本单元。流域环境中的土壤湿度较高,有利于有机物质腐解转化为有机质储存于土壤中。研究流域梯田土壤有机碳肥力状况及其固碳潜力对流域治理及农业可持续发展具有重要作用。目前,国内外专家、学者对农田土壤有机碳的研究成果已有很多,梯田土壤质量恢复以及有机碳时空分布、变化是梯田土壤研究的主要方面^[9-15]。但以小流域梯田土壤为研究对象,探讨其有机碳含量及土壤碳固定潜力的研究较少。

本试验主要以种植历史悠久的内蒙古东部梯田为研究对象,通过实地采样法取得土壤有机碳含量及储量数据,运用描述性统计分析、差异性分析以及土地利用方式对比法,对敖汉旗黄花甸子小流域梯田土壤有机碳含量及其固碳潜力进行研究,以期对流域梯田土壤改良、精准管理及碳库研究提供基础数据与理论依据。

1 研究区概况

研究区域地处内蒙古赤峰市敖汉旗西部的黄花甸子流域,其北面与老哈河中游和科尔沁沙地相邻^[16]。其地理坐标在 119°36'~119°53'E,42°17'~42°33'N 之间,流域土地的总面积约为 32 km²。农耕地面积为 12.29 km²,占流域总面积的 38.41%,属于典型梯田区。耕地中旱地约 11.08 km²,水浇地约 1.21 km²,作物平均生长层为 0~40 cm,深 40~60 cm 的土壤是介于生长层与非生长层间的土壤。农田平均耕作深

1994(6):10-16.

- [15] 刘宪锋,任志远,林志慧. 青藏高原生态系统固碳释氧价值动态测评[J]. 地理研究,2013,32(4):663-670.
- [16] 莫丹,管东生,刘淑雯,等. 广州城区生态安全岛森林生物量、叶片滞尘和物种多样性研究[J]. 环境科学学报,2011,31(3):666-672.
- [17] 康晓虹. 我国征收碳税的可行性研究——基于国外已有碳税模式[J]. 经济论坛,2013(7):107-109.

- [18] 冯朝阳,高吉喜,田美荣,等. 京西门头沟区自然植被滞尘能力及效益研究[J]. 环境科学研究,2007,20(5):155-159.
- [19] 霍建林,王晓云,漆建忠. 固沙灌丛及其饲用价值评价[J]. 水土保持通报,1994,14(7):11-14,71.
- [20] Zhang L, Yu X, Jiang M, et al. A consistent ecosystem services valuation method based on total economic value and equivalent value factors: a case study in the Sanjiang Plain, northeast China [J]. Ecological Complexity, 2017, 29: 40-48.

度为20 cm,土地翻耕以机械翻耕为主,每年2次。林地、草地、建筑用地、水域、未利用地面积分别为12.13、1.95、1.33、1.84、2.46 km²,分别占流域总面积的37.91%、6.09%、4.16%、5.75%、7.69%。流域位于低山丘陵区,地势起伏较小,该区属中温带半干旱大陆性季风气候区,四季分明^[16]。年降雨量和蒸发量分别为400~470、2 290~2 400 mm,全年日照数2 940~3 060 h,10℃以上积温为3 189℃^[16]。该流域年

平均风速在4~6 m/s之间,春季风力大且持续时间较长^[16]。作为东北粮食主产区之一的敖汉旗,其土壤类型为栗钙土,气温日差较大,降雨和高温同步,拥有有效积温条件,能够产出高品质且营养丰富的杂粮。因此,敖汉有“绿色杂粮产地”的美誉,其曾被评为国家商品粮基地和内蒙古自治区产粮十强县(旗)之一^[17]。研究区的农作物为1年1熟型,主要种植玉米、谷子等粮食作物(图1)。

