

喀斯特石漠化过程中的土壤物理组分有机碳氮研究

卢红梅¹, 王世杰²

(1. 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 以贵州省花江峡谷区典型喀斯特石漠化小流域为研究区域, 对潜在、轻度、中度、强度石漠化等级样地代表性土壤物理组分有机碳氮进行了研究。结果表明, 石漠化过程中土壤轻组和颗粒组分有机碳和全氮含量都高于矿质组分, 轻组和颗粒组分的 C/N 值都高于全土; 轻组、颗粒和矿质组分的有机碳氮含量随石漠化程度的增加而降低, 与石漠化过程有一致性, 颗粒组分数量和有机碳氮分配比例还与石漠化等级有同步性, 而轻组组分数量和有机碳氮分配比例与石漠化等级没有同步性; 轻组和颗粒组分中有机碳和氮的富集系数和分配比例不一致, 在石漠化过程中轻组和颗粒组分 SOC 的下降明显快于氮; 樵采石漠化的颗粒组分主要是有机质与黏粉粒结合成的有机无机复合体, 其中的有机质易被保护; 开垦石漠化中的颗粒组分大部分都是有机质与砂粒的结合, 其中有机质腐殖化程度低, 易被分解。

关键词: 喀斯特石漠化; 土壤物理组分; 颗粒组分有机碳; 轻组分有机碳; 花江峡谷

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0050-06

中图分类号: S153. 6

Soil Organic Carbon and Total Nitrogen of Soil Physical Fraction in the Process of Karst Rocky Desertification

LU Hong-mei¹, WANG Shi-jie²

(1. *The Provincial Key Laboratory of Engineering and Bio-Pharmacy, Guiyang, Guizhou 550002, China;* 2. *State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China*)

Abstract: The research area is a typical karst catchment subject to rocky desertification in Huajiang Gorge, Guizhou Province. One representative soil sample was collected in each plot of strong, medium, light, or latent desertification grade. The research focused on soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN) of physical fraction in the processes of rocky desertification. Results elucidated that the particulate organic carbon and nitrogen (POC and PON) and light fraction organic carbon and nitrogen (LFOC and LFON) were higher than the mineral fraction in the process of rocky desertification. The C/N values of particulate fraction and light fraction were higher than those of total soil. The contents of POC, PON, LFOC, and LFON decreased with the increase of rocky desertification grade. The content of particulate fraction and distribution ratio acted in accord with rocky desertification grade, while the above index of light fraction did not act in accord with rocky desertification grade. The enrichment and distribution ratios of POC and PON, as well as LFOC and LFON, were not the same. The decrease of POC and LFOC was faster than that of PON and LFON in the process of rocky desertification. Most POC in wood chopping sequence integrated with silt-clay particle to form organic-inorganic complex, with the integration way POC was protected and was difficult to decompose by microbe, while most POC in reclamation sequence integrated with sand particle, with this kind of integration way SOC tended to be in a low humic degree and to be decomposed by microbe easily.

Keywords: karst rocky desertification; soil physical fraction; particulate organic carbon; light fraction organic carbon; Huajiang Gorge

收稿日期: 2008-07-09

修回日期: 2009-02-03

资助项目: 贵州大学博士基金(X065010); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306); 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200); 国家基金委创新研究群体科学基金项目(40721002)项目联合资助

作者简介: 卢红梅(1967—), 女(汉族), 重庆市忠县人, 博士, 教授, 主要从事工业微生物、生物地球化学研究。E-mail: hongmeilu0826@126.com.

对土壤有机碳组分的研究早就是土壤学研究的一项内容,这对认识土壤有机质化学结构起到很大作用,但是不能描述有机碳在土壤结构中的分布,而且化学浸提可能改变有机碳某些化学性质^[1]。物理分组方法包括对土壤有机质密度分组和大小分组。由于物理分组方法对有机质结构破坏程度极小,分离的有机碳组分能够反映原状有机质结构与功能,尤其反映有机质周转特征^[2],所以这种方法在土壤有机碳的研究中受到更多的重视。其中轻组组分有机质包括游离腐殖酸和植物残体及其腐解产物等,周转期为数月到几年,它代表了易分解的土壤有机质^[3]。用化学试剂分散后再按大小分组的方法分出颗粒组分和矿质组分。一般认为颗粒组分(颗粒大小在 53~2 000 μm 之间)中的有机质包含团聚体间和团聚体内的有机质,分解活性介于轻组组分有机质和腐殖化有机物之间^[4];矿质组分(颗粒直径 $< 53 \mu\text{m}$)是指有机物的最终分解产物与土壤黏粉粒结合在一起的部分,其中有机质的腐殖化程度高,分解活性最低。

