

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.04.015

喀斯特地区不同退耕类型对土壤碳氮的影响^①

张耀华^{1,2}, 王 勇¹, 张荣飞², 刘梅先²,
杨 娇², 罗 威², 徐超昊²

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院 亚热带农业生态研究所, 长沙 410125

摘要: 为探讨不同退耕模式对喀斯特峰丛洼地土壤碳氮特征的影响, 选取广西环江典型退耕类型样地进行有机碳、全氮特征研究, 结果表明: 不同退耕类型之间的土壤有机碳、全氮差异显著; 各退耕类型土壤有机碳和全氮都表现出随土层加深而逐渐降低趋势; 土壤有机碳和全氮线性拟合呈显著正相关, 表明退耕还林(草)显著提高了土壤有机碳、氮, 但在植被类型和人为活动的影响下土壤碳氮特征差异明显。

关键词: 退耕类型; 土壤有机碳; 土壤全氮; 喀斯特地区

中图分类号: S151.9+3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2017)04-0095-06

土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)是土壤养分重要的组成部分, 其质量和数量影响土壤的物理、化学、生物特征及其演变过程^[1], 并反映土壤质量, 是土壤质量评价的重要指标. 此外, 土壤作为陆地生态系统中最大的有机碳、氮库, 在全球碳和氮循环中具有重要地位^[2]. 研究证实, 土壤氮含量是决定土壤有机碳积累和分解的关键影响因子^[3], 土壤有机碳、氮的含量变化以及动态平衡不仅对土壤质量产生直接影响而且间接影响全球温室气体的增减, 进而影响全球变化^[4], 对土壤有机碳、氮影响因素的研究具有重要的现实意义.

我国喀斯特地区石漠化问题严重, 生态环境脆弱, 多数学者对作为重要土壤质量指标的土壤有机碳、氮开展了大量研究. 如廖洪凯等^[5]研究发现不同小生境下土壤碳氮含量差异明显; 张丽敏等^[6]研究发现保护性耕作具有明显的土壤固碳效应; 罗海波等^[7]、陈晨等^[8]研究了土壤有机碳在不同植被群落下变化特征; 袁海伟等^[9]、耿彩英等^[10]都研究了不同土地利用类型对土壤碳氮分布特征的影响. 这些研究内容多集中于不同植被类型或不同土地利用方式对土壤碳、氮影响差异等, 而对不同退耕类型下的研究相对较少且研究结论各有差异.

为此, 本研究选取广西环江典型退耕类型样地及对照耕地, 探讨了不同退耕类型土壤有机碳、氮差异性表现以及二者的关系, 旨在为喀斯特地区筛选出最佳的退耕还林类型, 为进一步研究退耕还林(草)促进生态恢复效果评价、科学利用和保护土地资源提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究选取的广西壮族自治区西北部环江毛南族自治县内 2 个实验区, 分别位于中国科学院环江喀斯

① 收稿日期: 2016-02-28
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(Y511415110); 中国科学院“百人计划”项目(Y323025111).
作者简介: 张耀华(1990-), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事第四纪地质学的研究.
通信作者: 王 勇, 副教授.

特生态系统观测研究站和下南乡古周村,均属于典型的喀斯特峰丛洼地.中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站(108°18′56.9″—108°19′58.4″E, 24°43′ 58.9″—24°44′ 48.8″N)属于亚热带季风气候区,多年平均气温 19.9℃,多年平均降水量 1 389.1 mm.研究区地势起伏较大,海拔高度为 272.0~647.2 m.研究区垦荒后经长期自然恢复和植树种草,形成不同的草丛、草灌丛及各种次生林群落.

下南乡古周村(107°55′ E, 24°50′ N)最低海拔 376 m,最高海拔 816 m,属于亚热带季风气候,多年平均气温 16.5~20.5℃,多年平均降雨量为 1 389.1 mm,雨季平均持续 130~140 d,主要集中在 4 月至 9 月.目前草地封育 8~15 a,为退耕后形成;灌木林封育 20~30 a,至今仍偶有砍伐;次生林封育 40~50 a,砍伐较少.

