



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110174506 B

(45)授权公告日 2020.07.07

(21)申请号 201910576376.X

(22)申请日 2019.06.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110174506 A

(43)申请公布日 2019.08.27

(73)专利权人 中国科学院地球化学研究所

地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72)发明人 白晓永 王世杰 吴路华 周苗

陈飞 李汇文 操玥 肖建勇

钱庆欢 曾成 李琴 王金凤

田义超 罗光杰 杨钰杰 李朝君

邓元红 胡泽银

(74)专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所  
52100

代理人 商小川

(51)Int.Cl.

G01N 33/24(2006.01)

G06F 17/15(2006.01)

审查员 赵静

权利要求书2页 说明书4页

(54)发明名称

一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法

(57)摘要

本发明公开了一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,它包括:步骤1、建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型;步骤2、修正土壤深度;步骤3、对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除;步骤4、修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式;步骤5、修正土壤有机碳储量估算方法;解决了现有技术对喀斯特地区土壤有机碳计算存在喀斯特土壤碳库大大高出了真实的实际情况,出现计算误差大等问题等技术问题。

1. 一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,它包括:

步骤1、建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型;所述建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型为:

$$SOCS = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n SOCD_{ij} \times S_{ij} \times 10^3$$

$$SOCD_{ij} = SOCD_{\text{非喀斯特}} + SOCD_{\text{喀斯特}}$$

$$SOCD_{\text{喀斯特}} = SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以上所有土壤类型}}$$

$$SOCD_{\text{非喀斯特}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

式中:SOCS为土壤有机碳储量,SOCD为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土壤的实际深度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $S_i$ 为像元面积, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数;

步骤2、修正土壤深度;所述修正土壤深度的方法为:采用土壤的实际深度 $E_i$ 作为正负地形和任何土壤类型的的土壤深度;

步骤3、对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除;所述对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除的方法为: $6^\circ$ 以下负地形的非石灰土类型基岩裸露率 $R_i$ 为0; $6^\circ$ 以下的石灰土类型和 $6^\circ$ 以上正地形的所有土壤类型均采用实际的基岩裸露率 $R_i$ ;

步骤4、修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式;

步骤5、修正土壤有机碳储量估算方法。

2. 根据权利要求1所述的一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,其特征在于:修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式包括:

$SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}}$ 计算公式为:

$$SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

式中:SOCD为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土壤的实际深度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数;

$SOCD_{6^\circ \text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以上}}$ 计算公式分别如下:

$$SOCD_{6^\circ \text{以下石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

$$SOCD_{6^\circ \text{以上所有土壤类型}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

式中:SOCD为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土壤的实际深度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $R_i$ 为土壤基岩裸露率, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数。

3. 根据权利要求1所述的一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,其特征在于:步骤5所述修正土壤有机碳储量估算方法包括:

$$\begin{aligned}
SOCS &= \sum_i^k SOCD_i \times S_i \times 10^3 \\
&= \sum_{i=1}^k (SOCD_{\text{非喀斯特}} + SOCD_{\text{喀斯特}}) \times S_i \times 10^3 \\
&= \sum_{i=1}^k (SOCD_{6^\circ\text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^\circ\text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ\text{以上所有土壤类型}}) \times S_{i,j} \times 10^3 \\
&= \left( \sum_{i=1}^k (C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 + \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)) \right) \times S_{i,j} \times 10^3
\end{aligned}$$

SOCS为有机碳储量,SOCD为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土壤的实际深度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $R_i$ 为土壤基岩裸露率, $S_i$ 为像元面积, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数。

## 一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于喀斯特地区土壤碳含量计算领域,尤其涉及一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法。

### 背景技术

[0002] 由于喀斯特地区土壤分布的特殊性,地表破碎,土壤浅薄,分布不均,土被不连续,且基岩裸露率高,土壤有机碳密度和储量空间分布特征的深入认识直接关系着喀斯特石漠化地区生态恢复和重建方案规划和生态体系布局,对于环境生态文明的建议和决策具有重大的影响,对于保障长江珠江两江流域的生态安全具有重大的挑战。而现有技术的土壤有机碳密度估算方法在横向上不能真实地反映喀斯特土壤特征,没有根据喀斯特土壤的成土速率特征,分布特点和侵蚀特征,忽略了基岩裸露率的重大影响。在纵向上,没有考虑土壤实际深度,因而导致利用现有技术的算法估算喀斯特土壤碳库大大高出了真实的实际情况,出现计算误差大等问题。

### 发明内容

[0003] 本发明要解决的技术问题是:提供一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,以解决现有技术对喀斯特地区土壤有机碳计算存在喀斯特土壤碳库大大高出了真实的实际情况,出现计算误差大等问题等技术问题。

[0004] 本发明的技术方案是:

[0005] 一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,它包括:

[0006] 步骤1、建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型;

[0007] 步骤2、修正土壤深度;