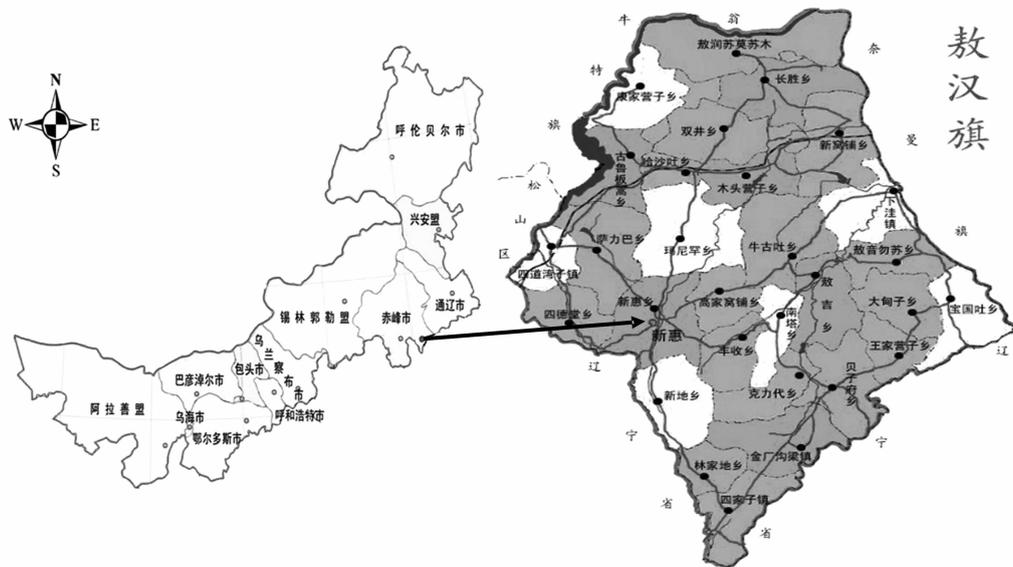


图1 研究区位置

2 研究材料与方法

2.1 取样地设置及梯田调查

研究区玉米种植面积占作物总种植面积的73%,因此,研究区所选样地以种植玉米的旱作梯田为主。根据敖汉旗黄花甸子流域土地利用现状图及该流域梯田分布状况,为消除作物本身生长及他因素对试验数据的影响,笔者选择在2015年10月下旬对该流域梯田60 cm深度土壤进行统一取样,此时玉米已成熟,土壤环境基本稳定。田内耕作方式:春季耕种后,夏季锄杂草2次,秋季作物收获后深耕1次,以疏松土壤、蓄水保墒。梯田面积、田块位置信息由当地农业部门提供,对此笔者进行了实地测量并核实。试验共采集该流域内梯田20块样地和成熟退耕林地5块样地的土壤。

2.2 土壤采集

采样时,为使采样全面、充分反映梯田特征,确定采样点时须观察田块的形状。若梯田是正方形,则采用“梅花形”设点采样;若为长方形,则采用“S”形布点取样。每个样地均选取4个采样点,用环刀自下而上分别采集40~60 cm(底层)、20~40 cm(中层)、0~20 cm(耕层)3个土层的土壤样品,每层重复取样3个,并记录环刀湿土质量。同时,观察并记载采样点的土壤剖面特征信息,作为核查、评定、分析土壤性质的资料及参考数据。将采集的土样混合均匀,采用四分法选取足量的土壤各2份,一份装入铝盒,放入105℃烘箱烘干,供土壤容重的测定;另一份装入无菌袋,去除碎石等杂质并风干后,过2 mm筛,取0.5 kg干样品供土壤有机碳含量的测定。共计选取不同层次土壤样品300个。

2.3 土壤分析方法

土壤容重参照LY/T 1215—1999《森林土壤水分——物理性质的测定》,采用环刀法测定。土壤有机碳含量采用《土壤农业化学常规分析方法》(参照中国土壤学会农业化学专业委员会编)中的重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定。按照全国第2次土壤普查结果,土壤有机质含量被分为以下等级:一级>40 g/kg;二级30~40 g/kg;三级20~30 g/kg;四级10~20 g/kg;五级6~10 g/kg;六级<6 g/kg^[17]。依据此标准,本试验分别将一、二级,三、四级,五、六级土壤有机质对应的有机碳视为高等、中等、低等水平。

