

黑河中游山前平原区退耕地土壤有机碳库特征

常宗强¹, 裴雯², 冯起¹, 苏永红¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 生态水文与流域科学重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃省祁连山国家级自然保护区管理局, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 采用野外调查测定、野外定位研究和室内分析相结合的方法, 在黑河中游山前平原区选择邻近相同海拔和土壤类型的退耕(退耕 1 a、5 a、10 a)造林地为研究对象, 研究了山前平原区退耕地不同退耕年限的土壤碳动态, 结果表明: 退耕 1 a、退耕 5 a、退耕 10 a 和退耕造林地的土壤有机碳含量变化分别为 16.89 gC/kg、8.24 gC/kg、8.56 gC/kg 和 9.98 gC/kg, 平均土壤有机碳密度分别为 8.05 kg/m²、4.78 kg/m²、5.02 kg/m² 和 6.52 kg/m²。平均土壤有机碳周转时间分别为 23 a、25 a、26 a 和 33 a; 不同植被类型土壤 CO₂ 通量依次为退耕 1 a 土壤 530.8 gC/(m²·a); 退耕 5 a 土壤 316.9 gC/(m²·a); 退耕 10 a 土壤 266.1 gC/(m²·a); 退耕地造林(杨树林)286.9 gC/(m²·a)。同一类型退耕地中, 土壤有机碳含量和土壤碳密度随土壤深度增加而降低, 而土壤有机碳周转时间则随深度增加而增大。

关键词: 土壤有机碳; 土壤 CO₂ 通量; 周转时间; 退耕地

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

土壤有机碳作为陆地碳库的主要部分, 在全球碳循环中起着重要作用^[1]。在全球变化的背景下, 如何管理陆地生态系统, 以保持原有碳储量, 并尽可能沉积更多的大气碳是当前面临的新挑战^[2]。土壤有机碳(SOC)的吸存和动态与土地利用活动紧密相关, 通常认为植被破坏导致 SOC 流失, 植被重建增加土壤碳汇。其实, 植被变化过程中 SOC 的变化方向和数量大小不仅仅取决于变化前后植被类型, 还主要与土地利用的历史, 现状及管理强度有关^[3-5]。近年来, 在国家生态建设工程中, 河西走廊大面积的农田退耕还林(草)。在植被恢复过程中并没有考虑不同类型植被的碳汇能力。土壤有机层与土壤养分的提供密切相关, 在维持不同植被土壤肥力方面具有重要的作用, 是土壤质量的重要指标^[6-7], 因此对植被恢复的碳汇要求与营造生态林的目的并行不悖。目前, 植被恢复过程中地力衰退问题是困扰林业的一大难题, 也间接反映了植被恢

复过程中土壤有机碳流失问题的严重性。研究不同恢复模式对土壤有机碳的影响, 不仅有利于生态经济林的建设, 同时也有利于碳汇林的营造, 实现人工林生态、经济、碳汇等多种功能的充分发挥。因此, 本文研究黑河中游地区退耕地的土壤碳汇特征, 分析土壤碳汇能力、周转过程与机理, 这对土壤碳管理和当地经济发展具有现实意义。

1 研究地区自然概况

选择黑河流域张掖地区山前平原区为研究区域。张掖地区位于甘肃省西部, 河西走廊中段, 介于 97°20' ~ 102°13'E, 37°28' ~ 39°59'N 间, 东接武威、金昌, 西连酒泉、嘉峪关, 南越祁连山与青海毗连, 北越合梨山、龙首山与内蒙接壤, 辖一市五县, 总面积 421.4 × 10⁴ hm²。因地处青藏高原与阿拉善高原的交汇地带, 呈现高山、绿洲、戈壁、沙漠断续分布的独

收稿日期(Received date): 2010 - 05 - 21; 改回日期(Accepted): 2010 - 10 - 29。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(40801001, 40701054)项目资助。[This work was supported by National Natural Science Foundation of China (40801001, 40701054).]

作者简介(Biography): 常宗强, 男, 甘肃会宁人, 主要从事干旱区生态水文及碳循环研究。[Chang Zongqiang, male, born in Huining, Gansu, Mainly study on eco-hydrological and carbon cycle in arid region.] E-mail: changzq@lzb.ac.cn

特自然景观,植被覆盖度仅为 8.67%,属典型生态脆弱带。其南部是高峻的祁连山,为绿洲的重要水源和涵养林景观;北部是长期剥蚀的低山丘陵,主要为沙漠和戈壁景观;中部为平原地带,发育了众多的大小绿洲,是地区经济发展的核心地带。