1.2 实验方法概述

在野外调查的基础上,本研究于 2014 年 6 月在 2 个研究区内选取自然退耕、枇杷林、任豆、香椿、牧草、柑橘、板栗、任豆+牧草等 7 种典型的退耕类型样地并以耕地作为对照,尽量选择海拔和坡位、坡向相近样地(表 1).每个类型样地各设置 2 个 10 m×10 m 标准样地,按照“S”取样法,清除地表枯枝落叶后用土钻在各样地内 10 cm 间隔分层(0~10 cm, 10 cm~20 cm, 20 cm~30 cm)取样,共采集 265 个土样.土壤样品自然风干,挑出石砾和凋落物及残根,研磨过筛.有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法(油浴)测定,全氮用实验室碳氮元素分析仪测定.

表 1 不同退耕类型样地概况

	退耕年限/a	坡位	坡度/°	海拔/m
自然退耕	15	中坡	25	410
枇杷林	12	中坡	22	327
任豆林	12	中坡	25	385
香椿林	12	中坡	18	381
牧草地	12	中坡	15	387
柑橘地	13	中坡	23	334
任豆+牧草	13	下坡	18	356
耕地	未退耕	下坡	11	379

1.3 统计方法概述

采用 SPSS 16.0 软件对实验数据进行分析处理,选择单因素方差分析(One-way ANOVA)对不同退耕类型土壤有机碳、全氮指标均值进行差异显著性检验,对 SOC,TN 和 C/N 进行相关性分析,origin 8.0 作图.

2 结果和分析

2.1 不同退耕类型表层土壤 SOC,TN 差异

对 8 种典型样地表层土壤(0~10 cm)分析可以看出(表 2),不同退耕类型之间表层土壤有机碳、全氮质量分数差异明显.自然退耕地的土壤有机碳和全氮均为最高,分别为 49.87 g/kg 和 2.66 g/kg,与其他样地差异有统计学意义;耕地表层土壤有机碳、全氮质量分数均最低值分别为 9.87 g/kg 和 1.35 g/kg.有机碳质量分数对比中除柑橘、任豆+牧草与耕地差异无统计学意义($p>0.05$)外,其他样地与耕地差异均具有统计学意义($p<0.05$).全氮质量分数对比中,只有任豆+牧草和耕地差异无统计学意义($p>0.05$),其他样地与耕地差异均具有统计学意义($p<0.05$).这一结果表明,退耕还林后随着各样地自然植被的恢复,地表枯落物增加,土壤有机碳、氮都不断积累得到显著提升.

