基于自然植被的延河流域农田生态系统土壤固碳潜力评估

杨尚斌[1,2],温仲明[1,2],张 佳[1,2]

(1.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘 要:以延河流域自然植被土壤有机碳为对照,对该区现有农田生态系统土壤固碳潜力进行评估。结果表明:影响自然植被土壤有机碳密度空间分布的环境因子有年均降雨季节变化、坡度和年均温度季节变化;而影响农田生态系统土壤有机碳密度分布的环境因素则包括年均蒸发量、年均最高温度与坡向;有机碳空间分布规律方面,延河流域南部土壤有机碳密度要明显高于北部,并且呈由北向南逐渐递增的趋势;情景模拟分析表明,延河流域坡度25°以上、15°~25°以及15°以下不同类型的耕地退耕后分别可以实现的固碳效益为90.41×10^4 t、58.52×10^4 t、57.55×10^4 t,而整个延河流域的农田生态系统如果全部实行退耕还林(草),其固碳潜力在206.48×10^4 t左右。可以看出,以土地利用调整为核心的区域固碳策略对环境改善具有重要意义。

关键词:固碳潜力;有机碳密度;土壤碳与环境

中图分类号:S181 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2010)05-0211-07

科学评估我国农田生态系统土壤的固碳潜力,对以土地利用调整为核心的温室气体减排具有重要的指导意义,也为我国碳交易谈判提供重要的数据支持。近年来,我国土壤固碳潜力研究备受关注,并在不同尺度上开展了较多的研究工作,为区域或全国尺度的土壤固碳潜力的合理评估提供了重要依据。但因研究对象、区域等差异,如何定义固碳潜力尚有不同的观点,如潘根兴等[1]认为土壤固碳潜力是区域或国家土被的整体固碳能力;郭然等[2]将退化草地恢复到退化前草地的土壤有机碳水平时所能够固定的土壤有机碳总量定义为退化草地恢复的固碳潜力;韩冰等[3]将农田的土壤固碳现状与饱和水平条件下的碳储量差异定义固碳潜力;Singh[4]则通过长期的耕作实验指出了农田土壤在保护性耕作条件下的固碳潜力,明确了农田实行保护性耕作与未实行保护性耕作的差异。这些概念从不同的角度阐述了固碳潜力的内涵,都将一定的自然条件或社会经济技术条件下最大的土壤或植被碳储量,作为固碳潜力的估算依据。社会经济条件下的固碳潜力往往会因人为因素而存在不确定性,而自然条件下的最大碳储量取决于一定的生物气候条件,具有相对的稳定性,作为评估依据更具客观性。

黄土高原是我国水土流失最严重的地区,也是我国生态恢复重建的重点区域。随着我国退耕还林(草)工程的实施,该地区作为重要的碳汇区域而受到越来越多的重视,也受到一些研究学者的关注。部分研究人员试图以土壤普查数据为依据,评估某一地区土地利用变化对土壤碳库的影响[5],也有部分学者利用定点观测数据,对某一生态系统的土壤固碳情况进行评估[6]。这些研究对于理解和评估退耕还林(草)工程的固碳效应具有积极意义,但因固碳潜力评估依据的不确定性,该地区的自然固碳潜力究竟有多大,仍未有满意的解答。因此,本研究以黄土丘陵区为案例,以该区稳定的自然群落的土壤碳为基础,利用广义相加模型(GAM,Generalized Additive Model)及GIS空间分析技术,模拟与预测黄土丘陵区土壤自然固碳潜力空间格局及其控制因素,并以此为参照,通过情景模拟分析,对现有农田生态系统土壤固碳潜力现状作出评估,为理解区域碳格局与气候变化,也为评估退耕还林(草)的固碳效应提供科学依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

研究区为延河流域,位于36°23′~37°17′N,108°45′~110°28′E之间,属黄河中游河口镇-龙门区间

收稿日期:2010-02-23

基金项目:国家自然科学基金项目-黄土丘陵区潜在植被格局及其对未来气候变化的响应(40871246);国家科技支撑课题-植被优化配置与可持续建设技术(2006BAD09B03);中国科学院"西部之光"人才培养计划项目-陕北黄土高原退化生态系统自我修复能力评价研究(2006HX01)