受大气环流和青藏高原大地形的作用,该地区属典型的温带大陆性气候,年均气温 2.8~7.6℃,绝对最高气温 38.7℃,绝对最低气温-28.7℃,无霜期 150~160 d,为世界上同纬度最干旱的地区之一。降水少而蒸发强烈,区内多年平均降水量 283.2 mm,多年平均蒸发量 1 000~2 000 mm,流域中游地区主要属灰棕荒漠土与灰漠土分布区,地带性植被为温带小灌木、半灌木荒漠植被。受河流水源和人类活动影响,中游山前冲积扇下部和河流冲积平原上分布有灌溉绿洲栽培农作物和林木,呈现以人工植被为主的景观。本研究在黑河中游山前平原区退耕地(39°14'~39°24'N, 100°02'~100°21'E,海拔 1 350~1 400 m),选择邻近相同海拔和坡向的退耕地和退耕造林地(1999 年造林)4 种不同退耕年限的土壤为研究对象,在每种退耕地中随机设置了 3 个 20 m×30 m 的固定样地进行土壤表面 CO₂ 通量和有机碳储量测定。该试验主要是在 2005 年的生长季进行,2009 年对部分数据做了补充测定。表 1 列出这些固定样地的立地状况和植被组成。

2 研究方法

2.1 土壤有机碳含量和碳密度的测定

2005 年和 2009-03-10,在 4 个不同退耕年限的 12 块样地周围,在距每个样地边界 2~3 m 处随机挖取 3 个土壤剖面,剖面深度视土壤厚度而定。确定土壤剖面后,用土壤环刀(100 cm³)在每一土层(10 cm 为一层)取土样测定土壤容重;同时取约

500 g 土样装入样品袋,用于土壤有机碳(SOC)测定。仔细去除环刀内土样的植物根系和石砾,在 105℃烘干 24 h 后,称重并计算土壤容重。样品袋内的土样自然风干后,取一部分土样过 2 mm 土壤筛,同时用 1N HCl 处理 16~24 h 后,在 105℃烘 3 h 除去无机碳;再用分析天平(0.1 mg)准确称量约 0.500 0 g 土样,利用 multi N/C 3000 分析仪和 HT 1500 Solids Module(A nalytik Jena A G, Germany)测定土壤总碳和 SOC。

土壤有机碳密度是指单位面积一定深度的土层中 SOC 的贮量,一般用 t/hm² 或 kg/m² 表示。由于它以土体体积为基础作计算,排除了面积和土壤深度的影响,因此土壤碳密度已成为评价和衡量土壤中有机碳贮量的一个极其重要的指标。某一土层 *i* 的有机碳密度(SOC_{*i*}, kg/m²)的计算公式^[8]为

$$SOC_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100$$

式中 *C_i* 为土壤有机碳含量(g/kg),*D_i* 为容重(g/cm³),*E_i* 为土层厚度(cm),*G_i* 为直径>2 mm 的石砾所占的体积百分比(%)。

如果某一土壤剖面由 *k* 层组成,那么该剖面的有机碳密度(SOC_{*i*}, kg/m²)为

$$SOC_i = \sum_{i=1}^k SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100$$

2.2 土壤表面 CO₂ 通量及其组分的测定

土壤表面 CO₂ 通量(RS)采用 LI-6400-09 土壤呼吸室连接到 LI-6400 便携式 CO₂/H₂O 分析仪(Li-Cor Inc., Linco ln, NE, USA)直接测定^[9]。2005-04 中旬在每个固定样地内随机布置 8 个内径为 10.2 cm,高为 8 cm 的 PVC 土壤环,并保持土壤环在整个测定期间位置不变。在 2004-05-10 期间,每两星期用 LI-6400 分析仪测定一次 RS,共测定 12 次。与此同时,用数字式瞬时温度计分别测定 2 cm 和 10 cm 的土壤温度(*T₂* 和 *T₁₀*);用烘干法测定 2 cm 和 10 cm 的土壤湿度(*W₂* 和 *W₁₀*)。

表 1 选择样地基本情况
Table 1 condition of different plots

年限	土壤容重/g·cm ⁻³	主要植物	海拔/m	坡向	土壤类型
退耕 1 a	1.32	白黎、绵蓬	1 923	半阴坡	灰棕漠土
退耕 5 a	1.37	油蒿、冰草、萎陵菜、白黎、针茅	1 920	半阴坡	灰棕漠土
退耕 10 a	1.39	油蒿、冰草、萎陵菜、白黎、针茅	1 921	半阴坡	灰棕漠土
退耕地造林 10 a	1.44	二白杨、油蒿、冰草、萎陵菜	1 923	半阴坡	灰棕漠土