表 2 表层土壤有机碳、氮质量分数

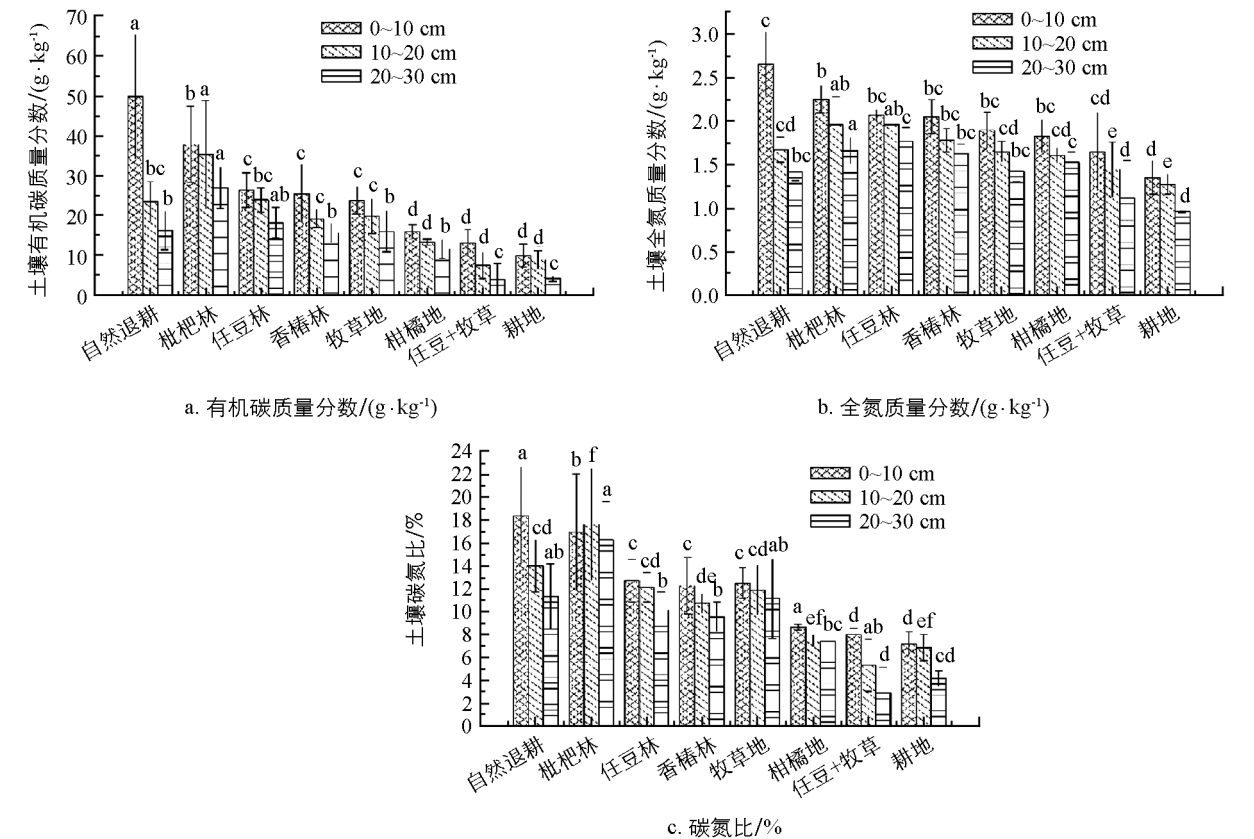
退耕模式	样本数量	有机碳/(g·kg ⁻¹)			全 氮/(g·kg ⁻¹)		
		最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
自然退耕	35	75.53	15.76	49.87±15.67b	3.43	2.16	2.66±0.37c
枇杷林	20	59.5	29.86	37.92±9.58d	2.50	2.03	2.25±0.16b
任豆林	20	31.73	22.29	26.38±4.36a	2.14	2.00	2.07±0.06ab
香椿林	20	38.05	19.31	25.47±7.28a	2.36	1.78	2.05±0.19ab
牧草地	110	32.12	17.46	23.72±3.43a	2.55	1.64	1.9±0.20ab
柑橘地	20	18.85	14.15	15.85±1.81c	2.14	1.67	1.83±0.19ab
任豆+牧草	20	17.78	9.23	13.08±3.29c	2.45	1.26	1.65±0.45ad
耕地	20	14.38	7.5	9.87±2.89c	1.64	1.17	1.35±0.19d

注：同列不同字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。

2.2 不同退耕类型 SOC,TN 的垂直分布特征

由图 1 可看出,不同退耕类型的土壤有机碳、氮质量分数在不同深度差异明显.各样地土壤不同土层内的有机碳质量分数均随剖面深度增加而减小,表现出明显的表聚性且各样地有机碳质量分数在不同层位均普遍高于耕地.自然退耕土壤表层有机碳质量分数由表层到底层降幅达 33.73 g/kg,在所有样地中降幅最大,柑橘地降幅最小仅为 4.40 g/kg.

土壤全氮质量分数在垂向分布上与有机碳相似.所有样地中除耕地外,其他各样地全氮质量分数都随土层加深而减小.各样地表层全氮质量分数为剖面均值的 1.07~1.39 倍,不同样地表层土壤全氮质量分数分别为 2.66~1.39 g/kg,10~20 cm 土层为 1.96~1.27 g/kg,20~30 cm 土层为 2.06~1.96 g/kg,不同样地在不同土层降幅也各不相同.



不同字母代表相同土层不同退耕还林(草)地在 $p<0.05$ 水平上差异显著。

图 1 不同退耕还林地土壤剖面有机碳、全氮、碳氮比

2.3 不同退耕类型土壤碳氮比

土壤碳氮比值(C/N)是衡量土壤 C,N 营养平衡状况的指标,它的演变趋势对土壤碳、氮循环有重要影响^[11]. 在一定程度上,土壤氮素的水平会影响土壤中有机碳的含量^[12].