Cambardella 和 Elliott^[5]的研究证明,土地管理方式影响最明显的是轻组和颗粒组分有机质,这一部分是自然土壤肥力的决定因素。同位素¹⁴C 方法对土壤有机质物理组分研究表明,土地利用变化主要影响的是土壤有机碳组分中分解相对快的部分,即轻组有机碳和颗粒有机碳^[6,9]。因此,用物理方法分离土壤有机质不同组分,对于准确评价土地退化对土壤碳过程的影响具有重要意义,有利于揭示石漠化形成过程中土壤退化的机理。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集和测定方法

1.1.1 采样方法 对花江查耳岩小流域内 17 个样地采小生境土壤面积权重样,采样前先对设置样地划分小生境类型,由面积权重确定各类小生境土样量,而各类小生境土样由以面积权重确定的同类小生境样品量的混合,小生境土样则由多点混合样组成,一般每个小生境土样为 3~5 点表层土(0~15 cm)的混合样,面积和异质性大的小生境应为 5~8 点的混合。土样采集前,先除去未腐解和半腐解的枯落物。

1.1.2 土壤样品处理 新鲜土样带回实验室,待土壤样品风干后,用四分法取一部分,检出石砾和可见的植物根或碎片,经研磨制备 2 mm 的土样。

1.1.3 土壤物理组分的分离和测定方法

(1) 颗粒和矿质组分分离。取研磨过 2 mm 孔径土壤筛的干土 20.0 g,把土样放在 100 ml 焦磷酸钠(NaPO_3)₆(5 g/L)的水溶液中,先用手摇匀,再用震荡

器(90 r/min)震荡 18 h。把土壤悬液过 53 μm 筛,反复用蒸馏水冲洗,留在筛子上的部分为大于 53 μm 的颗粒组分,其所含有机碳为颗粒组分有机碳(POC),洗下的部分为小于 53 μm 的矿质组分,其所含有机碳为矿物结合态有机碳(MOC),将颗粒和矿质部分用 10% 的盐酸除去碳酸盐,再用滤纸分离,在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干,称量,计算这些部分占除碳酸盐后土壤样品质量的比例即为颗粒和矿质组分的数量^[11]。

(2) 轻组组分分离。取研磨过 2 mm 孔径土壤筛的干土 10.0 g,把土样放在 30 ml 1.6 g/cm³ 聚钨酸钠溶液中,用手摇匀,静置 5~10 min,把土壤悬液吸出经滤纸过滤,同上用聚钨酸钠溶液处理 3 次,最后一次用超声波处理 1 min,吸出悬液,过滤,滤纸上的部分即为轻组组分,其所含有机碳为轻组组分有机碳(LFOC),用蒸馏水洗去滤纸上部分聚钨酸钠,用 10% 的盐酸除去碳酸盐,将滤纸及其上样品在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干,称量,计算这些部分占除碳酸盐后土壤样品质量的比例即为轻组组分的数量^[11]。

(3) 物理组分有机碳和全氮的测定。分离的烘干样品需检出可见植物碎片或根系,研磨过 0.25 mm 筛,在元素分析仪上测样品有机碳和全氮含量。

1.2 数据处理

数据处理用 Excel,采用 Origin Pro. 7.5 软件进行绘图。

2 结果分析

2.1 有机碳和全氮在土壤物理组分中的含量

石漠化过程中土壤物理组分有机碳和全氮含量差异明显(图 1, 2),表现为轻组组分 $>$ 矿质组分,颗粒组分 $>$ 矿质组分,轻组组分的有机碳和全氮含量是矿质结合组分的 1.1~4.9 倍和 0.9~5.6 倍,颗粒组分的有机碳和全氮含量是矿质结合组分的 1.3~3.9 倍和 1.1~4.3 倍。