土壤异养呼吸(R_H)和根系自养呼吸(R_A)采用挖壕法间接测定。2005-04月中旬在每块固定样地的外围距样地边界2~3 m处随机选择4个50 cm×50 cm小样方,在小样方四周挖壕深至55~75 cm(植物根系分布层以下),壕内用双层厚塑料布隔离小样方周围的根系;再除去小样方内所有活体植物,并在随后的测定中始终保持小样方内没有活体植物;最后每个小样方内安置一个PVC土壤环,安置方法前同。挖好后2个月(2005-06月上旬),与常规的 R_S 测定同步,每两周测定一次挖壕样方内的 CO_2 通量及其相关的环境因子,共测定10次。测定方法与前同。这样,挖壕样方内的 CO_2 通量即为 R_H ;挖壕样方与非挖壕样方的 CO_2 通量之差即为 R_A 。上述测定基本涵盖了本地区的土壤温度和含水量的季节变化范围。

R_S 年通量及其组分采用基于实测数据建立的 R_S 统计模型与连续环境因子监测数据相结合的方法估测。从大量的前期研究中,发现 R_S 及其组分总体上与 T_{10} 和 W_{10} 的相关更为紧密,所以我们选用 T_{10} 和 W_{10} 为自变量建立起来的 R_S 统计模型来估测 CO_2 年通量。 R_S 统计模型所需要的输入参数来自于在研究样地邻近安装的自动数据采集器(Campbell Scientific, Inc1, Utah, USA)。数据采集器长期连续测定2 cm和10 cm土深处的土壤温度和含水量(每15 min记录一次)。生长季期间(2005-05-01—10-31,10 cm的土壤温度 $>0^{\circ}C$ 时)的 CO_2 通量根据上述模型以天为步长累加而成。因为LI-6400分析仪在低温下难以运行,因此,在土温低于 $0^{\circ}C$ 的非生长季中,未能测定 R_S 和 R_H 。

2.3 土壤有机碳的周转时间

土壤呼吸严格地说是指未扰动土壤中产生 CO_2 的所有代谢作用,包括3个生物学过程(土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸作用)和一个非生物学过程(含碳矿物质的化学氧化作用),其中生物学过程占主导地位。假定土壤呼吸完全由根系自养呼吸和主要是有机质分解的异养呼吸组成,则土壤碳的周转时间可用下式计算^[8]

$$\text{土壤碳周转时间} = D_c / R_H$$

式中 D_c 为土壤有机碳密度(kg/m^2), R_H 为土壤异养呼吸年通量($gC/(m^2 \cdot a)$)。

2.4 数据分析

采用ANOVA比较不同生态系统间SOC含量的总体平均值、各土层SOC平均值、土壤碳总密度、各

土层碳密度以及 R_S 年通量的差异。采用简单线性回归建立各个森林生态系统的SOC平均值和 R_S 、 R_H 及 R_A 年通量的关系。所有的统计分析均用SAS统计软件完成。

3 结果与分析

3.1 不同剖面深度SOC含量

表2 不同土壤剖面深度SOC含量

Table 2 SOC content of each vegetation types at different soil profile

剖面深度 /cm	土壤有机碳含量/ $gC \cdot kg^{-1}$			
	退耕1 a	退耕5 a	退耕10 a	退耕地造林 (杨树10 a)
0~10	18.69	13.65	14.12	15.41
10~20	19.25	9.88	10.37	12.55
20~30	15.36	5.21	5.34	7.96
30~40	14.28	4.23	4.39	4.01
平均	16.89	8.24	8.56	9.98
标准方差	2.45	4.37	4.54	5.03
变异系数/%	14.5	53.0	53.0	50.4

由表2数据显示,有机碳含量变化平均分别为:退耕1 a土壤16.8 gC/kg,退耕5 a土壤8.24 gC/kg,退耕10 a土壤8.56 gC/kg,退耕地造林9.98 gC/kg,退耕1 a土壤比退耕5 a土壤SOC平均高99%,表明这些退耕1 a土壤中有有机碳含量总体比在邻近位置的退耕5 a地中高。退耕造林地中土壤有机碳含量比退耕1 a低46.4%以上,或者退耕1 a土壤有机碳含量比退耕造林地中高86.5%。退耕5 a地土壤有机碳含量比造林地中低6.8%。或者造林地比退耕5 a土壤高7.3% ($p < 0.05$)。表明退耕1 a土壤比退耕5 a,10 a及退耕造林地中的土壤有机碳含量高。并且其SOC含量都随剖面深度增加而下降,除退耕5 a,10 a的20~30 cm与30~40 cm、退耕造林地10~20 cm与20~30 cm外,各土壤剖面层间差异显著($p < 0.05$)。同一深度土层之间,不同退耕年限的SOC含量差异显著($p < 0.05$)。以上分析表明,不同退耕年限对不同剖面深度SOC含量的影响不同,也就是说,退耕年限与不同剖面深度SOC间存在显著交互效应($p < 0.05$)。