如图 1,单就表层土壤 C/N 来看,各退耕样地之间差异明显且都高于耕地,自然退耕 C/N 最高,为 18.42,耕地最低,为 7.19. 因为退耕后的土地植被凋落物增多,土壤有机质增加,C/N 较高,耕地因频繁的人类活动加速土壤有机碳的分解释放,C/N 最低. 由图 1-c 可看出,除枇杷林在 10~20 cm 土层 C/N 升高外,其他样地 C/N 都随土层加深而减小. 随着土层加深,各样地从表层到底层均呈现出不同的变化幅度,说明不同退耕类型的土壤 C/N 受土层的影响明显不同.

3 讨 论

3.1 不同退耕类型对 SOC,TN 的影响

土壤中有有机物质的输入量以及有机碳、氮的矿质化作用的强弱决定了土壤有机碳和全氮质量分数的差异. 本研究中,各退耕样地与耕地相比,有机碳、氮质量分数均明显提高且各退耕样地之间差异显著,此结果与前人^[13-14]研究结果一致. 其中自然退耕地土壤有机碳、氮质量分数最高,和其他退耕地相比差异有统计学意义,对有机碳、氮积累效果更为明显. 原因是其他退耕地均为人工林草地,群落结构相对单一,凋落物量较少,而自然退耕地中物种丰富多样,凋落物层次明显且特性各异分解速度不同^[15],利于凋落物的积累. 耕地则因人为收获地表植物减少土壤有机质的输入,加上长期的耕作活动加速了土壤有机质的分解,造成土壤有机碳、全氮质量分数均为最低.

不同退耕类型下,土壤有机碳、氮的垂直分布均随土层深度增加而呈现递减趋势,这一明显的表聚现象与前人研究结果一致^[16-17]. 因为植被凋落物主要集中在表层,经微生物分解向表层土壤释放大量营养物质,使表层有机碳、氮不断积累^[18]. 而随着土层深度的增加,水分和营养物质向下输送受到限制,微生物分解的活性减弱,从而导致土壤有机碳、氮质量分数减少. 不同退耕样地之间土壤有机碳、氮在不同层位降低幅度也不相同,这种垂直分布的差异主要受植被类型影响,因为植被类型决定进入土壤的有机物性质与剖面分布,进而影响土壤有机碳与全氮的垂直分布^[19-20].

3.2 不同退耕类型对土壤有机碳和全氮关系的影响

土壤全氮与土壤有机碳的消长趋势是一致的,土壤氮素在一定程度上决定有机碳的质量分数,而土壤对碳的固持常常受土壤氮水平的制约^[21]. 本研究中,对有机碳和全氮进行线性回归分析发现(表 3),各退耕样地有机碳和全氮都成正相关关系,表明全氮质量分数随有机碳质量分数的增长而增长且二者具有高度依附性. 不同的相关系数说明不同样地相关性强弱各异,其中耕地、自然退耕和柑橘地均较高,枇杷林最低. 土壤碳氮比是土壤质量的敏感指标,通常被认为是土壤氮素矿化能力的标志^[22]. 土壤 C/N 的差异反映了土壤有机质组成的差异^[23],本研究中不同退耕类型土壤 C/N 差异有统计学意义,各退耕样地均高于耕地. 因为退耕后的土地有机质输入量提升,但不同退耕地受植被类型、土壤质地等因素的影响,C/N 差异明显. 耕地则因作物收割以及翻耕等人类活动的影响,有机质输入量少且分解较快,致使 C/N 最低. 一般认为碳氮比在 15~25 之间时,有机质供肥状况优越^[24],碳氮比较小时,土壤微生物分解活动增强而使土壤有效养分增加^[25]. 本研究中自然退耕、桃树和枇杷林的 C/N 介于 16.98~18.95 之间,表明土壤有机质的矿质化和腐殖化作用明显,有机质供肥状况优越,其余各样地土壤 C/N 介于 7.19~12.72 之间,表明土壤有机质较易分解,氮素的矿质化作用明显,虽然能释放更多的有效态氮,但也容易造成氮素的大量流失.