作者简介:杨尚斌(1983—),男,天津人,硕士,主要从事GIS在水土保持中的应用研究。E-mail:rgame@126.com。

通讯作者:温仲明(1969—),男,博士,副研究员,主要从事恢复生态及GIS应用等研究。E-mail:zmwen@ms.iswc.ac.cn。

万方数据

的一级支流，流域全长 286.9 km，总面积 7 687 km²，平均坡度为 4.3‰，河网密度约为 4.7 km/km²，其在黄土高原一带具体位置见图 1。本流域属大陆性气候，年降雨量 500 mm 左右，年平均气温 9℃，从东南向西北，降雨、温度具有明显的梯度变化特征。流域内黄土丘陵沟壑面积占全流域的 90%，其中延长以上为黄土梁峁状丘陵沟谷区，安塞－延长之间沿河一带为河阶地，延长以下为黄土宽梁残塬沟谷区，流域出口处为黄土覆盖石质丘陵沟谷区，地形较复杂。植被类型从南向北分为南部辽东栎、刺槐、油松、阔叶－针叶混交林带，中部延安到安塞之间为柠条、白羊草等草灌过渡带，安塞以北为百里香、长芒草草原带，植物资源丰富。据付坤俊的研究，该区植物物种总数大体为 589 种，分属 81 科。但该流域植被破坏严重、土壤侵蚀强烈。随着该区植被恢复重建工作的开展，评估该区农田生态系统转化为林草植被系统后的固碳潜力，可为评估该区植被恢复重建的固碳效益提供重要依据。

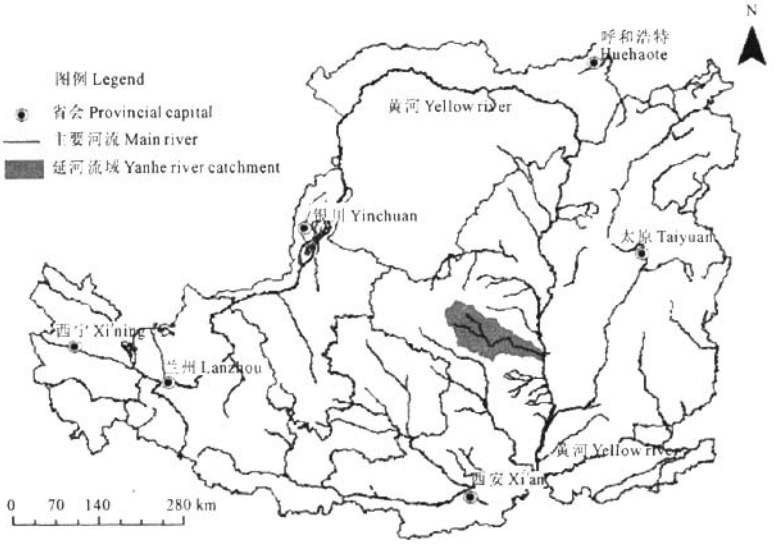

图 1 黄土高原地区延河流域位置示意图

Fig.1 Position of Yanhe river catchment in loess plateau

1.2 土壤取样与测定方法

1.2.1 *土样取样方法* 本文试图以自然植被的土壤碳储量为依据，评估延河流域农田生态系统的土壤固碳潜力。因此，本文对自然植被有严格的定义，主要指该流域所发育的与环境处于相对稳定状态的顶级群落或亚顶级群落。在采样时，为确保采样的代表性，采用环境梯度分层采样技术进行采样，即将延河流域根据温度、降雨梯度，划分为 17 个环境梯度单元，在各个环境梯度单元内，充分考虑地形变化，选择具有代表性的自然植被采集土样。除自然群落外，为评价该流域农田生态系统土壤的固碳潜力现状，同时对各梯度单元内典型样点的农地进行取样。对于各样点，每 20 cm 取样一次，取样深度为 60 cm，以便计算土壤有机碳密度，用于反映不同生态系统类型的土壤碳含量；同时采用环刀法测定相应的土壤容重。本研究共调查自然植被样方 132 个，农田样方 126 个。全部采样工作于 2008 年 7 月至 8 月完成。