3.2 不同剖面深度土壤碳密度

在0~40 cm土壤剖面深度,不同退耕年限土壤

的碳密度以退耕 1 a 土壤的最大, 平均为 8.05 kg/m^2 , 退耕 5 a 的最小为 4.78 kg/m^2 , 退耕 10 a 为 5.02 kg/m^2 , 退耕造林地为 6.52 kg/m^2 , 在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土壤剖面深度, 退耕 1 a 地具有最大土壤碳密度 (8.84 kg/m^2), 支持了以往观点, 即挖取土壤剖面深度的不同对有关土壤碳贮量的研究结论具有重要影响 (见表 2)。根据表 2 数据计算, 退耕 1 a 土壤有机碳密度比退耕 5 a 土壤平均高 68.4%, 比退耕 10 a 土壤平均高 60.4%。退耕造林地土壤有机碳密度比退耕 1 a 土壤低 19.6%, 或者退耕 1 a 土壤有机碳密度比退耕造林地高 24.2%; 退耕造林地土壤有机碳密度比退耕 5 a 高 37.4%。表中显示, 退耕 1 a 与退耕 5 a、10 a 土壤有机碳密度在 $0 \sim 10$ 、 $10 \sim 20$ 两个土层之间差异显著, 在 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层之间差异不同, 退耕 5 a、10 a 土壤在 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层差异较小。退耕造林地土壤有机碳密度随土层加深而明显递减, 在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 、 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 、 $30 \sim 40 \text{ cm}$ 不同土层之间差异显著。

表 3 不同土壤剖面深度各退耕土壤碳密度

Table 3 Carbon density of different vegetation types at each soil profile

剖面深度 /cm	碳密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$			
	退耕 1 a	退耕 5 a	退耕 10 a	退耕地造林 (杨树 10 a)
0 ~ 10	8.96	5.74	6.23	7.15
10 ~ 20	8.72	4.89	5.37	6.87
20 ~ 30	7.65	4.32	4.29	6.21
30 ~ 40	6.87	4.15	4.18	5.85
平均	8.05	4.78	5.02	6.52
标准方差	0.97	0.72	0.97	0.6
变异系数/%	12.0	15.1	19.3	9.2

3.3 土壤 CO_2 年通量

不同植被类型土壤年呼吸通量反映其 1 a 土壤有机碳的排放量, 这些排放量又体现土壤碳源强度。图 1 显示在生长季不同退耕类型土壤异养呼吸年通量均显著地高于根系自养呼吸的年通量, 而且不同植被类型之间的土壤异养呼吸和根系自养呼吸的年通量存在着显著差异。退耕 1 a 土壤分别为 $376.9 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $153.9 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 退耕 5 a 为 $224.6 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $92.3 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 退耕 10 a 土壤为 $189.7 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和 $76.4 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 退耕造林地 (杨树 10 a) 分别为 $203.7 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 和

$83.2 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。平均而言, 退耕 1 a 土壤呼吸的年通量比退耕 5 a 土壤分别高出 67.8% 和 66.7%, 比退耕 10 a 土壤分别高出 98.7% 和 101.4%, 比退耕造林地高出 85% 和 84.9%。

由于受到各种因素的影响, 通过比较野外短期测定的土壤呼吸速率来确定不同土地利用方式碳排放速度差异还不尽合理, 而比较不同土地利用方式间呼吸通量则能够确定土壤呼吸的差异。因为不同土地利用方式下呼吸通量反映其在生长季土壤有机碳的排放量, 这些排放量又体现土壤碳源强度。直接测定土壤年呼吸量比较困难, 一般通过建立土壤温度和土壤呼吸速率之间的统计关系进行估计或者用不同时间测定值的平均值进行推算。本文中, 首先建立土壤呼吸速度与 10 cm 土层深度的温度关系, 然后根据土壤呼吸速度与 10 cm 土层温度关系, 估计了不同植被类型年呼吸通量值 (图 2)。可以看出, 退耕 1 a 土壤的年通量最高, 退耕 5 a、10 a 和退耕地造林 (10 a) 相对较低, 其差异比较显著 ($p < 0.05$)。