表 3 不同退耕类型下有机碳、全氮的回归分析

退耕类型	回 归 方 程	R^2	退耕类型	回 归 方 程	R^2
自然退耕	$y=0.032x+0.952$	0.907**	牧草地	$y=0.034x+0.985$	0.553**
枇杷林	$y=0.016x+1.469$	0.268*	柑橘地	$y=0.068x+0.731$	0.853**
任豆林	$y=0.029x+1.277$	0.743**	任豆+牧草	$y=0.062x+0.902$	0.511**
香椿林	$y=0.034x+1.144$	0.768**	耕地	$y=0.063x+0.723$	0.975**

注: ** 表示达到极显著水平; * 表示达到显著性水平.

本研究中不同退耕类型下, 土壤 C/N 都随土层深度的增加而减小, 这与前人等^[13, 26-27]研究结果一致, 且不同样地土壤 C/N 降幅差异明显, 说明不同退耕类型的土壤 C/N 受土层的影响明显不同. 分析原因, 一方面植被类型决定进入土壤的有机物性质与剖面分布, 导致不同退耕样地在不同深度土壤有机质组成存在差异, 另一方面可能是深层土壤氮矿化速率较高, 使得无机态氮占全氮的比例较表层土壤有所提高^[28].

4 结 论

喀斯特地区不同退耕类型下土壤有机碳、氮质量分数和耕地相比均显著增加, 表明退耕还林(草)对土壤碳、氮库积累效果明显. 不同退耕类型之间土壤碳、氮质量分数特征差异明显, 其中自然退耕显示出对土壤碳、氮的最佳积累效果. 不同退耕类型下, 土壤有机碳、氮均随土层深度增加而减小, 但降幅各异, 体现了不同植被恢复类型对土壤碳、氮垂向分布影响各异. 对有机碳和全氮的相关分析表明二者具有高度依附性. 综上所述, 退耕还林(草)对喀斯特地区土壤碳、氮库的固持作用显著, 但不同的退耕类型效果各有差异, 因此在今后的生态恢复中应选择适当的植被恢复方式并尽量减少人为活动的干预.

参考文献:

- [1] PRIESS J A, DE KONING G H J, VELDKAMP A. Assessment of Interactions Between Land Use Change and Carbon and Nutrient Fluxes in Ecuador [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 85(1): 269—279.
- [2] ESWARAN H, VAN DEN BERG E, REICH P. Organic Carbon in Soils of the World [J]. *Soil science society of America journal*, 1993, 57(1): 192—194.
- [3] LUO Y, SU B O, CURRIE W S, et al. Progressive Nitrogen Limitation of Ecosystem Responses to Rising Atmospheric Carbon Dioxide [J]. *Bioscience*, 2004, 54(8): 731—739.
- [4] DAVIDSON E A, TRUMBORE S E, AMUNDSON R. Biogeochemistry: Soil Warming and Organic Carbon Content [J]. *Nature*, 2000, 408(6814): 789—790.
- [5] 廖洪凯, 龙 健, 李 娟, 等. 西南地区喀斯特干热河谷地带不同植被类型下小生境土壤碳氮分布特征 [J]. *土壤*, 2012, 44(3): 421—428.
- [6] 张丽敏, 何腾兵, 徐明岗, 等. 保护性耕作下南方旱地土壤碳氮储量变化 [J]. *土壤与作物*, 2013(3): 112—116.
- [7] 罗海波, 刘 方, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化地区不同植被群落的土壤有机碳变化 [J]. *林业科学*, 2009, 45(9): 24—28.
- [8] 陈 晨, 高 明, 郑杰炳, 等. 缙云山不同森林植被下土壤理化性状研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2010, 32(3): 88—92.
- [9] 袁海伟, 苏以荣, 郑 华, 等. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(10): 1579—1584.
- [10] 耿彩英, 高 明, 陈 晨. 土壤有机碳对土地利用方式变化的响应 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(11): 125—130.
- [11] 齐雁冰, 黄 标, 顾志权, 等. 长江三角洲典型区农田土壤碳氮比值的演变趋势及其环境意义 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(1): 50—56.
- [12] 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*, 2002, 22(3): 220—228.
- [13] 唐夫凯, 周金星, 崔 明, 等. 典型岩溶区不同退耕还林地对土壤有机碳和氮素积累的影响 [J]. *北京林业大学学报*, 2014, 36(2): 44—50.
- [14] 马玉红, 郭胜利, 杨雨林, 等. 植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响 [J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 97—105.
- [15] 黄 耀, 沈 雨, 周 密, 等. 木质素和氮含量对植物残体分解的影响 [J]. *植物生态学报*, 2003, 27(2): 183—188.
- [16] 丁访军, 潘忠松, 周凤娇, 等. 黔中喀斯特地区 3 种林型土壤有机碳含量及垂直分布特征 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(1): 161—164.
- [17] 周志文, 潘剑君, 居为民, 等. 神农架不同坡位 3 种林型土壤碳氮比分布特征 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(4): 210—217.
- [18] 王 峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 不同类型茶园土壤有机碳, 氮剖面分布特征 [J]. *福建农业学报*, 2014, 29(9): 891—897.