1.2.2 *室内测定方法* 土样采回后，将其风干并拣去植物根系。样点土壤经过 1 mm 的筛子，用以测定土壤有机质。测定方法采用重铬酸钾容量法——外加热法。其中，土壤有机碳密度计算公式如下：

$$SOC = \sum_{i}^{n} C_i \times P_i \times D_i \times 10^{-1} \qquad (1)$$

式中，SOC 为指定深度的土壤有机碳密度，为便于数据进行统计分析，单位采用 t/hm²；n 为土层数。C_i 为第 i 层土壤有机碳含量(g/kg)；P_i 为第 i 层土壤的容重(g/cm³)，土壤容重数据按照划分的不同植被类型，由相对应土壤容重平均值得出；D_i 为第 i 层土层的厚度(cm)。

1.3 环境因子的选择与获取

利用模型法预测全流域的土壤固碳潜力及其空间分布，需选择相应的环境要素数据。在对影响土壤固碳潜力分布的主要因子分析的基础上，选择的区域性环境因子有两类，分别为气候因子和地形因子。其中，气候因子主要包括年均最冷月气温

万方数据

(teml)、年均最热月气温(temh)、年均温(temaver)、年均雨季(7 ~ 9 月)降水量(rain789)、年均降水量(rainaver)、年均蒸发量(et)、降水的季节变化(rainsea)、温度的节变化(temsea)8 个指标。地形因子选择坡度(slope)、坡向(aspe)、高程(elev)和地形部位(posi)4 个指标。其中,气候数据是利用延河流域及周边地区 57 个气象站点数据,利用 ANUSPLINE 空间分析工具插值得到;地形因子中的坡度、坡向与高程利用 DEM 提取获得。

1.4　模型方法

由于土壤有机碳含量对环境梯度的响应,加之数据为野外实际调查获取,数据一般不遵循正态分布,不宜采用线性模型来建立土壤有机碳及其与环境的关系模型。因此,本文采用广义相加模型(Generalized Addititive Models,GAM)来分析建模。GAM 是广义线性模型(GLM)的半参数扩展[7],其假设函数是可以相加的,并且函数的组成部分是光滑函数[8],通过函数连接,可以建立响应变量的数学期望值与预测变量的关系。其数学形式为:

$$g_i[E(Y)] = \sum_i [f_i(X_i)] \qquad (2)$$

式中,g_i 是连接函数;$E(Y)$ 是响应变量的数学期望值;f_i 为光滑函数;X_i 为自变量。GAM 是一个非参数模型。一般认为,非参数模型比参数模型预测结果较好[9]。GAM 在解决响应变量与预测因子之间的非线性和非单调关系方面具有非常突出的能力[10],可以针对不同的数据分布(可以包括高斯分布、泊松分布、二项分布)和不同类型的变量(可以同时包含连续变量和因子变量)进行分析,因此,具有极大的灵活性,近年来在生态学研究中得到较为广泛的应用。在建立模型时,为解决预测变量之间的共线性问题,采用逐步回归建模。整个建模过程都是在 S - Plus 统计平台下进行。

1.5　土壤有机碳密度空间格局模拟

在建模过程中,利用统计软件 S - Plus 中的 GRASP(generalized regression analysis and spatial prediction)模块[11],生成查找表(lookup table)。在 ARCVIEW 软件中导入模型所需的预测变量因子图及查找表,通过模型运算,得到延河流域自然生态系统和农田生态系统的土壤有机碳密度分布图。

1.6　延河流域生态恢复重建固碳效益情景模拟分析

结合前述方法中所得到的土壤有机碳密度分布图层,以现有土地利用为基础,利用 ARCGIS 软件进行叠置分析,对现有农田系统在不同的退耕情景下的固碳效益评估。其中现有土地利用图以 2006 年的遥感影像为基础,采用监督分类方法进行解译获取,从中提取出延河流域农地的分布及其面积;将农田面积分布与农田、自然生态系统碳密度分布图进行叠置分析,根据坡度图(从 DEM 提取),按照坡度 >25°,坡度在 15° ~ 25°之间和坡度 < 15°几种情景,进行栅格统计分析,得到现有农田与对应自然生态系统碳储量,经过二者相减,得到不同退耕情景下的固碳效益。