图 1, 2 在石漠化过程中,除矿质组分外,轻质和颗粒组分有机碳氮含量的变化与全土有机碳氮含量的变化一致,轻质和颗粒组分有机碳氮含量在石漠化等级间的变异性几乎都大于全土。樵采和开垦石漠化过程随石漠化程度的增加,颗粒和轻组组分有机碳和全氮含量都呈降低趋势,与石漠化过程有一致性;轻度与潜在樵采间的 POC 和 LFOC 含量接近,中度和强度樵采的 POC 和 LFOC 的降低明显;开垦序列中,03, 05 样地组不同等级石漠化样地土壤 POC 含量 LFOC 差异不明显,但与潜在开垦相比有显著的降低;PTN, LFTN 在石漠化过程中的变化与 POC, LFOC 类似,潜在开垦(样地 028)的 LFTN 偏

低,可能与该样地曾经被火烧过,土壤内残留焦炭有关;MOC, MTN 在石漠化过程中有降低的趋势,但石漠化等级间的差异没有颗粒和轻组组分有机碳氮的明显。

强度樵采石漠化的土壤有机碳、氮含量和矿质组分有机碳氮含量都比潜在开垦石漠化的高得多,虽然强度樵采石漠化土壤轻组和颗粒组分的全氮含量几乎都比潜在开垦石漠化的高,但某些潜在开垦(如 005 样地)轻组和颗粒组分的有机碳含量却高于强度樵采,部分高于中度樵采,这说明土壤活跃碳库除受土壤碳库的影响外,还受植被生物量的影响,而轻组和颗粒组分的全氮含量主要受土壤有机质的影响。

C/N 比是有机物腐殖化程度的一个指标,C/N 比值越高,表明有机物的腐解程度就越低^[12]。各物理组

分中 C/N 值比表现为(图 3),轻组组分>全土、颗粒组分>全土,反映颗粒和轻组组分中有机残体的影响较大,028 样地的轻组组分碳氮比达 17.78,与其焦炭含量有关,开垦序列颗粒组分的 C/N 明显高于樵采序列,说明开垦序列有机质的腐殖化程度低于樵采序列,更易被微生物降解。矿质组分 C/N 值普遍较低,与矿质组分结合较多腐殖化程度高的有机质有关。在土壤物理组分 C/N 值与石漠化演变的关系中,随着石漠化程度的增加,轻质和颗粒组分的 C/N 比表现出下降的趋势,与全土 C/N 的变化一致,矿质组分的 C/N 在石漠化过程中没有明显的变化规律。这一结果反映出在石漠化演变中,植被生物量对土壤碳行为有明显影响,全土 SOC 的下降明显快于氮是受轻组和颗粒组分 SOC 的下降明显快于氮的影响所致。