2.4 土壤固碳潜力的计算

通过计算土壤碳密度、碳储量,进而得到相应田内土壤固碳潜力状况的数据。

2.4.1 土壤有机碳密度 土壤有机碳密度被用于衡量单位面积一定深度土体中的有机碳储量^[13]。其公式如下:

$$SOC_i = d_i \times p_i \times O_i \times (1 - V_i) \times 10^{-2} \quad (1)$$

式中: i 为土壤层; d_i 为各层土壤厚度,cm; p_i 为土壤容重,g/cm³; O_i 为土壤有机碳含量,g/kg; V_i 指第*i*层土壤中直径大于2 mm的砾石所占的体积比,%。由于研究区梯田土壤含砾石量较少,可忽略不计,因此公式中的 V_i 值为0。 SOC_i 为第*i*层土壤碳密度,kg/m²;本试验的整体土层深度为60 cm,每20 cm划分为1层。

2.4.2 土壤有机碳储量 根据黄花甸子流域梯田采样点各层土壤有机碳密度和相应面积,算出该流域梯田土壤有机碳储量。计算公式如下^[18]:

$$POC_i = S_i \times SOC_i \times 10^3 \quad (2)$$

式中: S_i 为各土壤所占的面积, km^2 ; POC_i 为第*i*层土壤有机碳储量,t。

2.4.3 土壤固碳潜力 土壤固碳潜力可指示土壤质量,碳固定潜力大且优质的土壤对外界干扰有良好的自我修复能力。West等把一定气候、温度、土壤母质等环境条件下,土壤现存碳储量与新的稳定状态下土壤碳储量的差值定义为固碳潜力^[19]。优质农田的土壤有机质含量达到稳定状态时,其有机碳含量更接近饱和水平。能够从贫瘠转变为优质的土壤具有一定固碳潜力。此外,有关研究者得出,农田退耕还林后,土壤有机质含量和耕地地力会提高^[17]。基于以上事实,本试验中农田土壤固碳潜力的计算方法为土地利用方式对比差值法。本研究的固碳潜力是在当地气候、土壤等环境条件一定的情况下,梯田转变为林地在未来一段时间内的固碳增加值。其计算公式如下:

$$CSP = CSr - CS. \quad (3)$$

式中: CSP 为农田土壤固碳潜力,t; CSr 为退耕还林地的碳储量,t; CS 为农田土壤现存碳储量,t^[17]。保证碳库增加的理想状态是将所有农田退耕,此时的碳库增加值为理想固碳潜力。但是,人口增加带来的粮食短缺问题只容许把一部分农田退耕,而另一部分则用于满足当地人的粮食需求。部分退耕地带来的碳库增加值即为梯田现实固碳潜力。

2.5 数据处理

本试验数据的基础计算及作图采用 Excel 2007,相关数据的描述性统计分析、方差分析等采用 SAS 9.0 软件进行。

3 结果与分析

3.1 梯田土壤有机碳含量状况

表1 梯田不同土层土壤有机碳含量描述性统计结果

土层 (cm)	样本数	最大值 (g/kg)	最小值 (g/kg)	平均值 (g/kg)	标准差 (g/kg)	变异系数 CV (%)	偏度	峰度
0~20	80	11.17	2.57	7.58a	2.86	46.81	-0.112	0.846
20~40	80	10.84	0.74	6.93a	2.43	37.56	-0.256	0.002
40~60	80	8.27	1.36	5.49b	1.82	33.29	0.333	0.485

注:同列数字后标有不同小写字母表示在0.05水平下差异显著,相同字母则表示差异性不显著。

由图2可得,土壤有机碳含量大多集中分布于4~6 g/kg范围内。通过K-S统计检验,说明研究区样本土壤有机碳含量符合正态分布,数据具有代表性。该小流域梯田土壤深60 cm土层土壤有机碳含量的平均值为6.67 g/kg,根据土壤有机碳含量与有机质含量间的转换系数1.724可将流域梯田土壤有机碳转换为有机质,其均值约为11.50 g/kg。以全国第2次土壤普查各级养分为标准,可知黄花甸子流域梯田土壤有机质含量处于中等水平,土壤肥力适中。

3.2 梯田土壤固碳潜力

流域梯田是该区水土保持的重要保障,当地梯田土壤有机碳的固定不仅可以降低大气CO₂浓度,缓解全球气候变暖、减少雾霾等,还能增加田内土壤有机质含量,使作物生长良好,从而提升其水土保持效应。科学估测出梯田土壤某一时间段内土壤碳的吸存容量,可为未来梯田土壤碳库管理及全球碳循环研究奠定基础。