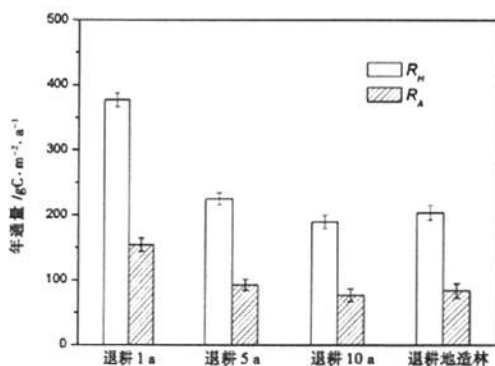


图 1 不同退耕年限土壤异养呼吸和根系呼吸年通量比较

Fig. 1 Comparison of the annual R_h and R_a in different vegetations changing from farmlands

图 2 显示, 不同退耕年限土壤 CO_2 年通量存在显著差异。不同土壤 CO_2 年通量从大到小的变化依次为: 退耕 1 a 土壤 $530.8 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 退耕 5 a 土壤 $316.9 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 退耕地造林 (杨树 10 a) $286.9 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; 退耕 10 a 土壤 $266.1 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。退耕 1 a 土壤 CO_2 年通量明显高于其他土壤, 分别高出 67%, 99% 和 85%。与 Raich^[10] 的结论相似, 这可能是由于生态系统的碳分配格局、凋落物产量、凋落物养分的差异引起的。

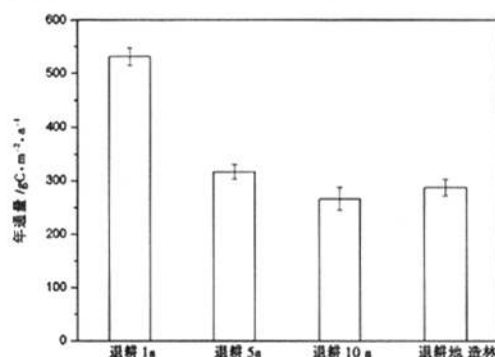
图2 不同退耕年限土壤 CO₂ 年通量比较

Fig. 2 Annual soil surface CO₂ flux for the different vegetations changing from farmlands

3.4 不同退耕年限退耕地土壤有机碳周转

土壤有机碳的周转期反映土壤有机碳分解的动态特征,不同植被类型下土壤有机碳的周转时间不同^[8]。图3是不同退耕类型土壤有机碳周转时间比较,图中显示,退耕1a、退耕5a、退耕10a和退耕造林地的土壤有机碳平均周转时间分别为23a、25a、26a和33a。在所有的植被类型中,土壤有机碳周转时间随土壤深度增加而增大。

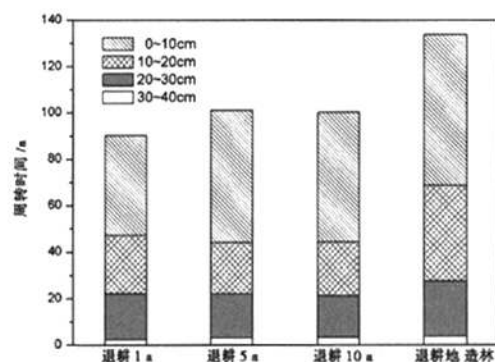


图3 不同退耕年限土壤有机碳周转时间比较

Fig. 3 Comparison of soil organic carbon turnover time for the different vegetations changing from farmlands

4 讨论

4.1 退耕地土壤有机碳含量和有机碳密度的变化

一般认为,退耕地植被恢复将增加土壤碳储量,Post和Kwon^[3]在一综述中引用了多人有关研究的结果都支持这一观点。通过对比分析宁夏六盘山林

区农田、草地与人工林(13a、18a和25a生华北落叶松)邻近样地土壤有机碳含量和密度,吴建国^[11]等也发现,农田造林后土壤有机碳含量和密度(主要是0~30cm土层)将增加。但也有研究发现造林降低了碳储量^[12]。目前较为一致的看法是,植被恢复过程中,土壤碳的动态过程受诸多因素影响,除主要受造林前土地利用方式,气候影响外,还和造林类型有关。本研究结果表明,植被恢复并没有引起预期的土壤碳蓄积,农田退耕后的两种植被恢复模式的碳含量都低于农田,导致了土壤碳的流失。一些研究认为,退耕地植被恢复后土壤碳储量通常在初期下降,然后才开始积累,开始积累的时间与研究地点有关,温带地区一般少于10a,而热带地区要晚一些,在土壤深层,碳开始积累的时间似乎更晚^[13]。本试验区各植被都于5a前在农田上自然恢复或营造,符合造林初期土壤碳下降这一规律。由于缺乏营造较久的时间序列,因此并不能说明几种植被类型土壤碳蓄积能力低于农田。