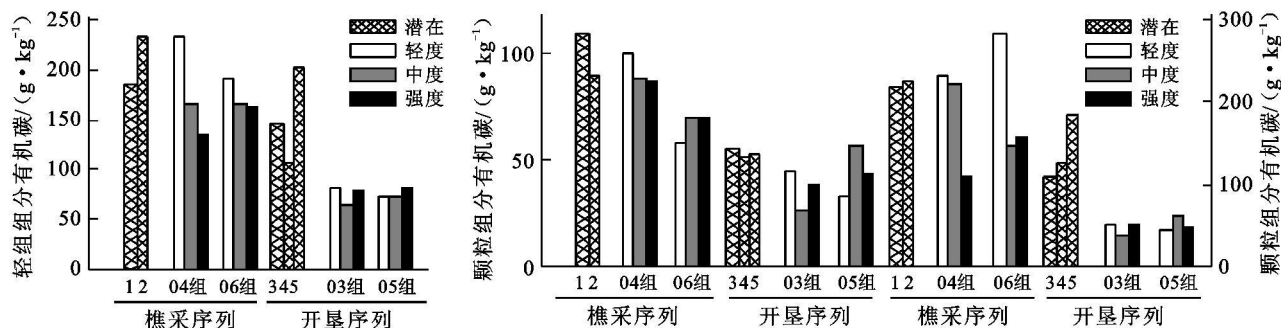


图 1 石漠化过程中土壤物理组分有机碳含量变化

注:图中数字 1, 2, 3, 4, 5 分别表示潜在样地 0531, 0051, 028, 053, 005, 下同

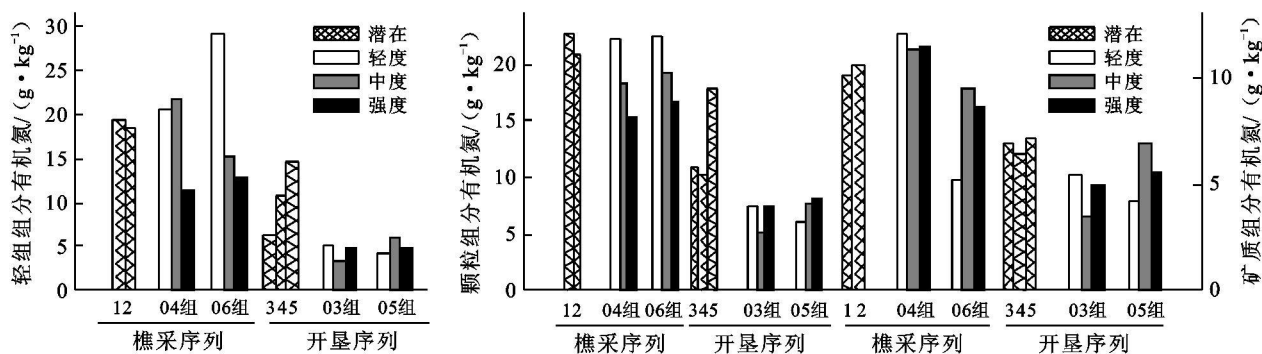


图 2 石漠化过程中土壤物理组分全氮含量变化

2.2 有机碳和全氮在土壤物理组分中的富集系数

将组分在某粒组颗粒中含量与其土壤含量之比称为该组分的颗粒富集系数^[2],土壤有机碳、全氮的富集系数代表了该组分对有机碳和氮保持的强度指标。比较表 1 中物理组分有机碳和全氮的富集系数,矿质组分几乎都小于 1(范围在 0.31~1.08 之间),颗粒组分都大于 1(范围在 1.08~2.28 之间),显示颗粒组分对有机碳和氮较强的富集作用;轻组组分的富集系数变化较大,其中有机碳的富集系数除个别值外都大于 1(范围在 0.93~2.08 之间),全氮的富集

系数超过半数的样品都小于 1(范围在 0.73~1.74 之间),与之对应的轻组有机碳的富集系数也普遍小于其它石漠化等级;这一结果反映出,在石漠化的演变中,颗粒和部分轻组组分对有机碳氮有强的保持作用;土壤物理组分有机碳和氮的富集系数在石漠化过程中没有明显变化规律,只是开垦石漠化的颗粒组分有机碳富集系数大都大于樵采石漠化。

2.3 有机碳和全氮在土壤物理组分中的分配

土壤物理组分中有机碳或全氮含量与该组分数量的乘积,称为有机碳或全氮的土壤物理组分量,

它是土壤物理组分保持有机碳或全氮的容量指标, 以土壤物理组分分量值除以土壤有机碳或全氮含量, 可以得到各物理组分有机碳或全氮的分配比例^[14]。石漠化过程中土壤颗粒和轻组组分数量的变化见图 4, 樵采序列中, 潜在样地土壤颗粒数量明显高于样地组不同石漠化等级样地土壤, 石漠化过程中颗粒数量有明显的下降趋势; 开垦序列中, 除 028 潜在样地土壤颗粒数量较低外, 其余潜在样地都明显高于样地组不同等级石漠化样地土壤, 样地组内石漠化过程中颗粒数量下降无规律性; 樵采序列样地土壤颗粒数量都高于开垦序列样地土壤。轻组组分数量除樵采序列两样地土壤突出的高外, 其余樵采和开垦序列样地间的差异不是很大, 在石漠化过程中的变化也没有规律性。轻组和颗粒组分有机碳分配比例反映这个组分有机碳和氮的相对数量。Garten 等(1999)发现 POC 的分配比例变化范围在 11%~44%。本项研究表明(图 5), 不同石漠化土壤 POC, 氮的分配比例在