[0008] 步骤3、对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除;

[0009] 步骤4、修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式;

[0010] 步骤5、修正土壤有机碳储量估算方法。

[0011] 步骤1所述建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型为:

$$[0012] \quad SOCS = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n SOCD_{ij} \times S_{ij} \times 10^3$$

[0013]  $SOCD_{ij} = SOCD_{\text{非喀斯特}} + SOCD_{\text{喀斯特}}$

[0014]  $SOCD_{\text{喀斯特}} = SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以上所有土壤类型}}$

$$[0015] \quad SOCD_{\text{非喀斯特}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

[0016] 式中:SOCS为土壤有机碳储量,SOCD为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土层厚度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $S_i$ 为像元面积, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数。

[0017] 步骤2所述修正土壤深度的方法为:采用土壤的实际深度 $E_i$ 作为正负地形和任何土壤类型的土壤深度。

[0018] 步骤3所述对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除的方法为: $6^\circ$ 以下负地形的非石灰土类型基岩裸露率 $R_i$ 为0; $6^\circ$ 以下的非石灰土类型和 $6^\circ$ 以上正地形的所有土壤类型均采用实际的基岩裸露率 $R_i$ 。

[0019] 修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式包括: $SOCD_{6^\circ\text{以下非石灰土}}$ 计算公式为:

$$[0020] \quad SOCD_{6^\circ\text{以下非石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

[0021] 式中: $SOCD$ 为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为喀斯特地区实际土层厚度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数;

[0022]  $SOCD_{6^\circ\text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ\text{以上}}$ 计算公式分别如下:

$$[0023] \quad SOCD_{6^\circ\text{以下石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

$$[0024] \quad SOCD_{6^\circ\text{以上所有土壤类型}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

[0025] 式中: $SOCD$ 为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土层厚度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $R_i$ 为土壤基岩裸露率, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数。

[0026] 步骤5所述修正土壤有机碳储量估算方法包括:

$$[0027] \quad \begin{aligned} SOCS &= \sum_i SOCD_i \times S_i \times 10^3 \\ &= \sum_{i=1}^k (SOCD_{\text{非喀斯特}} + SOCD_{\text{喀斯特}}) \times S_i \times 10^3 \\ &= \sum_{i=1}^k (SOCD_{6^\circ\text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^\circ\text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ\text{以上所有土壤类型}}) \times S_{i,j} \times 10^3 \\ &= \left( \sum_{i=1}^k (C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10) + \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i) \right) \times S_{i,j} \times 10^3 \end{aligned} \quad SOCS$$

[0028] 为有机碳储量, $SOCD$ 为有机碳密度, $C_i$ 为土壤有机碳含量, $D_i$ 为土壤容重, $E_i$ 为土层厚度, $G_i$ 为大于2mm的石砾所占含量, $R_i$ 为土壤基岩裸露率, $S_i$ 为像元面积, $i$ 为像元序号, $k$ 为像元总数。

[0029] 本发明有益效果:

[0030] 本发明提出了一种适用于喀斯特山坝耦合系统的土壤有机碳储量计算模型,该模型通过修正土壤深度,扣除不同土壤类型和正负地形基岩裸露率,修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式,最终得到土壤有机碳储量估算新方法。在横向上引入了基岩裸露参数,消除了基岩裸露率的重大影响。在纵向上考虑了土壤实际深度的空间异质性。此外,根据土壤类型和坡度特征,将 $6^\circ$ 以下非石灰土、 $6^\circ$ 以下石灰土和 $6^\circ$ 以上所有土壤类型区域的碳密度分开计算。 $6^\circ$ 以下非石灰土不用考虑基岩裸露率; $6^\circ$ 以下石灰土和 $6^\circ$ 以

上所有土壤类型的区域需要考虑了基岩裸露率。与传统算法相比,本发明建立的喀斯特地区土壤有机碳储量估算新方法和新模型解决了传统模型难以适用于复杂喀斯特山坝耦合系统的问题,为喀斯特流域土壤有机碳分布特征研究和估算提供了新的科学方法,为我国喀斯特生态恢复和重建提供了技术支撑和科学的理论依据,为西南地区生态文明建设决策布局提供了重要的参考,提高了计算的准确度,解决了现有技术对喀斯特地区土壤有机碳计算存在喀斯特土壤碳库大大高出了真实的实际情况,出现计算误差大等问题等技术问题。

### 具体实施方式

[0031] 本发明提供的方法,包括如下步骤:

[0032] 一种喀斯特地区土壤有机碳估算方法,它包括:

[0033] 步骤1、建立喀斯特地区土壤有机碳估算模型;

[0034] 步骤2、修正土壤深度;

[0035] 步骤3、对不同土壤类型和正负地形基岩裸露率扣除;

[0036] 步骤4、修正不同土壤类型和正负地形土壤有机碳密度估算公式;