各退耕类型 SOC 含量在剖面方向上的变化趋势和已有的研究结果相符合,都随土层深度的增加而降低,但几种退耕类型对 SOC 随剖面深度分布的影响显著不同($p < 0.05$)。Jobbágy等^[14]认为全球范围内 SOC 随土壤深度的分布状况受植被类型的影响大于气候。Jackson^[15]总结了森林、草地、农田等有机碳垂直分布特征,发现森林植被下,有机碳的垂直分布层次比农田和草地明显。本研究发现退耕1a与退耕5a地有机碳含量随着土层加深而变化相对平缓,退耕造林地中有机碳含量随土层加深而明显递减。退耕1a在0~40cm土层土壤有机碳含量差异较大,退耕5a与退耕造林地在0~30cm土层差异较大。

Jackson等认为不同年限退耕地土壤有机碳含量与密度分布格局的差异与退耕地植被中的根系、以及在退耕地中的未分解完的植被的残留物密切相关^[15]。本研究结果显示土壤有机碳密度平均在4.78~8.05 kg/m²间,大小依次为退耕5a < 退耕10a < 退耕造林地 < 退耕1a。在不同土层深度,土壤容重不同,相应土壤有机碳密度在土壤剖面垂直分布也不同。退耕造林地土壤有机碳密度随土层加深而明显递减。

4.2 退耕地不同退耕年限土壤碳通量

本研究中,不同退耕类型的 RH 和 RA 年通量范围分别为 196.8~376.9 gC/(m²·a) 和 80.4~

153.9 gC/(m²·a),与大多数温带植被的研究结果相差不大,其 R_H 和 R_A 年通量变化范围分别为 310 ~ 692 gC/(m²·a) 和 122 ~ 663 gC/(m²·a)^[16]。虽然有研究报导 R_A 高于 R_H ,但在大部分陆地生态系统中, R_H 在很大程度上是土壤表面 CO₂ 通量的优势组成部分^[17]。Buchmann^[18] 对 47 ~ 146 a 生挪威云杉 (Pinus abies) 生态系统的研究报告,异养呼吸组分占土壤呼吸的比例 > 70%。绝大多数研究结果表明, R_H 所占土壤呼吸的比例波动在 50% ~ 68% 之间。本研究也发现退耕地的 R_H 和 R_A 年通量呈现出高于退耕造林地的趋势^[19]。这种差异可能由于生态系统的碳分配格局、凋落物产量以及凋落物的养分不同而造成的。

4.3 土壤有机碳周转时间

由于受气候、植被、土壤结构、土地利用方式和强度以及地形的影响,土壤有机碳的周转时间从 10 a (热带草原土壤)到 520 a (泥炭沼泽土壤)不等,其中温带森林为 29 a,全球平均为 32 a^[20]。Post 据土壤碳库量和每年植被的凋落物量粗略计算得出,全球土壤有机碳库的平均周转时间为 22 a,而进入地质碳循环的土壤碳的周转时间则可达几百万年甚至更长^[20]。本研究黑河中游退耕 5 a 和退耕 10 a 地的平均周转时间分别为 25 a 和 26 a,接近温带森林水平,而退耕造林地的土壤碳的周转时间高于全球平均水平,退耕 1 a 的土壤碳的周转时间则和世界平均水平持平。可能原因包括:1. 计算土壤碳库储量是所采用的土壤深度不同造成的;2. 不同研究所采用的根系呼吸贡献率有所不同。Raich^[21] 假定根系贡献率为 30%,本文测得的根系贡献率平均为 29%;3. 本研究区域所处纬度偏高,土壤温度偏低,故土壤微生物活动和分解作用也偏低,这也是造成周转时间随土壤深度而加大的主要原因之一;4. 凋落物作为不同生态系统的有机碳的主要来源,凋落物数量和化学成分不同,而且凋落物分解速率与土壤水分、地表温度正相关,这也会造成土壤碳转化率的差异,进而影响到土壤有机碳周转。

参考文献 (Reference)