17.1%~83.6%和 3.6%~89.4%, POC 的分配比例范围高于 Biederbeck^[15] 等的结果(7%~32%之间); 轻组有机碳和氮的分配比例在 9.8%~58.4%和 6.5%~47.0%, 比颗粒有机碳和氮的分配比例低得多。通常存在于黏土矿物-有机质复合体中的有机碳占土壤全碳的 18%~91%, 质地黏重的石灰土中很容易形成黏土矿物-有机质复合体, 再进一步聚集成大于 53 μm 的颗粒而保存大量有机质。石漠化过程中, 随着石漠化程度的增加, 樵采和开垦石漠化 POC、氮的分配比例降低, 与石漠化等级有很好的对应关系, 这也说明石漠化过程中土壤有机碳氮含量的降低, 减少了土壤团粒结构, 不利于有机碳氮和养分的长期积累。

轻组有机碳氮的分配比例在石漠化过程中有下降趋势, 但与石漠化等级无对应关系; 潜在开垦 005 的轻组有机碳氮的分配比例高于许多樵采序列的样地, 与植被生物量的影响分不开。

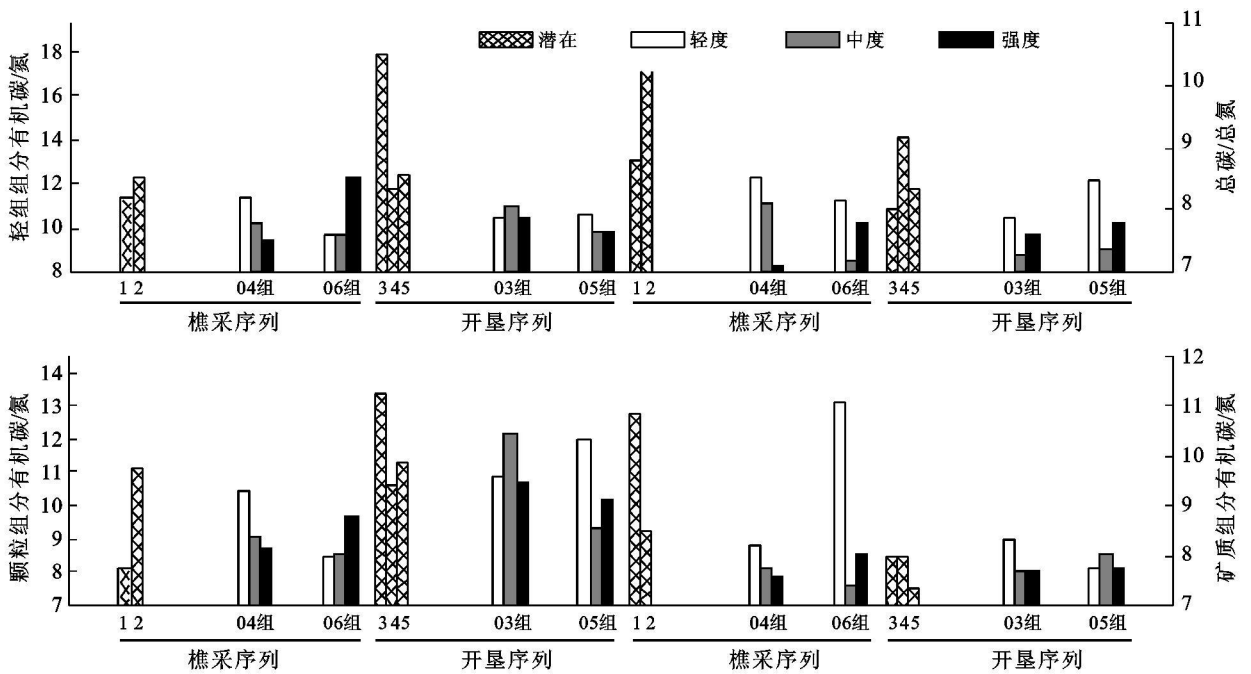


图 3 石漠化过程中土壤物理组分 C/N 值变化

表 1 石漠化过程中土壤物理组分对有机碳和全氮的富集系数

石漠化等级	样地号	潜在(樵采)			04 样地组			06 样地组(樵采)			潜在(开垦)			03 样地组(开垦)			05 样地组(开垦)		
		0531	0051		轻度	中度	强度	轻度	中度	强度	028	053	005	轻度	中度	强度	轻度	中度	强度
轻组	LFOC	1.54	1.47		1.36	1.62	1.23	2.07	1.4	1.42	1.7	1.69	2.08	1.07	1.26	1.06	1.01	1.15	0.93
	LFTN	1.19	1.24		1.01	1.29	0.92	1.74	1.05	0.9	0.77	1.31	1.39	0.81	0.84	0.77	0.81	0.86	0.73
颗粒	POC	1.3	1.52		1.36	1.21	1.53	1.4	1.57	1.48	2.28	1.45	2.31	1.71	2.11	1.66	1.62	1.40	1.59
	PTN	1.41	1.41		1.11	1.08	1.24	1.35	1.32	1.19	1.36	1.25	1.7	1.24	1.27	1.18	1.15	1.11	1.22
矿质	MOC	0.77	0.59		0.58	0.64	0.98	0.42	0.66	0.63	0.85	0.68	0.59	0.93	0.88	0.80	0.73	1.08	0.84
	MTN	0.62	0.71		0.60	0.67	0.92	0.31	0.64	0.61	0.85	0.78	0.68	0.88	0.84	0.79	0.80	0.99	0.84