- [19] 李鸿博, 史 锟, 孙咏红. 三种林下土壤浅剖面有机碳含量研究 [J]. 生态学杂志, 2006, 24(10): 1230—1233.
- [20] JOBBÁGY E G, JACKSON R B. The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation [J]. Ecological Applications, 2000, 10(2): 423—436.
- [21] 梁启新, 康 轩, 黄 景, 等. 保护性耕作方式对土壤碳、氮及氮素矿化菌的影响研究 [J]. 广西农业科学, 2010, (1): 47—51.
- [22] ELLERT B H, BETTANY J R. Calculation of Organic Matter and Nutrients Stored in Soils Under Contrasting Management Regimes [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1995, 75(4): 529—538.
- [23] 化党领, 介晓磊, 张一平, 等. 有机肥对石灰性土壤肥力属性的长期影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1053—1057.
- [24] 文启孝, 杜丽娟, 张晓华, 等. 土壤有机质研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1984: 256—271.
- [25] MAZZARINO M J, BERTILLER M B, SAIN C, et al. Soil Nitrogen Dynamics in Northeastern Patagonia Steppe Under Different Precipitation Regimes [J]. Plant and Soil, 1998, 202(1): 125—131.
- [26] 袁海伟, 苏以荣, 郑 华, 等. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1579—1584.
- [27] 张彦军, 郭胜利, 南雅芳, 等. 黄土丘陵区小流域土壤碳氮比的变化及其影响因素 [J]. 自然资源学报, 2012(7): 1214—1223.
- [28] FU-SHENG C, DE-HUI Z, NARAIN S A, et al. Effects of Soil Moisture and Soil Depth on Nitrogen Mineralization Process Under Mongolian Pine Plantations in Zhanggutai Sandy Land, PR China [J]. Journal of Forestry Research, 2005, 16(2): 101—104.

Effects of Different Types of Reforestation on Characteristics of SOC and TN in Karst Areas

ZHANG Yao-hua^{1,2}, WANG Yong¹, ZHANG Rong-fei²,
LIU Mei-xian², YANG Jiao², LUO Wei², XU Chao-hao²

1. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

Abstract: To investigate the effects of different types of reforestation on the characteristics of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) in karst peak-cluster depressions, SOC and TN concentrations of soil samples collected from seven typical types of returned farmland sites in Huanjiang County of Guangxi Autonomous Region were studied. The results showed that the contents of SOC and TN were both significantly different among the types of returned farmland, the surface soil SOC and TN contents of natural restoration were both highest while those of the cultivated land were lowest. SOC and TN contents tended to decrease with increasing soil depth. Linear regression revealed that SOC was in significant positive correlation with TN. Generally, SOC and TN contents increased dramatically by reforestation but showed obvious difference which was influenced by vegetation types and human disturbance.

Key words: restoration types; soil organic carbon (SOC); total soil nitrogen (TN); karst region

责任编辑 胡 杨