- [1] Post W M, Peng T H, Emanuel W R, et al. The global carbon cycle [J]. American Scientist, 1990, 78: 310 - 326
- [2] Feng Q, Cheng G D and Mikami Masao. The carbon cycle of sandy lands in China and its global significance [J]. Climatic Change, 2001, 48: 535 - 549
- [3] Post W M, Kwon W M. Soil carbon sequestration and land use change: Processes and Potential [J]. Global Change Biology, 2000, 6: 317 - 327
- [4] Zeng Yongnian, Ma Zhenglong, Feng Zhaodong. Potential to sequestering carbon from atmosphere through rehabilitating desertified land in the head water of the Yellow River [J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(6): 671 - 675 [曾永年, 马正龙, 冯兆东. 高寒草地沙漠化土地固碳潜力分析——以黄河源区为例 [J]. 山地学报, 2009, 27(6): 671 - 675]
- [5] Zhang Wei, Zhang Hong. Spatial distribution characteristics of soil active organic carbon in three alpine meadows in eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(2): 205 - 211 [张伟, 张宏. 青藏高原东缘红原地区三种不同草甸土壤活性碳特征 [J]. 山地学报, 2008, 26(2): 205 - 211]
- [6] Tian H, Melillo J M, Kiehl D W, et al. The sensitivity of terrestrial carbon storage to historical climate variability and atmospheric CO₂ in the United States [J]. Tellus, 1999, 51B: 414 - 452
- [7] Me Guire A D, Siteh S, Dargaville R, et al. The effects of CO₂, climate and land-use on terrestrial carbon balance, 1920—1992: An analysis with four Process based ecosystem models [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, 15: 183 - 206
- [8] Yang Jinyan, Wang Chuankuan. Soil carbon storage and flux of temperate forest ecosystems in northeastern China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2875 - 2882 [杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳储量与碳通量 [J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2875 - 2882]
- [9] Craine J M, Wedin D A, Reich P B. The response of soil CO₂ flux to changes in atmospheric CO₂, nitrogen supply and plant diversity [J]. Global Change Biology, 2001, 7(8): 947 - 953
- [10] Raich J W, Schlesinger W H. The Global Carbon - Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relationship to Vegetation and Climate [J]. Tellus Series B - Chemical and Physical Meteorology, 1992, 44(2): 81 - 99
- [11] Wu Jianguo, Zhang Xiaoquan, Xu Deyang. Impact of land-use change on soil carbon storage [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, (4): 593 - 599 [吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳储量的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, (4): 593 - 599]
- [12] Li Zhengcai, Fu Maoyi, Xu Deyang, et al. Changes in Soil Organic Carbon after Bamboo Afforestation in Cropland [J]. Forest Research, 2006, 19(6): 773 - 777 [李正才, 傅懋毅, 徐德应, 等. 农田营造早竹林后土壤有机碳的变化 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 773 - 777]
- [13] Paul K I, P J Polglase, J G Nyakungama, et al. Changes in soil Carbon Following Afforestation [J]. Forest Ecology and Management, 2002, (168): 241 - 257
- [14] Jobbágy E G, R B Jackson. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecological Applications, 2000, 10: 423 - 436
- [15] Jackson R B, Banner J L, Jobbágy E G, et al. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands [J]. Nature, 2002, 418(6898): 623 - 626
- [16] Fang C, Moncrieff J B. A model for soil CO₂ production and trans-

- port 1: Model development [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 95 (4): 225 – 236
- [17] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48 (1): 115 – 146
- [18] Buchmann N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32 (11 – 12): 1625 – 1635
- [19] Kelting D L, Burger J A, Edwards G S. Estimating root respiration, microbial respiration in the rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30 (7): 961 – 968
- [20] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones [J]. *Nature*, 1982, 298: 156 – 159

Soil Organic Carbon Character to Vegetations Changing from Abandoned Farmlands in Plain before Mountain in Middle Part of Heihe River

CHANG Zongqiang¹, PEI Wen², FENG Qi¹, SU Yonghong¹

(1. *Laboratory of Watershed Hydrology and Ecology of Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *Management Bureau of Natural Reserve Region of Qilian Mountains, Zhangye 734000, China*)

Abstract: The paired plots with the same elevation and the soil type of the abandoned farmland (1 year after restored, 5 years after restored and 10 years after restored of the abandoned farmland) were selected as study objects in plain before mountain in middle part of Heihe River, Zhangye of Gansu, northwestern China. Based on the field survey, field orientation study and laboratory analyze and by means of comparison of difference of storage of organic carbon among different years after restored. The result indicate that the soil organic carbon (SOC) content for the 1 year after restored, 5 years after restored and 10 years after restored of the abandoned farmland and plantation of Populous is 16.89 gC/kg, 8.24 gC/kg, 8.56 gC/kg and 9.98 gC/kg, respectively; the mean SOC density was 8.05 kg/m², 4.78 kg/m², 5.02 kg/m² and 6.52 kg/m², respectively; and the mean SOC turnover time was 23, 25, 26 and 33 years, respectively. The soil surface CO₂ flux for cropland, plantation of Populous and rangeland was 530.8 gC/(m² · a), 316.9 gC/(m² · a), 266.1 gC/(m² · a) and 286.9 gC/(m² · a), respectively. The SOC content and the SOC density decreased with soil depth in specific vegetation types, where the SOC turnover time increased with soil depth.