2　结果与分析

2.1　自然植被与农田生态系统有机碳密度分析

很多研究表明,自然植被系统是一个区域中碳储量最大的生态系统[12]。为验证该结论在延河流域是否成立,本文根据实测数据,对研究区自然植被系统与农田生态系统的土壤碳密度进行比较分析(表 1)。

表 1　自然植被与农田生态系统土壤有机碳密度对照

Table 1　SOM density difference between natural ecosystem and farmland ecosystem

项目 Item	最小值 Minimum (t/hm^2)	最大值 Maximum (t/hm^2)	平均值 Average (t/hm^2)
自然生态系统土壤有机碳密度 SOM density in natural ecosystem	11.79	128.00	35.68
农田生态系统土壤有机碳密度 SOM density in farmland ecosystem	10.63	35.82	20.30
自然、农田生态系统土壤有机碳密度差 SOM density difference between natural ecosystem and farmland ecosystem	1.16	92.18	15.38

由表 1 可以看出,自然生态系统土壤有机碳密度要明显高于农田生态系统。其最大值 128 t/hm^2,最小值 11.79 t/hm^2,平均值则为 35.63 t/hm^2,分别高出农田生态系统 257.34%、10.91%、75.76%。T 检验结果表明,两组数据差异显著($P = 0.043 < 0.05$),表明自然植被系统是一个区域中碳储量最大的生态系统的结论在延河流域成立,自然植被系统的土壤碳储量可以作为其他生态系统固碳潜力评估的依据。当然土壤有机碳储量是进入土壤的植物残体量及其在土壤微生物作用下分解损失量之间平衡的结果[13],受气候条件、植被生长、土壤理化特性及耕作制度等多方面因素的影响,土壤有机碳储量也

万方数据

会随环境的空间变化而有较大差异。因此,进一步分析自然植被或农田生态系统土壤有机碳的空间变化,对于合理评价区域固碳潜力具有较大价值。

2.2 自然植被系统土壤有机碳密度与环境的关系

自然植被系统的土壤有机碳取决于特定的环境条件,具有空间异质性。通过模型法,建立区域自然植被土壤碳储量与环境要素的关系模型,并通过GIS空间分析,为整个研究区建立评估参照系,是流域农田生态系统固碳潜力评估的重要基础。本文利用广义相加模型,建立了土壤有机碳密度-环境关系模型,其中土壤有机碳密度采用泊松分布。在建立模型过程中,采用双向逐步回归方式建模,以剔除环境要素的自相关。具体模型为:

formula = YYY $ som ~ s(rainsea,4) + s(slope,4) + s(temsea,4) (3)

family = quasi(link = "log", variance = "mu")

式中,s为光滑函数 spline;4代表自由度;log为关联函数;方差 variance 为 mu, mu 是线性预测器的平滑可逆函数。模型采用 F 检验,总自由度65,相对自由度为43.2,D^2 为0.9347,即模型的预测变量可以解释响应变量变化的93.47%。模型表明,该区土壤碳密度主要取决于降雨季节变化,坡度以及温度季节变化三个预测变量。其中,自然生态系统土壤有机碳密度分布与降雨季节变化、坡度的关系较为复杂,但其与温度季节变化成负的相关性(图2)。这是由于温度的季节变化导致土壤的干湿交替频繁。而干湿交替使得土壤团聚体崩溃,团粒内受保护的有机碳被暴露于空气中,土壤呼吸作用强度在极短的时间内被大幅度地提高,使有机碳的矿化分解量增加,从而土壤碳密度减小[14]。