[0037] 步骤5、修正土壤有机碳储量估算方法。

[0038] 所述步骤1中,采用如下方式进行计算:

$$[0039] \quad SOCS = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n SOCD_{ij} \times S_{ij} \times 10^3$$

[0040]  $SOCD_{ij} = SOCD_{非喀斯特} + SOCD_{喀斯特}$

[0041]  $SOCD_{喀斯特} = SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以下石灰土}} + SOCD_{6^\circ \text{以上所有土壤类型}}$

$$[0042] \quad SOCD_{非喀斯特} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

[0043] 式中:式中:SOCS为土壤有机碳储量(g C),SOCD为有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>),C<sub>i</sub>为土壤有机碳含量(%),D<sub>i</sub>为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),E<sub>i</sub>为土层厚度(cm)(非喀斯特地区均为1m),G<sub>i</sub>为大于2mm的石砾所占含量(%),S<sub>i</sub>为像元面积(m<sup>2</sup>),i为像元序号,k为像元总数。

[0044] 所述步骤2中,无论正负地形和土壤类型均需考虑土壤的实际深度E<sub>i</sub>(cm)(0 ≤ E<sub>i</sub> ≤ 1m),而非用以前适用于非喀斯特地区的1m标准。

[0045] 所述步骤③中,6°以下(负地形)的非石灰土类型基岩裸露率R<sub>i</sub>为0。6°以下的非石灰土类型和6°以上(正地形)的所有土壤类型均需考虑实际的基岩裸露率G<sub>i</sub>。

[0046] SOCD<sub>6°以下非石灰土</sub>计算公式:

$$[0047] \quad SOCD_{6^\circ \text{以下非石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10$$

[0048] 式中:SOCD为有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>),C<sub>i</sub>为土壤有机碳含量(%),D<sub>i</sub>为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),E<sub>i</sub>为喀斯特地区实际土层厚度(cm)(0 ≤ E<sub>i</sub> ≤ 1m),并非传统公式中取1m,G<sub>i</sub>为大于2mm的石砾所占含量(%),i为像元序号,k为像元总数。

[0049] SOCD<sub>6°以下石灰土</sub>+SOCD<sub>6°以上</sub>计算公式分别如下:

$$[0050] \quad SOCD_{6^{\circ}\text{以下石灰土}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

$$[0051] \quad SOCD_{6^{\circ}\text{以上所有土壤类型}} = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i)$$

[0052] 式中:SOCD为有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>),C<sub>i</sub>为土壤有机碳含量(%),D<sub>i</sub>为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),E<sub>i</sub>为土层厚度(cm)(0≤E<sub>i</sub>≤1m),G<sub>i</sub>为大于2mm的石砾所占含量(%),R<sub>i</sub>为土壤基岩裸露率(%),i为像元序号,k为像元总数。

[0053] 步骤5修正土壤有机碳储量估算方法,采用如下方式计算:

$$\begin{aligned}
 [0054] \quad SOCS &= \sum_i^k SOCD_i \times S_i \times 10^3 \\
 &= \sum_{i=1}^k (SOCD_{\text{非喀斯特}} + SOCD_{\text{喀斯特}}) \times S_i \times 10^3 \\
 &= \sum_{i=1}^k (SOCD_{6^{\circ}\text{以下非石灰土}} + SOCD_{6^{\circ}\text{以下石灰土}} + SOCD_{6^{\circ}\text{以上所有土壤类型}}) \times S_{i,j} \times 10^3 \\
 &= \left( \sum_{i=1}^k (C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10) + \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \times (1 - R_i) \right) \times S_{i,j} \times 10^3
 \end{aligned}$$

[0055] 式中:SOCS为有机碳储量(g C),SOCD为有机碳密度(kg/m<sup>2</sup>),C<sub>i</sub>为土壤有机碳含量(%),D<sub>i</sub>为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>),E<sub>i</sub>为土层厚度(cm)(0≤E<sub>i</sub>≤1m),G<sub>i</sub>为大于2mm的石砾所占含量(%),R<sub>i</sub>为土壤基岩裸露率(%),S<sub>i</sub>为像元面积(m<sup>2</sup>),i为像元序号,k为像元总数。

[0056] 本发明方法针对喀斯特地区基岩裸露高和土壤浅薄,且对土壤实际空间分布规律缺乏系统性认识而导致碳库估算存在误判的问题,用土壤实际深度E<sub>i</sub>替代通用公式中的土层厚度E(1m),考虑喀斯特地区土壤深度的异质性。此外,将6°以下非石灰土、6°以下石灰土和6°以上区域的碳密度分开计算。6°以下非石灰土不用考虑基岩裸露率;6°以下石灰土和6°以上所有土壤类型的区域需要考虑了基岩裸露率。消除了基岩裸露率并考虑了实际的土壤深度,建立了喀斯特地区土壤有机碳储量估算新方法和新模型;解决了现有技术的问题,提高了计算精度。