

# 地表覆草对坡地表层土壤有机碳动态变化影响

顾焱明<sup>1, 2</sup> 李志国<sup>1</sup> 聂新星<sup>1, 2</sup> 姜敏<sup>1, 2</sup> 陈防<sup>1, 3\*</sup>

(1 中国科学院武汉植物园水生植物与流域生态实验室, 湖北 武汉, 430074; 2 中国科学院大学研究生院, 北京, 100049;

3 国际植物营养研究所中国项目部, 湖北 武汉, 430074)

**摘要:** 在湖北丹江口库区小茯苓流域坡地柑橘园进行了四年的定位试验, 设置对照, 秸秆覆盖, 生草覆盖三个处理。评价地表覆盖对 0-100 厘米土层土壤碳素的时空变化, 对有机碳及其活性组分动态变化的影响, 并根据有机碳在月份间的动态变化规律讨论了丹江口库区柑橘园坡地采用秸秆覆盖或生草种植的适宜时间。

**关键词:** 土壤有机碳组分; 地表覆盖; 坡耕地; 碳循环, 碳储量

## 引言

水土流失不仅影响山区坡耕地可持续农业生产, 更会破坏山区生态环境, 必须加以防控。而土壤有机碳能在水土流失防控中起到很重要的作用, 这就使得有关土壤有机碳的储量及其动态变化的成了当前农田土壤肥力变化及营养元素循环研究的热点。在气候变化的大背景下, 有关土壤碳素循环的研究对促进农业可持续发展, 保护生态环境有重要意义。土壤有机碳不仅在水土流失防控方面有重要作用, 而且对土壤中温室效应气体 CO<sub>2</sub> 的释放也有很重要的影响<sup>[1]</sup>。而后者对地球气候变化有直接的联系。因此, 与农业生产相关的坡地水土流失过程中发生的土壤有机碳动态变化, 在全球气候变暖问题日益升温的今天颇受研究人员的关注。

合理的耕作措施和地表覆盖措施能起到减少水土流失和提高土壤有机碳储量的效果。已有研究证明覆盖措施能有效降低水土流失, 减少土壤水分散失, 土表径流, 加强水分入渗<sup>[2]</sup>。然而, 目前关于覆盖对土壤有机碳含量和储量影响的研究结果存在很大分歧, 有的结果显示覆盖对土壤有机碳含量和储量无显著效果; 有的有促进作用, 甚至有的反而起抑制作用, 导致这些差异的原因除了具体的覆盖方法不一致外, 还可能与土壤固碳过程的复杂性有关, 特别是对一些碳组分, 例如轻组有机碳 (LOC), 水

溶性有机碳 (DOC), 颗粒态有机碳 (POC) 以及易氧化有机碳 (EOC) 动态变化。前人的研究表明虽然这些有机碳活性组分只占总有机碳的很小比例, 但却活性强, 流动率高, 容易受气候、土壤质地和土壤管理措施影响, 特别是在扰动很大的农田系统<sup>[3]</sup>。土壤碳组分对环境的变化能比总有机碳做出更快速的反应, 因此在碳素动态变化过程中扮演着重要角色。掌握这些碳组分的特性以及它们与土壤性质以及总有机碳之间的动态变化规律, 可以对评价农艺措施、坡耕地土壤性质、养分循环、水土流失以及碳、氮、磷养分固定的研究提供理论依据。

位于我国湖北省西北部的丹江口库区, 人口的 80% 生活在山区, 92% 的土地是山地。随着农村人口与耕地之间的矛盾日益增加。坡耕地的合理开发利用变得尤为迫切。由于对丘陵坡地开发和利用中缺少水土保持措施, 坡耕地的生态环境以及水土流失状况逐渐恶化, 土壤质量逐年下降。据统计, 2005 年丹江口库区水土流失面积达到 1258 平方千米, 年表土流失量可达 900 万吨。