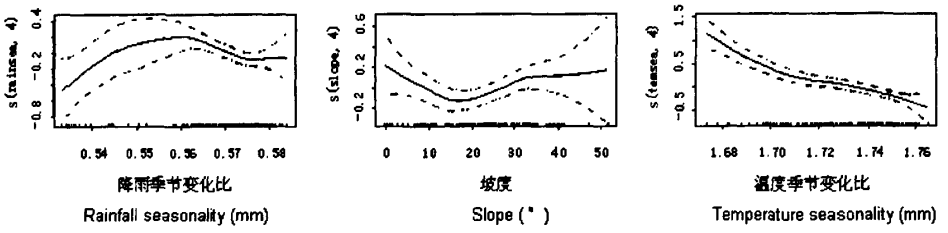

图2 自然植被土壤有机碳模型方程及响应变量曲线图

Fig.2 Equation and partial response curves of species response variable graph of SOM model in natural ecosystem

但模型中的各个预测变量对模型的贡献是不同的。一般来讲,预测变量在模型中的自由度越大,对模型的贡献就高。而公式(3)中3个变量给出的自由度都为4。在这种情况下,我们进一步分析了三个预测变量的贡献率(表2)。

表2 预测变量贡献率分析

Table 2 Contributions of predictors to the model

项目 Item	去除 Drop	单个贡献 Alone	模型变化 Model
s(rainsea, 4)	87.98688	56.84722	0.6567879
s(slope, 4)	75.42065	47.07147	0.3576975
s(temsea, 4)	101.87653	70.85198	1.6448459

由表2可见,当去除年均降雨季节变化和坡度的时候,模型变化率很小,分别为0.66和0.36。而去除年均温度季节变化后,模型变化率为1.64。进一步分析可知,当模型只含有单个变量时,三个预测变量由表2的顺序给出贡献率分别为56.84722、47.07147和70.85198。由此可得到结论,年均温度季节变化在整个模型中的贡献最高,且与自然生态系统土壤有机碳密度负相关。

2.3 农田生态系统土壤有机碳密度与环境的关系

农田生态系统有机碳密度的空间分布,是评估农田生态系统固碳潜力的关键。本处采用同2.2中建模方法,建立农田有机碳密度与环境要素的关系模型:

formula = YYY $ som ~ s(aspect,4) + s(et,4) + s(temh,4) (4)

通过 F 检验,总自由度为48.28,相对自由度为42.21,D^2 为0.8744,即模型的预测变量可以解释响应变量变化的87.44%。农田土壤有机碳密度与各影响因素的关系表明,农田土壤有机碳密度与年均蒸发量、年均最高温度呈负相关。一方面高温会促进有机碳的释放[15],同时会增强水分蒸发,减少土壤水分,降低微生物活性,减缓土壤有机碳的积累[16,17];而坡向则通过对温度、水分等的再分配而对有机碳的积累发生作用。

无论是自然植被还是农田生态系统,气候条件都是影响土壤有机碳积累的重要因素。有研究表明,自然植被条件下,每1 mm降雨所导致的0~10

万方数据

cm 土层有机碳增加速率可达一般农田的 2 倍[12,18]。因此,在干旱与半干旱农业区,补充灌溉、增加降水的收集、就地入渗与保持等措施,对提高植物生物量和土壤有机碳固定有重要意义[19]。

2.4　延河流域土壤有机碳密度分布预测与制图

利用建立的自然植被及农田生态系统的土壤有机碳密度关系模型,通过 ARCVIEW 软件,对模型进行运算,可以实现对流域尺度有机碳分布的预测(如图 3、图 4 所示)。由图 3 可看出,对自然植被系统,延河流域土壤有机碳密度由北至南呈递增趋势,最大值能预测到 170 t/h 。表明气候因素对土壤有机碳的积累的控制作用。一方面,气候影响植被类型的分布,南部森林植被分布较多,温度水分适宜,枯枝落物容易分解,对土壤有机碳的积累有积极作用[20]。另一方面,微生物是土壤有机碳分解和周转的主要驱动力,气候通过土壤水分(同时影响土壤通气状况)和温度等条件的改变,影响微生物对有机碳的分解和转化[14,17]。