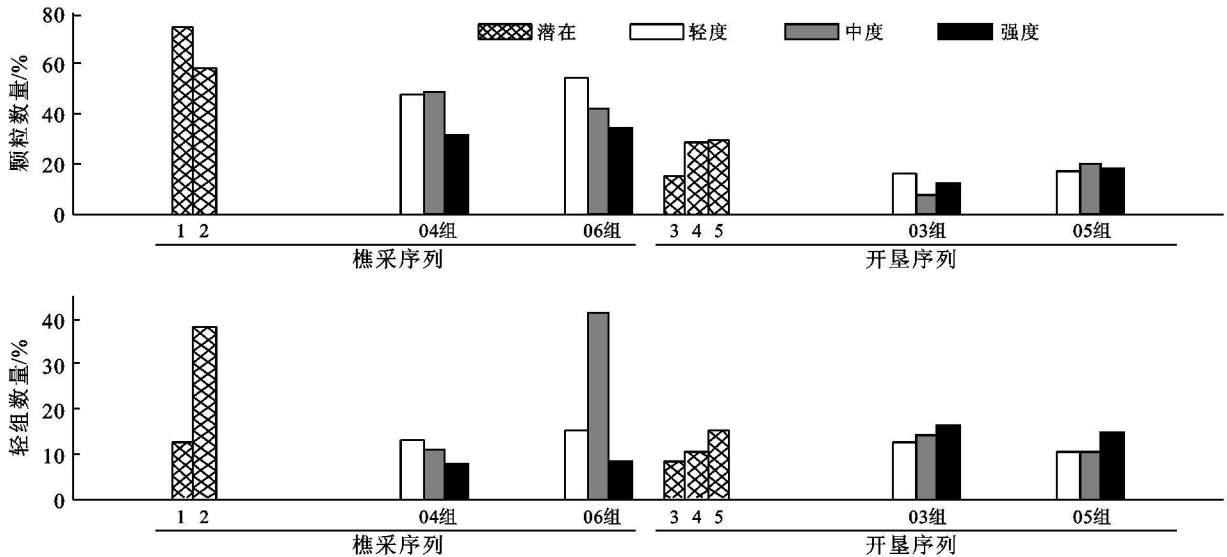


图 4 石漠化过程中土壤颗粒和轻组分的变化

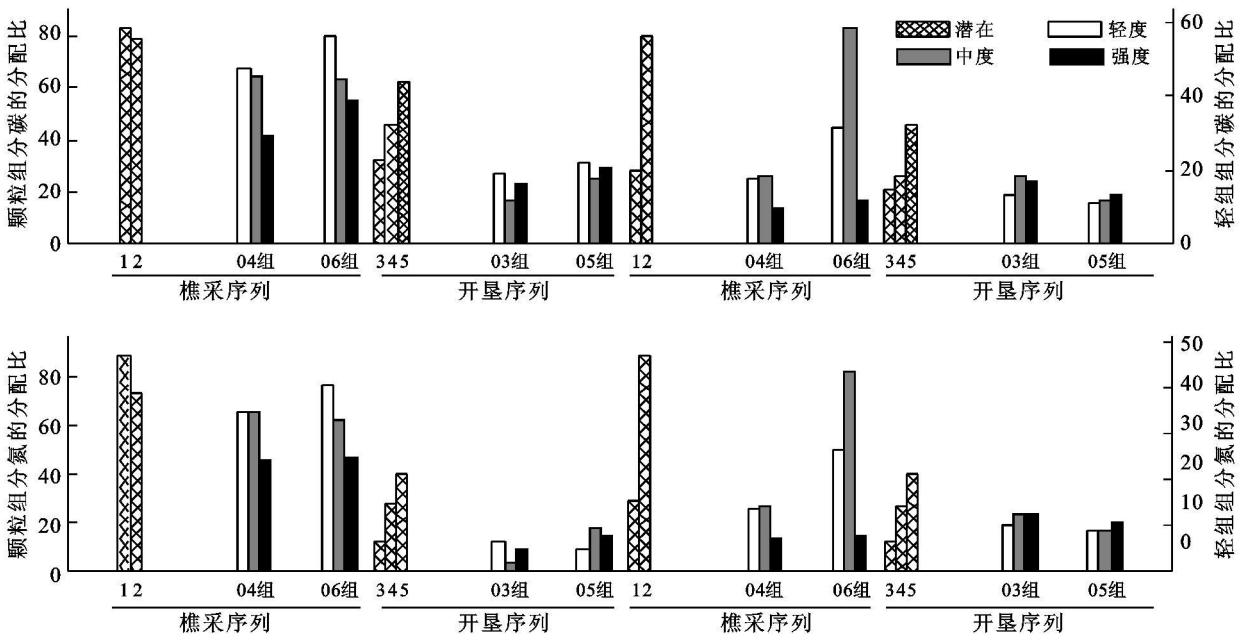


图 5 石漠化过程中土壤有机碳氮在物理组分中的分配

虽然开垦序列土壤有机碳氮含量都低于樵采序列,但部分开垦样地土壤颗粒和轻组分有机碳氮分配比例高于某些樵采样地(颗粒全氮除外),说明轻组和颗粒有机碳氮的分配比例也能体现植被生物量的影响,其中对轻组分的影响大于对颗粒组分的影响,对有机碳的影响大于对全氮的影响。

3 物理组分有机碳氮的讨论与结论

(1) 花江小流域石漠化过程对土壤物理组分的影响不一,轻组、颗粒和矿质组分的有机碳氮含量随石漠化程度的增加而降低,与石漠化过程有一致性。土壤物理组分有机碳和全氮含量差异明显,表现为轻组分>矿质组分,颗粒组分>矿质组分,各物理组

分中 C/N 值比表现为,轻组分>全土,颗粒组分>全土,反映颗粒和轻组组分中有机残体的影响较大,物理组分中轻组组分有机碳氮含量对土壤有机碳、全氮的影响最大。