传统的耕作模式下, 化肥的过量使用在坡地耕作过程中很常见。作物秸秆往往被全部移走或就地焚烧。不但造成了污染, 也是对资源的极大浪费。因此, 为了研究地表覆盖措施对土壤总有机碳及其组分变化的影响, 为当地的土壤培肥和生态环境保护提供理论依据, 我们在丹江口库区小茯苓流域设置了坡耕地地表覆盖试验, 研究不同覆盖

基金项目: IPNI-HB-33

作者简介: 顾焱明 (1988-), 男, 博士研究生, 研究方向为植物营养与农业生态 E-mail: chiminggu@gmail.com

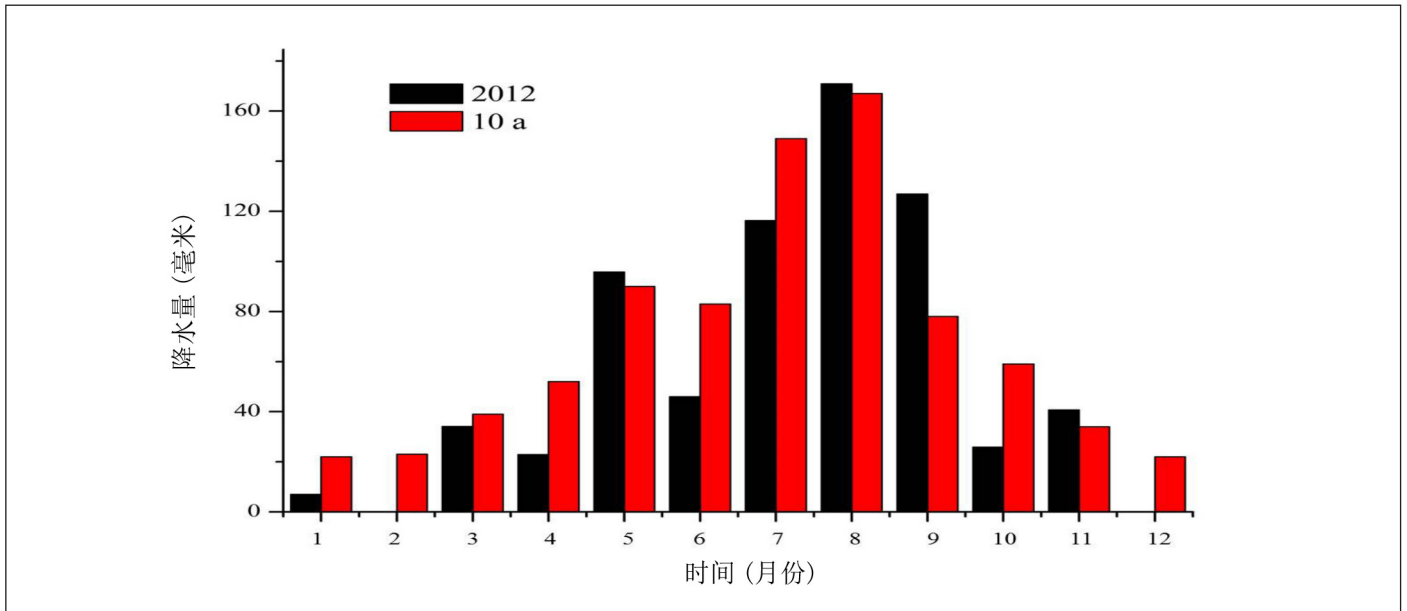


图1 试验点 2012年及近十年降雨量

措施下坡耕地：(1) 土壤有机碳含量及其储量在年度内的变化以及在不同土层的分布状况；(2) LOC, DOC, POC 和 EOC 四种碳组分的动态变化及其与土壤性状的联系。(3) 土壤有机碳含量与土壤性状的关系。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验地点

试验点于 2012 年在丹江口库区习家店镇小茯苓流域 (32°45.9" N, 110°9.9" E) 进行。该地属于北亚热带半湿润季风气候, 年平均降水量为 833.6 毫米, 降水主要集中在 5-9 月, (图 1), 年平均气温为 15.9℃。当地土壤类型为黄棕壤, 主要农作物有柑橘, 小麦, 玉米, 油菜和水稻等。