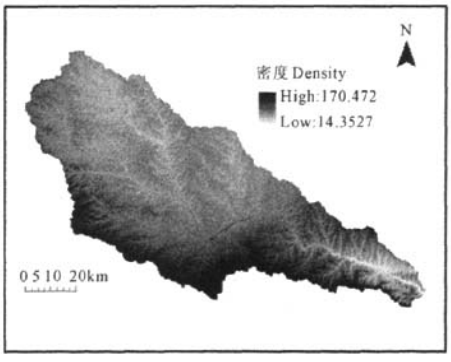

图 3　自然生态系统土壤有机碳密度分布预测图

Fig.3　Predictive distribution of SOM in natrual ecosystem

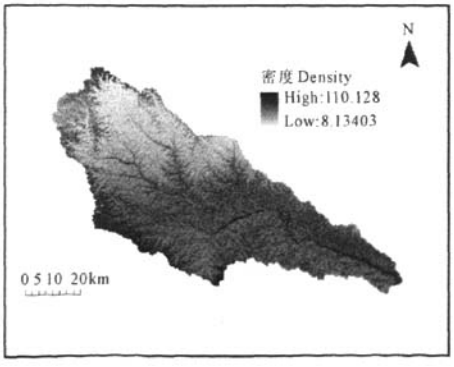

图 4　农田生态系统土壤有机碳密度分布预测图

Fig.4　Predictive distribution of SOM in framland ecosystem

而对农田生态系统(图 4),其土壤有机碳密度的空间分布同样表现出由北向南逐渐升高的分布规律,最高值可达 110 t/hm^2 左右。在作物种类变化较小的情况下,农田生态系统土壤有机碳的空间变化规律,进一步表明了气候对土壤碳积累的控制作用。因此从趋势上讲,与自然植被的有机碳分布规律一致。但受局部区域社会环境因素的影响,也会在局部地区出现较高的农田有机碳密度。如部分地区的农田生态系统土壤有机碳密度甚至高于自然植被的土壤有机碳密度,其原因与对农田生态系统的人工干预有关,如人工施肥,人为提高了土壤有机碳密度。

2.5　延河流域生态恢复重建固碳效益情景模拟分析

上述研究推算的是全流域均为自然植被或农田情景下的土壤有机碳分析,但在现实中流域的土地利用情况却较为复杂。因此,为对生产实践提供指导,本文进一步以现有土地利用为基础,根据国家生态环境建设的有关政策,对流域生态恢复重建的固碳效益进行模拟分析。本文根据 2.4 中的碳密度分布图,与延河流域现有耕地的分布图进行叠置分析,然后按照坡度划分以下情景,对可能的植被恢复重建的固碳效益进行模拟:

(1) 坡度 25°以上的耕地退耕后可以实现的固碳效益:25°以上的坡耕地是禁止耕种的,延河流域这部分耕地目前仍占有较大比重(38.47% 左右)。将这部分耕地的现有有机碳储量与对应的自然植被的有固碳储量进行叠加分析,可以得到这部分耕地退耕后可以实现的固碳效益为 90.41×10^4 t。

(2) 坡度 15°~25°的耕地退耕后可以实现的固碳效益:延河流域这部分耕地所占比重在 32.04% 左右。如果假设将这部分耕地全部进行退耕,可以实现 58.52×10^4 t 的固碳效益。

(3) 坡度小于 15°的坡耕地退耕后可以实现的固碳效益:15°以下的坡耕地占延河流域目前耕地的比重在 29.49% 左右,与坡度在 15°~25°的耕地所占比例相近。可实现的固碳效益为 57.55×10^4 t。

(4) 全部耕地实现退耕后可实现的固碳效益:在以上 3 种情景的基础上,延河流域所有耕地在实施退耕还林草后的固碳效益即为三者之和,即可实现固碳量为 206.48×10^4 t 左右。而流域现有农地的总固碳量在 304.76×10^4 t,这意味着所有耕地在实施退耕还林草后固碳量将增加 67.75%。