颗粒组分对有机碳和氮的富集作用较强,对矿质组分的富集作用较弱。轻组组分对有机碳有强的富集作用,对全氮富集作用的变化较大。石漠化过程中土壤物理组分对有机碳和氮的保持强度没有明显变化规律;颗粒组分数量和有机碳氮分配比例不但与石漠化过程有一致性,还与石漠化等级有同步性;轻组组分数量和有机碳氮分配比例对与石漠化过程没有一致性。

(2) 土壤 95% 以上的氮素存在于有机质中,土壤中氮素含量与土壤有机质含量之间有平行相关,在同

一物理组分中有机碳和氮的相关系数达 0.94 ~ 0.99, 体现其平行相关性。但石漠化不同物理组分中有机碳和全氮的变化有差别, 对于不同物理组分而言, 由于土壤有机碳氮含量和植被生物量的影响, 所包含有机质的腐殖化程度不同, 以有机质为核心组成的团聚体形式、数量不同, 与土壤不同粒级结合和相互作用的强度和数量不同, 导致不同物理组分中有机碳和氮的丢失、存留或再利用都有一定差别^[19]。因此轻组和颗粒组分中有机碳和氮的富集系数和分配比例有差别, 在石漠化过程中轻组和颗粒组分 SOC 的下降明显快于氮。