3.2.1 梯田土壤有机碳储量现状 土壤碳储量是表征土壤固碳潜力状况的重要评价指标。估算黄花甸子流域梯田土壤

有机质是土壤中促进作物生长的重要养分之一,而有机质中的很大一部分是有机碳。由表1可知,研究区梯田深60 cm的土壤有机碳含量为0.74~11.17 g/kg,平均含量为5.49~7.58 g/kg。随着土层深度的增加,土壤有机碳含量逐渐减少。耕层(0~20 cm)平均有机碳含量占深60 cm土层土壤有机碳含量的37.92%,土壤有机碳耕层聚集现象明显。方差分析表明,在0.05水平下,黄花甸子小流域农田耕层与中层的土壤有机碳含量差异性不显著,这2层分别与底层的土壤有机碳含量差异性显著。这是因为耕层具有的外源有机肥较多,且作物根系主要聚集于此,同时较好的通气、热条件而有利于土壤有机物被微生物分解为有机碳。然而,底层土壤长期不翻耕,缺乏与外界物质的交换,有机碳不易积累^[20-21]。

变异系数(CV)反映了不同深度的土层土壤有机碳含量的变异程度。当 $CV < 10\%$ 时,为弱变异;当 $10\% \leq CV < 100\%$ 时,为中等变异;当 $CV \geq 100\%$ 时,为强变异^[22]。据此可知,黄花甸子流域梯田土壤不同土层有机碳含量均为中等变异水平,数据离散程度适中。其中,耕层变异系数最大,底层最小。这是因为耕层受人为活动影响剧烈,有机碳含量波动较大,而该地梯田土壤有效耕作土层平均为0~20 cm,底层土壤基本与外界隔绝,受环境及人为因子影响很小。因此,土壤底层中的有机碳含量相对稳定。耕层和底层土壤有机碳的偏度系数为负,说明此时有机碳含量分布具有左侧较长尾部,较高值相对较多。底层的偏度系数为正,说明底层有机碳含量分布右侧有较长尾部,较低值相对较多。这与梯田各层土壤有机碳含量的平均值大小分布相吻合,进一步表明底层土壤有机碳含量较少,而梯田土壤有机碳含量有耕层聚集现象。

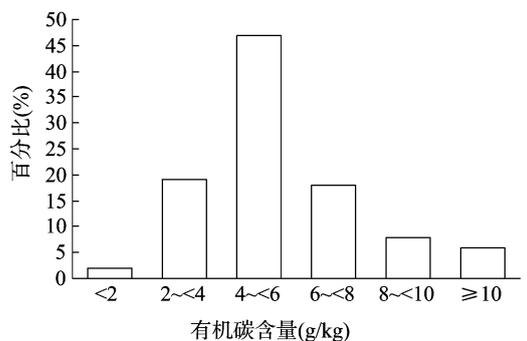


图2 梯田60 cm深度土壤有机碳含量频率分布

碳储量,有利于掌握当地农田土壤质量状况并根据实际情况制定相应的土壤固碳管理措施,进而起到固碳环保的效果。本试验选取黄花甸子流域梯田0~60 cm深度土壤作为研究对象,根据黄花甸子流域土地利用现状图,对照实地调查情况,得到梯田的面积,并对2015年黄花甸子流域梯田土壤进行数据采集后,统计出该流域梯田土壤现存碳储量状况(表2)。

表2 梯田土壤现存有机碳储量

土层 (cm)	剖面数	梯田面积 (km ²)	有机碳密度 (kg/m ²)	有机碳储量 (×10 ⁶ t)	占剖面总碳储量比例 (%)
0~20	80	10.93	1.64	0.017 93	33.2
20~40	80	10.93	1.56	0.017 05	31.6
40~60	80	10.93	1.74	0.019 01	35.2