### 1.2 试验设计

试验设置三个处理: 对照处理 (CK), 地表无覆盖; 秸秆覆盖处理 (ST) 地表覆盖稻草, 厚度约为 10 厘米, 覆盖量为 375 克/平方米; 生草处理 (GT) 地表种植白三叶, 三叶草干物质量大约为 360 克/平方米, 各处理重复三次, 区组随机排列, 小区面积为 40 平方米 (4 米 × 10 米), 分布在平均坡度为 19.5° 的坡地的同一水平高度。每个小区有长势相当的 10 株柑橘树, 品种为尾张。小区间用水泥墩隔开。每株树每年施肥量为 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O

=0.8:0.2:0.2 千克/株, 肥料种类分别为尿素, 过磷酸钙, 氯化钾。施肥方式为穴施, 果树修剪后的树枝统一移出小区, 其他管理措施各处理一致。

### 1.3 样品的采集及分析

每个小区分五点, 每个点分五层采集 0-100 厘米的土样, 1 月至 12 月共采集了 7 次, 共计 315 个土样。土壤样品去除动植物残体及石子后风干, 分别过 100 目和 200 目的尼龙筛保存待测。生草处理中, 选取三个 0.5 平方米生长状况有代表性的区域, 全部收获地上部, 测定白三叶草的地上部生物量。根系生物量用根钻法收集 50 厘米土层内的根系, 洗净风干测定白三叶草的总生物量。

轻组有机碳的测定采用 Janzen 等人 (1992) 的方法。易氧化有机碳测定根据 Blair 等人 1995 年提出的方法, 用岛津 TOC-SSM-5000A 碳分析仪测定。可溶性有机碳用 Liquic TOC II 有机碳分析仪测定。土壤总有机碳 (TOC) 用重铬酸钾外加热法测定。土壤温度由 LI-6400 光合仪温度探针测定, 烘干法测定土壤水分含量。土壤 pH 用 pH 计测定水土比为 1:10, 土壤容重, 总氮含量, 速效磷以及速效钾含量都用常规法测定。

### 1.4 数据处理与统计

数据平均值比较时采用 LSD 法, 差异性比较水平为 p<0.05, 数据处理软件为 SPSS 16.0 和 Excel 2010。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 土壤基本理化性状

如表 1 所示, ST 和 GT 处理对表层土壤性质有显著影响。相较于对照, ST 和 GT 处理均降低了土壤容重 (BD), 其中秸秆覆盖处理显著降低了土壤容重, 这与 Unger (1998) [4] 等人的研究结果一致。覆盖处理降低土壤容重的主要原因是土表覆盖层减弱了降雨的冲击力, 降低了土壤紧实度。生草处理土壤表层的 pH 降低, 可能与白三叶草根分泌物中释放的  $H^+$  以及酸液有关。

相较于对照处理, 覆盖处理增加了土壤总碳, 总氮含量, 降低了土壤碳氮比。这表明覆盖处理通过秸秆投入, 生草根系以及地上部凋落物的投入, 能有效增加土壤碳氮含量, 且覆盖处理增加全氮的比例要大于全碳。

处理	BD (克/立方厘米)	pH	TC (克/千克)	TN (克/千克)	C/N	有效 P 速效 K (毫克/千克)	
						有效 P	速效 K
CK	1.45 a	6.5 a	6.70 c	0.88 b	7.61 a	16.0 b	106.3 c
ST	1.36 b	6.4 a	7.55 b	1.21 a	6.24 b	17.2 a	148.5 a
GT	1.41 a	5.9 b	7.91 a	1.17 a	6.76 b	14.2 c	125.2 b