(3) 土壤有机质是土壤在漫长的演化过程中积累的结果。轻组组分有机质主要来自土壤中易分解的有机残体, 也与土壤有机质含量有关。进入土壤的有机残体在微生物及其酶的作用下, 部分呈 CO₂ 释放出来, 部分分解产物合成为微生物的细胞组织, 分解后的有机残体转化为新形成土壤有机质, 黏粒对新形成有机质的保护时间较短, 分解速度比土壤固有有机质快, 使得进入土壤的有机残体中仅有少部分转入腐殖质中。因此, 在石漠化过程中以有机残体为主的轻组组分有机碳含量高于土壤有机碳含量, 且有机碳氮的降低速度比全土和颗粒组分快。

(4) 由于碳酸盐基岩的影响, 所形成的石灰质地黏重, 研究区域土壤 < 0.05 mm 的粉黏粒成分达 75.22% ~ 98.43%。石灰土所形成的团聚体主要以团粒和核粒形式存在, 土壤颗粒组分就是粒径在 50 ~ 2000 μm 的微团聚体和大团聚体。樵采石漠化中 > 0.05 mm 砂粒数量为 1.57% ~ 24.78%, 颗粒组分数量为 31.98% ~ 75.01%, 特别是潜在樵采(0531 样地)的砂粒含量仅 6.79%, 而其颗粒组分数量达 75.01%, 说明樵采石漠化的颗粒组分主要是有机质与黏粉粒结合成的有机-无机复合体, 该结合方式形成的团粒结构非常紧密, 可以起到隔离微生物的作用, 使微生物难于靠近有机质进行分解而起到保护作用; 开垦石漠化 > 0.05 mm 砂粒数量为 8.49% ~ 20.95%, 颗粒组分含量为 7.94% ~ 29.98%, 说明开垦石漠化中的颗粒组分大部分都是有机质与砂粒的结合, 该结合方式对有机质的保护比对有机质与黏粉粒结合时弱得多, 是有机质中的非保护部分, 从开垦序列颗粒组分的 C/N 值高于樵采序列也说明其低腐殖化, 易被分解的特点。

[参 考 文 献]

[1] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 土壤轻组有机质[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(2): 58-64.
[2] Christensen B T. Physical fraction of soil and organic matter in primary particle size and density separates[J].

Advances in Soil Science. Springer Verlag, New York, Inc. 1992, 20: 1-90.

- [3] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. Global Change Biology, 2000, 6: 317-327.
[4] Golchin A, Oades J M, Kjemstad J O, et al. Soil structure and carbon cycling[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32: 1043-1068.
[5] Cambardella C A, Elliott E T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivation and native grassland soils[J]. Soil Science Society of American Journal, 1993, 57: 1071-1076.
[6] Bernoux M, Arrouays D, Cerrir C C, et al. Modeling vertical distribution of carbon in oxisols of the western Brazilian amazon (rondonia)[J]. Soil Science, 1998, 163: 941-951.
[7] Wang Y, Ronald A. The impacts of land use change on C turnover in soils[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13 (1): 47-57.
[8] Solomon D, Lehmann J, Zech W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 78: 203-213.
[9] Motavalli P, Discekich P H, Kuhn J. The impact of land clearing and agricultural practices on soil organic C fractions and CO₂ efflux in the Northern Guamaquifer[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 79: 17-27.
[10] 卢红梅, 王世杰. 花江小流域石漠化过程中的土壤有机碳氮的变化[J]. 地球与环境, 2006, 34(4): 41-46.
[11] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. Soil Science Society of American Journal, 1992, 56: 777-783.
[12] Baldock J A, Oades J M, Waters A G, et al. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solidstate ¹³C NMR spectroscopy[J]. Biogeochemistry, 1992, 15: 1-42.
[14] Garten C T, Post W M, Hanson P J, et al. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the southern appellation mountains[J]. Biogeochemistry, 1999, 45: 115-145.
[15] Biederbeck V O, Janzen H H, Campbell C A, et al. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. Soil Biology Biochemistry, 1994, 26: 16472-16561.
[16] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern queensland: VI Loss of total nitrogen from different particle-size and density fractions[J]. Australian Journal of Soil Research, 1987, 25: 83-93.