3　结论与讨论

本研究利用广义相加模型(GAM, Generalized Additive Model)及 GIS 空间分析技术,分别模拟了延

万方数据

河流域农田、自然植被土壤有机碳密度分布，并以自然植被土壤有机碳为基础，结合现有土地利用有关政策，对流域生态恢复重建的固碳效益进行模拟分析，主要结论如下：

1) 对于126个农田样方实测数据，土壤有机碳分布在10.63～35.82 t/hm^{2}之间；自然植被样方数据132个，其土壤有机碳密度分布在11.79～128.00 t/hm^{2}之间，平均高出农田土壤有机碳密度75.76%。而利用GAM模型所预测的农田与自然植被土壤有机碳密度范围分别在8.13～110.28 t/hm^{2}和14.36～170.47 t/hm^{2}之间，其中自然植被有机碳密度高出农田69.88%，与实测数据基本一致。数字表明利用GAM模型可以较为理想地模拟自然植被及农田生态系统的土壤有机碳密度分布。

2) 夏国芳[15]的研究表明，温度与水分对土壤有机碳有重要的影响。而本研究在利用GAM模型进行预测中得到，影响自然植被土壤有机碳密度环境因素主要有降雨季节变化、坡度以及温度季节变化；而影响农田土壤有机碳密度的环境因素包括坡向、年均蒸发量和年均最高温三个预测变量。因此，抛开人为因素的影响，温度与水分条件是影响土壤有机碳密度的主要影响因素，与夏国芳的研究基本一致。

3) 对延河流域生态恢复重建固碳效益情景模拟分析表明：流域坡度在25度以上、15度至25度以及15度以下的耕地退耕后分别可以实现的固碳效益为90.41×10^4 t、58.52×10^4 t、57.55×10^4 t，而整个延河流域的农地如果全部实行退耕还林(草)，其固碳潜力在206.48×10^4 t左右，数字表明流域在退耕后可增加土壤有机碳含量69.88%。Lugo等[21]研究指出，森林在砍伐并开垦为农地后，土壤有机碳的含量会下降70%，虽然对本研究而言是一个反向过程，但结果基本一致。

利用GAM研究土壤固碳潜力在我国还较少，本研究的完成，为该方面研究提供了新的思路。但是另一方面，本文只是引导出一种新的方法，无论在数据采集、环境变量选择以及建立模型方面，仍有许多问题需要进一步讨论。

参考文献：

[1] 潘根兴，周 萍，李恋卿，等.固碳土壤水的核心科学问题与研究进展[J].土壤学报，2007，44(2)：327—337.

[2] 郭 然，王效科，逯 非，等.中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J].生态学报，2008，28(2)：862—867.

[3] 韩 冰，王效科，欧阳志云.中国农田生态系统土壤碳库的饱和水平及其固碳潜力[J].农村生态环境，2005，21(4)：6—11.

[4] Singh Bal. The potential of soil carbon sequestration through improved management practices in norway environment[J]. Development and Sustainability，2005，7(1)：161—184.

[5] 许信旺，潘根兴，侯鹏程.不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J].水土保持学报，2005，19(6)：193—196.

[6] 徐 艳，张凤荣，段增强，等.区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J].土壤通报，2005，36(6)：836—839.

[7] Hastie T J，Tibshirani R J. Generalized Addtitive Models：Chapman & Hall[M].1990.

[8] 温仲明，赫晓慧，焦 峰，等.延河流域本氏针茅(Stipa bungeana)分布预测——广义相加模型及其应用[J].生态学报，2008，28(1)：192—201.

[9] Segurado P，Araújo M B. An evaluation of methods for modelling species distributions[J]. Journal of Biogeography，2004，31：1555—1568.

[10] 温仲明，焦 峰，焦菊英.黄土丘陵区延河流域潜在植被分布预测与制图[J].应用生态学报，2008，19(9)：1897—1904.

[11] Lehmann A，Overton J M，Leathwick J R. GRASP User's Manual [M]. New Zealand：Landcare Reaearch，1994.

[12] Dalal R C，Chan K Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cerealbelt[J]. Australian Journal of Soil Research，2001，39：435—464.

[13] Jobbaigy E G，Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Application，2000，10：423—436.

[14] 周 莉，李保国，周广胜.土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J].地球科学进展，2005，20(1)：99—105.