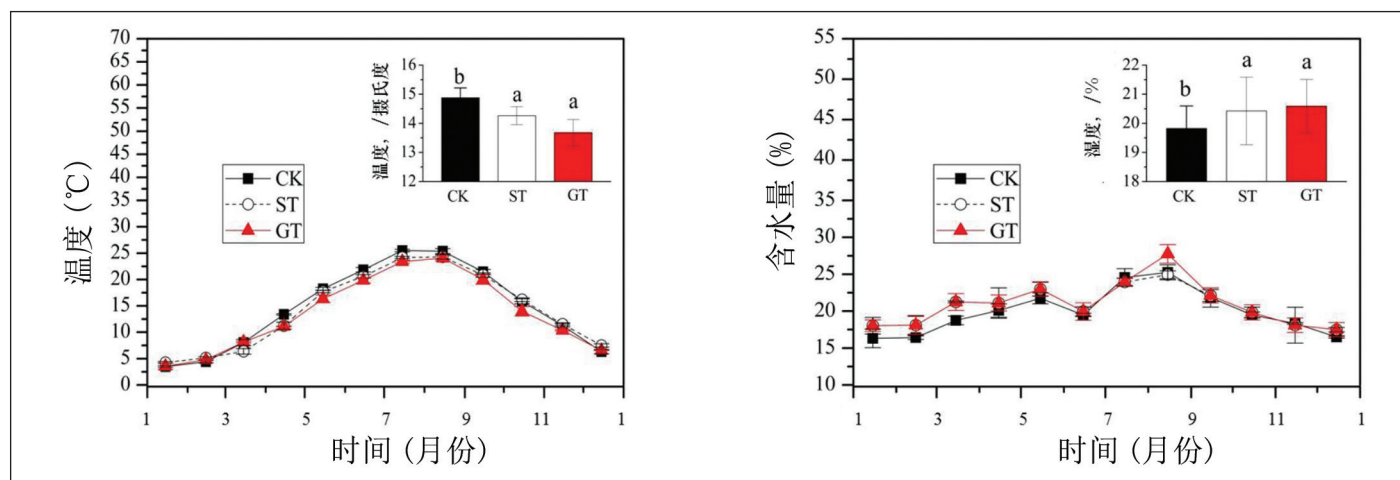


图 2 试验期间土壤温度和湿度的月动态变化

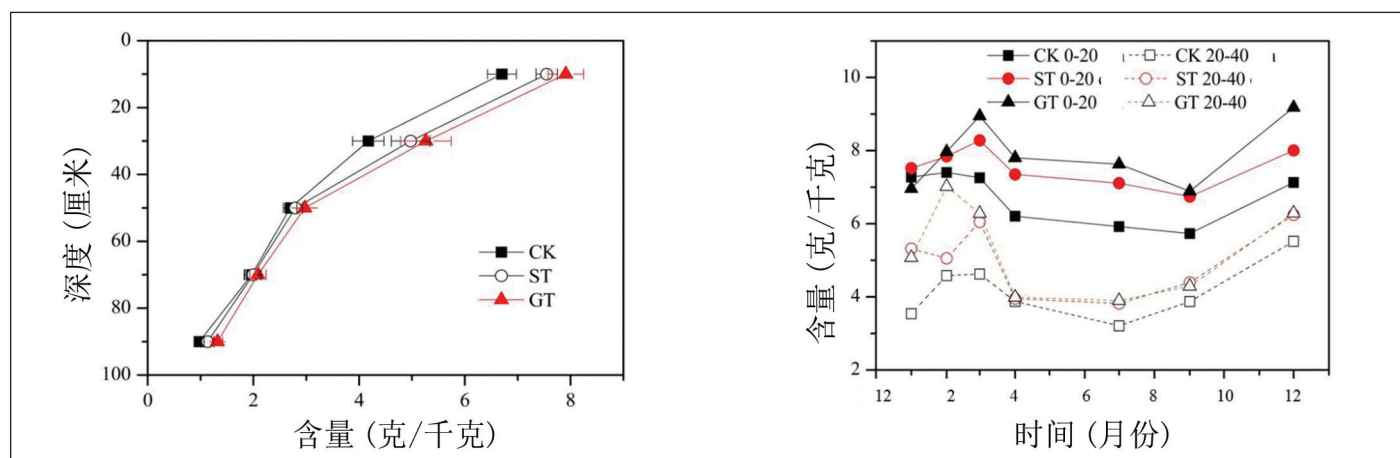


图 3 土壤总碳含量的时空变化

秸秆覆盖处理土壤速效磷钾含量显著高于对照和生草处理, 这可能是由于秸秆腐解后释放的大量有效态的磷钾素, 而 GT 处理表层土壤有效磷的降低可能是由三叶草的吸收引起的。