整个土壤剖面(0~60 cm)总碳储量约为0.053 99 × 10⁶ t。梯田土壤耕层(0~20 cm)是作物的主要生长层,与外界有直接的物质、能量交换,作物残体分解后也会进入该层土壤,是作物代谢所需营养物质的主要来源。因此,耕层有机碳储量将直接影响土壤性质及作物生长。然而,处在土壤圈最表层的耕层易受自然因素和人类活动的影响,有机碳储量具有不稳定性。黄花甸子流域梯田耕层有机碳储量为0.017 93 × 10⁶ t,占60 cm剖面土壤有机碳储量的33.2%。该流域梯田作物主要生长层为深0~40 cm的土层,深20~40 cm的土层作物根系比耕层(0~20 cm)少,其土壤有机碳储量为0.017 05 × 10⁶ t。从深40~60 cm开始向下的土层中,基本没有作物根系生长,但该层土壤有机碳储量为0.019 01 × 10⁶ t,约是整个土壤剖面(0~60 cm)的35.2%。从表层到底层,梯田60 cm深度范围内土壤有机碳储量由大

到小表现为底层>耕层>中层。底层土壤有机碳储量最大,这是因为底层土壤受人为机械耕作的压实作用,土壤较密实,容重大。此外,受降雨淋溶作用,土壤碳易下渗积累到底层。

3.2.2 梯田土壤固碳潜力预测 在陆地生态系统中,农田被认为是碳吸收量大且能有效降低大气CO₂的场所。当环境条件一定时,土壤在一段时间内的碳容纳量是衡量土壤固碳潜力的指标。本试验选择该流域梯田和退耕还林地80个样点土壤作为研究对象,将梯田土壤现存碳量与退耕后达到新的稳定状态时的碳储量作差,得到土壤固碳潜力。分析梯田土壤固碳容量,可为科学合理地管理土地资源提供参考依据。

通过调查采样并进行室内试验,得到黄花甸子流域梯田的耕层、中层、底层土壤退耕为林地后的有机碳密度分别3.37、2.12、2.04 kg/m²;如果该流域梯田退耕还林后,其土壤固碳潜力如表3所示。

表3 梯田土壤固碳潜力

土层 (cm)	现有碳储量 (×10 ⁶ t)	退耕后土壤有机碳密度 (kg/m ²)	稳定状态碳储量 (×10 ⁶ t)	理想固碳潜力 (×10 ⁶ t)	可退耕面积 (km ²)	现实固碳潜力 (×10 ⁶ t)
0~20	0.017 93	3.37	0.036 83	0.018 90	9.39	0.016 24
20~40	0.017 05	2.12	0.023 17	0.006 12	9.39	0.005 26
40~60	0.019 01	2.04	0.022 30	0.003 29	9.39	0.002 82

如表3所示,梯田耕层土壤现存碳量与退耕还林稳定状态的碳储量各占剖面土壤的33.20%、44.75%。说明农田退耕还林后,耕层土壤有机碳积累量有所增加。相对于现有碳储量,梯田土壤退耕还林后碳储量达到稳定状态时,各层土壤的固碳潜力大小表现为耕层>中层>底层。耕层和剖面土壤理想固碳潜力大小分别是0.018 90 × 10⁶、0.028 31 × 10⁶ t,其中土壤耕层固碳潜力占剖面土壤的66.76%,说明梯田土壤的耕层最具固碳潜力。

林地土壤碳容纳量大于农田,农田退耕还林过程具有较大固碳潜力。然而,退耕还林带来的土壤碳库增加是以放弃大量农田为代价的,农田的减少使当地粮食无法满足人们的基本需求,这样的固碳方式显然不可行。本试验研究的固碳潜力是在保证当地人粮食需求的前提下,有多少农田可实现退耕,从而估测部分农田退耕后土壤的现实固碳潜力。敖汉旗黄花甸子流域梯田须满足约1 900人的粮食需求,按照每人日均需粮0.75 kg估算,则粮食的人均年需量为273.75 kg,每年所需粮食共计5.2 × 10⁵ kg。按照平均单产为3 375 kg/hm²计算,则至少须要保留154 hm²耕地。由表3可以看出,耕层土壤现实固碳潜力是0.016 24 × 10⁶ t,土壤剖面的现实固碳潜力为0.024 32 × 10⁶ t,耕层固碳潜力约占60 cm深度土壤的66.78%。可见,耕层土壤在梯田碳固定方面起关键作用,是农田碳储量的重要组成部分。同时,由于耕层因与外界直接接触,其耕作条件能受人为因素控制;因此,保护耕层能够更好地发挥农田固碳能力,起到优化土壤与缓解大气温室效应的双重作用。