Key words: soil organic carbon; soil surface CO₂ flux; turnover time; abandoned farmland

作者: 常宗强, 裴雯, 冯起, 苏永红, [CHANG Zongqiang](#), [PEI Wen](#), [FENG Qi](#), [SU Yonghong](#)
作者单位: 常宗强, 冯起, 苏永红, [CHANG Zongqiang](#), [FENG Qi](#), [SU Yonghong](#)(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所生态水文与流域科学重点实验室, 甘肃兰州, 730000), 裴雯, [PEI Wen](#)(甘肃省祁连山国家级自然保护区管理局, 甘肃张掖, 734000)
刊名: [山地学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 29(1)

参考文献(20条)

1. [Post W M;Peng T H;Emanuel W R The global caibon cycle 1990](#)
2. [Feng Q;Cheng C D;Mikarai Masao The caibon cycle of sandy lands in China and its global significance 2001](#)
3. [Post W M;Kwon W M Soil caibon sequestration and land use change:Processes and Potential](#)[外文期刊] 2000(3)
4. 曾永年;马正龙;冯兆东 高寒草地沙漠化土地固碳潜力分析——以黄河源区为例[期刊论文]-[山地学报](#) 2009(06)
5. 张伟;张宏 青藏高原东缘红原地区三种不同草甸土壤活性碳特征[期刊论文]-[山地学报](#) 2008(02)
6. [Tian H;Melillo J M;Kiekiighter D W The sensitivity of terrestrial carbon storage to historical climate variability and atmospheric CO2 in the United States](#)[外文期刊] 1999(2)
7. [Me Guire A D;Siteh S;Dargaville R The effects of CO2,elimate and land-use on terrestrial carbon balance,1920-992:Ananalysis with four Process based ecosystem models 2001](#)
8. 杨金艳;王传宽 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[期刊论文]-[生态学报](#) 2005(11)
9. [Craine J M;Wedin D A;Reich P B The response of soil CO2 flux to changes in atmospheric CO2,nitrogen supply and plant diversity](#)[外文期刊] 2001(08)
10. [Raich J W;Schlesinger W H The Global Carbon-Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relationship to Vegetation and Climate 1992\(02\)](#)
11. 吴建国;张小全;徐德应 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2004(04)
12. 李正才;傅懋毅;徐德应 农田营造早竹林后土壤有机碳的变化[期刊论文]-[林业科学研究](#) 2006(06)
13. [Paul K I;P J Polglase;J G Nyakuengama Changes in soil Carbon Following Afforestation 2002\(168\)](#)
14. [Jobbágy E G;R B Jackson The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation](#)[外文期刊] 2000(2)
15. [Jackson R B;Banner J L;Jobbagy E G Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands](#)[外文期刊] 2002(6898)
16. [Fang C;Moncrieff J B A model for soil CO2 production and transport 1:Model development](#)[外文期刊] 1999(04)
17. [Hanson P J;Edwards N T;Garten C T Separating root and soil microbial contributions to soil respiration t A review of methods and observations](#)[外文期刊] 2000(01)
18. [Buchmann N Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in Picea abies stands](#)[外文期刊] 2000(11 -12)
19. [Kelting D L;Burger J A;Edwards G S Estimating root respiration,microbial respiration in the](#)

[rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils](#)[外文期刊] 1998(07)

20. [Post W M;Emanuel W R;Zinke P J](#) [Soil carbon pools and world life zones](#)[外文期刊] 1982

本文读者也读过(5条)

1. [崔永琴](#), [马剑英](#), [刘小宁](#), [段争虎](#) [人类活动对土壤有机碳库的影响研究进展](#)[会议论文]-2010
2. [李跃林](#), [郎黎明](#), [张云](#), [林永标](#), [韦强](#), [LI Yuelin](#), [LANG Liming](#), [ZHANG Yun](#), [LIN Yongbiao](#), [WEI Qiang](#) [马占相思人工林土壤有机碳的异质性](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2007, 25(2)
3. [李志平](#), [苏印泉](#), [贺亮](#), [赵广贤](#), [JI Zhi-ping](#), [SU Yin-quan](#), [HE Liang](#), [ZHAO Guang-xian](#) [秦岭北坡几种人工林根系及土壤有机碳剖面分布特征的研究](#)[期刊论文]-[西北植物学报](#)2006, 26(10)
4. [胡启武](#), [欧阳华](#), [刘贤德](#), [HU Qiwu](#), [OUYANG Hua](#), [LIU Xiande](#) [祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征](#)[期刊论文]-[山地学报](#)2006, 24(6)
5. [刘彦平](#), [高俊峰](#), [LIU Yanping](#), [GAO Junfeng](#) [山西省怀仁县生态功能区划及生态保护对策](#)[期刊论文]-[林业资源管理](#)2010(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201101004.aspx