地表覆盖也会对土壤表层 0-20 厘米土层的土壤温度和土壤湿度产生一定影响 (图 2), 主要是对气温的变化起缓冲作用, 对土壤起保墒作用。当气温较高时土壤温度明显低于对照处理, 反之亦然。至于土壤湿度, 在整个监测期基本都是覆盖处理高于对照处理。

### 2.2 土壤有机碳含量覆盖处理

不同处理土壤有机碳含量在不同土层深度的变化及其随时间的动态变化如图 3 所示。各处理土壤有机碳含量随土层深度的增加而降低。不同处理土壤有机碳含量的差异

主要存在于土壤微生物活性较高的表层 0—40 厘米。ST 和 GT 处理土壤有机碳含量分别为 6.26 和 6.59 克/千克，显著高于 CK (5.44 克/千克)。相对于不覆盖，土壤有机碳含量在秸秆覆盖和生草覆盖条件下分别提高了 15.15% 和 21.14%。在整个生长季，所有处理土壤有机碳含量均随着季节的变化而变化，其最大值出现在气温低，降水少的季节，最低值出现在气温高降水多的季节。从图 3 中可以看出覆盖与否对土壤有机碳含量的季节性动态变化没有明显的影响，所有处理土壤总有机碳含量的季节性变化趋势基本一致。这说明影响土壤有机碳含量的季节性动态变化的界定性因素是土壤含水量和土壤温度。相较于对照处理，覆盖处理只是通过外源有机物料的投入增加了土壤有机碳的累积。

覆盖处理间对比，GT 处理表层 0—40 厘米的土壤有机碳含量显著高于 ST 处理，说明相较于秸秆覆盖，生草覆盖提高土壤有机碳含量的潜力更大。我国黄土高原地区以及英国的东南部研究报道过类似的结果，其他地方的研究也表明生草处理比秸秆覆盖处理更能增加土壤有机碳含量。本研究中，相对于秸秆覆盖，生草覆盖处理中表层土壤有机碳的积累可能是由于其较低的土壤温度抑制了有机物料的腐解。虽然秸秆覆盖所投入的有机物总量与生草覆盖总生物量相当，但是生草处理直接进入土壤的部分（地下部）远高于秸秆覆盖处理，而秸秆覆盖后仍旧保留在土壤表层，秸秆腐解后产生的小颗粒在坡地上很容易随风或径流转移流失，尤其是本试验所在地丹江口库区，7—9 月雨季降雨集中，雨量较大，产生大量径流。更是会导致秸秆覆盖处理地表有机物随径流损失。相比之下，生草覆

盖不仅能保持住地表的有机物料，而且根部和根分泌物也极大地促进了表土层有机碳含量，在增加土壤碳储量的同时因地表径流导致的有机碳损失量很低

### 2.3 土壤有机碳活性组分的动态变化

大量研究都表明农田覆盖措施能显著影响土壤中有机碳活性组分的含量，尤其是在表土层<sup>[5]</sup>。本试验结果也表明覆盖措施能显著影响表土层土壤中有机碳活性组分的含量。覆盖处理 LOC, DOC, POC 和 EOC 含量均显著高于未覆盖的对照处理（图 4）。这主要是得益于秸秆、植株凋落物、根毛及根系分泌物。所有处理有机碳活性组分含量均随土层深度的增加而降低（图 5）。然而，由于本试验是在坡地上进行的，坡地上水土流失情况比平地严重，因而养分流失量，以及各种有机碳活性组分的转移与其他研究结果有所不同。