[15] 夏国芳，张 雷，魏严红.温度与土壤水分对有机碳分解速率的影响[J].中国生态农业学报，2007，15(4)：57—59.

[16] 陈小红，段争虎.土壤碳素固定及其稳定性对土壤生产力和气候变化的影响研究[J].土壤通报，38(4)：765—772.

[17] Davidson E A，Trumbore S E，Amundson R. Soil warming and organic carbon content[J]. Nature，2000，408(14)：789—790.

[18] Anderson J M. Soil and climate change[J]. Adv Ecol Res，1992，22：188—210.

[19] 李小涵，郝明德，王朝辉，等.农田土壤有机碳的影响因素及其研究[J].干旱地区农业研究，2008，26(3)：176—181.

[20] 梁中龙，袁中友，林兴通，等.城郊耕层土壤养分的空间变异特征[J].土壤通报，2006，37(3)：417—421.

[21] Lugo A E，Sanches A J，Brown S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils[J]. Plant and Soil，1986，96：185—196.

万方数据

The evaluation of carbon sequestration potential in farmland ecosystem in Yanhe River catchment using natural ecosystem as a reference

YANG Shang-bin[1,2], WEN Zhong-ming[1,2], ZHANG Jia[1,2]

(1. *College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi* 712100, *China*;
2. *Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shannxi* 712100, *China*)

Abstract: The Yanhe River catchment was chosen as a case study to evaluate quantitatively the carbon sequestration potential of farmland systems and its spatial change. The results showed that the SOM density in natural ecosystem is mainly affected by annual mean rainfall seasonality, annual mean temperature and slope grade while the SOM density in farmland ecosystem by annual average evaporation, annual average temperature in July and slope position. Using the established models for SOM density in natural ecosystem and farmland ecosystem, predictive distribution maps of the SOM density in natural ecosystem and farmland ecosystem are produced under GIS environment (ARCGIS 9.3). Then the predictive distribution map of the SOM density in natural ecosystem minus that of the SOM density in farmland ecosystem to evaluate the carbon sequestration potential of farmland ecosystem in Yanhe River catchment. The results indicate that the SOM density in the catchment increases gradually from northwest to southeast and the total carbon sequestration potential is about 206.48×10^4 t. This indicates that the carbon sequestration potential of farmland system in Yanhe River catchment is huge, and this conclusion has great implication for making strategy of regional carbon sequestration and evaluation of ecological benefit of land use.

Keywords: carbon sequestration potential; soil organic carbon density; soil organic carbon and environment

(上接第 189 页)

Evalution of agricultural resource utilization in the black soil region of Heilongjiang Province

DUAN Xiao-feng[1,2], ZHANG Lei[1,2], ZHANG Hui[2], SUN Yan-kun[2], YUAN Hai-yan[1,2], HAN Ying-juan[1,2], MA Guo-fei[1,2], CAO Ning[1,2]

(1. *Ningxia Key Labroatory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*;
2. *Ningxia Institute of Meteorological Sciences, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*;
3. *Northeast Agricultural University, Herbin, Heilongjiang* 150030, *China*)

Abstract: Using the mechanism methodology, climatic-soil potential productivity of corn, rice and soybean was computed according to the factors such as radiation, temperature, precipitation, and soil in each county. At photosynthesis-temperature, the utilization of rice is the highest, 40.6%, and the next is separately soybean 31.4% and corn 27.7%. There is still 59.4% of photosynthesis-temperature resources can be transformated into rice production, while there is even more of those for soybean and corn production, separately 68.6% and 72.3%. At climate, the utilization of soybean is the hignest. At climate and soil, the utilization of rice is the hingest. For different crops, the same natural resources have different satisfaction on plant. The utility rate of photosynthesis, photosynthesis-temperature is not high enough, and there is still climate-soil potential for the productivities of the main crops. Water and soil were probably the main limiting factors. So there is still big potential to tap, and the resource utilization awaits the improvement of of these two aspects in agricultural production process.

Keywords: Heilongjiang Province; climatic-soil potential productivity; agricultural resource utilization

万方数据