4 讨论

梯田具有均匀而平整的特点,能减少地表径流,从而有效缓解坡耕地的水土流失现象,固持土壤有机碳含量,进而提高土壤保肥蓄水能力,保障粮食安全^[8]。丘陵区中土壤结构性差、养分含量低且生产力低的母质土壤经过耕作熟化后逐渐发育为梯田^[23]。在此条件下,土壤有机质含量逐年增加,有机质有利于土壤形成团聚体,土壤结构性会因此提高^[12]。因此,探究提高梯田土壤肥力的方法是有必要的。土壤有机质含量的提高是土壤肥力提升的表现^[24]。本试验得出,梯田土壤有机碳量随土层深度的加深而减少,这与南雅芳等对绿洲农田、梯田土壤有机碳分布研究结论^[20,25]一致。此外,大多数林地土壤有机碳含量随土层深度的变化也表现出相同的变化趋势^[16,26]。黄花甸子流域梯田土壤有机质的均值约为11.50 g/kg,高于我国栗钙土土壤有机质均值10.45 g/kg^[27],其土壤有机质处于中等水平。这与刘思涵对梯田土壤有机质质量的研究结论^[12]一致。

关于梯田固碳潜力,West理论认为,农田土壤中有有机碳含量会受外界环境及人为因子等的影响而处于动态变化中,但当SOC输入量和输出量达到平衡,固碳量饱和时,土壤固碳潜力最大^[19]。韩新辉等对农田退耕还林后12年的土壤有机碳进行测定对比得出,退耕后有机碳含量明显增加,这说明农田有较大固碳潜力^[28]。因此,本试验将梯田退耕还林时的土壤碳库量作为土壤饱和碳储量。退耕后带来的增加的固碳能力即为农田土壤固碳潜力。但本试验是在敖汉旗黄花甸子

流域的气候等因素不变的情况下对固碳潜力进行测算的;然而,实际上随着气候等环境因素的变化,固碳潜力状况就会受到影响。也就是说,农田固碳潜力具有动态变化性,要想更精确地统计出梯田一段时间内的固碳潜力,须要进一步研究。

梯田土壤固碳潜力的提升对于农业增产、固碳减排和环境保护具有重要意义。达到稳定状态的碳储量可采用连续测量法得到其不变状态时的值,其值越大,固碳潜力越大。提高土壤固碳潜力的方法主要有:增施有机粪肥;提倡秸秆还田;粮肥作物轮作、间作,农地用养结合;种植绿肥;增加土壤的耕作层厚度^[27]。农田土壤固碳潜力的增大不仅会使土壤肥力提高,还可以降低空气中的温室气体以优化环境质量^[17,29-30]。关于土壤固碳潜力,虽然现在很多学者已对部分地区进行了研究,但仍缺乏农田方面的研究,而且对于土壤固碳潜力大小的评判没有综合标准,相关研究有待进一步深入。

5 结论

本试验以内蒙古赤峰市敖汉旗黄花甸子流域梯田土壤为研究对象,对其60 cm深度土壤有机碳含量和土壤固碳潜力进行研究,得到该流域梯田土壤质量及其固碳能力:(1)黄花甸子流域梯田土壤有机碳含量随土层深度的加深而减少,具有表聚现象。梯田60 cm深度土壤有机碳含量的均值为6.67 g/kg,转为有机质是11.50 g/kg,以全国第2次土壤普查养分分级为标准,其有机质含量处于中等水平。(2)梯田土壤退耕还林后,各层土壤固碳潜力由大到小均表现为耕层>中层>底层。耕层理想和现实固碳潜力分别为:0.018 90 × 10⁶、0.016 24 × 10⁶ t。土壤耕层固碳潜力占剖面土壤的固碳潜力较大,在梯田土壤中耕层最具固碳潜力。在农作活动中,应该着重保护耕层土壤,增加其碳累积量,充分发挥农田的固碳功能。(3)土壤60 cm深度的理想固碳潜力约是0.028 31 × 10⁶ t,在满足当地人口粮食需求量的情况下,可退耕的农田面积约为9.39 km²,因此现实固碳潜力为0.024 32 × 10⁶ t。

参考文献:

- [1]于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环与碳蓄积[M]. 北京:气象出版社,2003:72-73.
- [2]贾章才,黄耀. 基于模型的农田土壤固碳潜力估算[J]. 中国科学(生命科学),2010,40(7):658-676.
- [3]Percival H J, Parfitt R L, Scott N A. Factors controlling soil carbon level in New Zealand grassland is clay content important? [J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(5):1623-1630.
- [4]邱牡丹,盛浩,颜雄,等. 湘东丘陵4种林地深层土壤颗粒有机碳及其组分的分配特征[J]. 农业现代化研究,2014,35(4):493-499.
- [5]唐克丽,史德明,史学正. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004:6-19.
- [6]黄少燕,查轩. 坡耕地侵蚀过程与土壤理化特性演变[J]. 山地学报,2002,20(3):290-295.
- [7]水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全(北方农牧交错区卷)[M]. 北京:科学出版社,2010:194-201.
- [8]赵艺学. 晋西沟坝地-梯田-坡耕地农业效应的比较[J]. 水土保持学报,2000,14(2):75-78.
- [9]薛蕙,刘国彬,张超,等. 黄土高原丘陵区坡改梯后的土壤质量效应[J]. 农业工程学报,2011(4):310-316.
- [10]张超,刘国彬,薛蕙,等. 黄土丘陵区坡改梯田土壤碳库组分演变特征[J]. 水土保持研究,2010,17(1):20-30.
- [11]张玉斌,曹宁,余雕,等. 黄土高原残塬沟壑区梯田土壤重金属分布特征[J]. 中国农学通报,2009(12):252-256.
- [12]刘思涵. 黄土丘陵区梯田土壤质量演变及培肥效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015:124-137.
- [13]李凤博,蓝月相,徐春春,等. 梯田土壤有机碳密度分布及影响因素[J]. 水土保持学报,2012,26(1):179-183.
- [14]许信旺. 农田土壤有机碳变化研究[M]. 芜湖:安徽师范大学出版社,2011:13-14.
- [15]邱宇洁,许明祥,师晨迪,等. 陇东黄土丘陵区坡改梯田土壤有机碳累积动态[J]. 植物营养与肥科学报,2014(1):87-98.
- [16]郭月峰,姚云峰,秦富仓,等. 敖汉旗小流域不同植被类型区土壤养分状况分析[J]. 浙江农业学报,2013,25(5):1062-1067.
- [17]张美丽. 赤峰市敖汉旗农田土壤有机碳库变化特征及其固碳潜力研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2017:2-49.
- [18]程先富,史学正,于东升,等. 兴宁县森林土壤有机碳库及其与环境因子的关系[J]. 地理研究,2004,23(2):211-217.
- [19]West T O, Gregg M. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions and net-carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2002,91(1/2/3):217-232.
- [20]南雅芳,郭胜利,张彦军,等. 坡向和坡位对小流域梯田土壤有机碳、氮变化的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2012(3):595-601.
- [21]李龙,姚云峰,秦富仓. 内蒙古赤峰梯田土壤有机碳含量分布特征及其影响因素[J]. 生态学杂志,2014(11):2930-2935.
- [22]冯雪,张振华,姚付启,等. 烟台果园土壤水分空间变异规律研究[J]. 土壤通报,2009,40(12):226-230.
- [23]张美丽,姚云峰,李龙,等. 梯田不同作物土壤有机碳含量及其影响因素分析[J]. 中国土壤与肥料,2017(1):9-14.
- [24]黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:72-85.
- [25]王泽,颜安,张文太. 区域绿洲农田土壤有机碳分布及其影响因素研究[J]. 农业资源与环境学报,2012,31(4):308-312.
- [26]许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥科学报,2004,10(1):14-16.
- [27]朱立志,邱君,魏赛. 我国土壤有机质提升的现状分析与对策建议[J]. 中国人口·资源与环境,2013(23):159-162.
- [28]韩新辉,佟小刚,杨改河,等. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤有机碳库差异分析[J]. 农业工程学报,2012,28(12):223-229.
- [29]马小婷,隋玉柱,朱振林,等. 秸秆还田对农田土壤碳库和温室气体排放的影响研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):14-20.
- [30]王小利,周志刚,郭振,等. 长期施肥下黄壤稻田土壤有机碳和全氮的演变特征[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):195-199.