土壤活性炭组分中的 LOC 在短期内是土壤养分存储库，它的主要成分是自由态碳，由于缺少土壤胶体的保护，LOC 具有能够迅速矿化的特点，能很容易随径流移动导致损失，具有很高的腐解率和周转率，因此，LOC 受季节的影响很大<sup>[6]</sup>。本试验中，LOC 明显受到季节的影响，其含量的最大值出现在 2—3 月，然后逐渐降低，直到 10 月份又开始有所增加（图 4）。从 4—9 月这段时期 LOC 含量较低是因为这段时间适宜的土壤温度和湿度，较高的土壤微生物活性，使得有机物料的分解速率提高，且期间频繁地降雨导致的径流带走了大量 LOC。覆盖与否没有改变 LOC 季节间的变化趋势，却可以提高其在土壤中的含量。例如，在 3 月份，相较于 CK，LOC 在 ST 和 GT

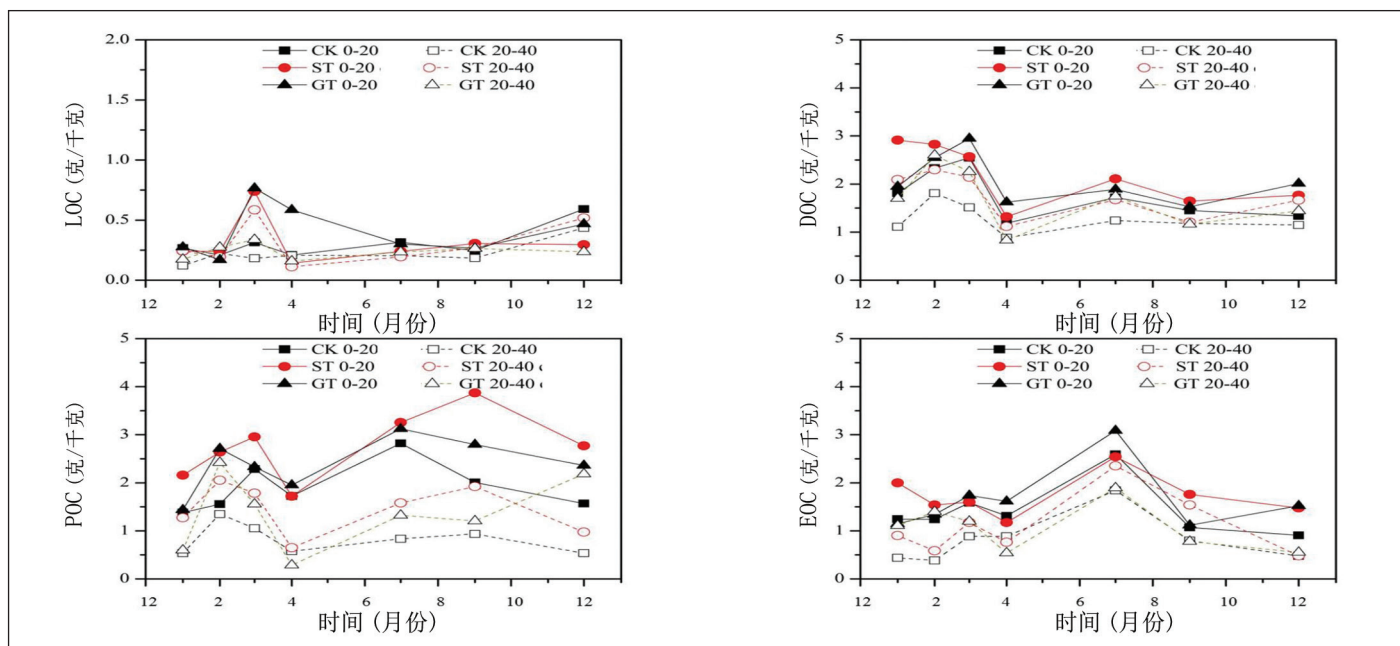


图 4 浅层土壤有机碳活性组分的时空变化

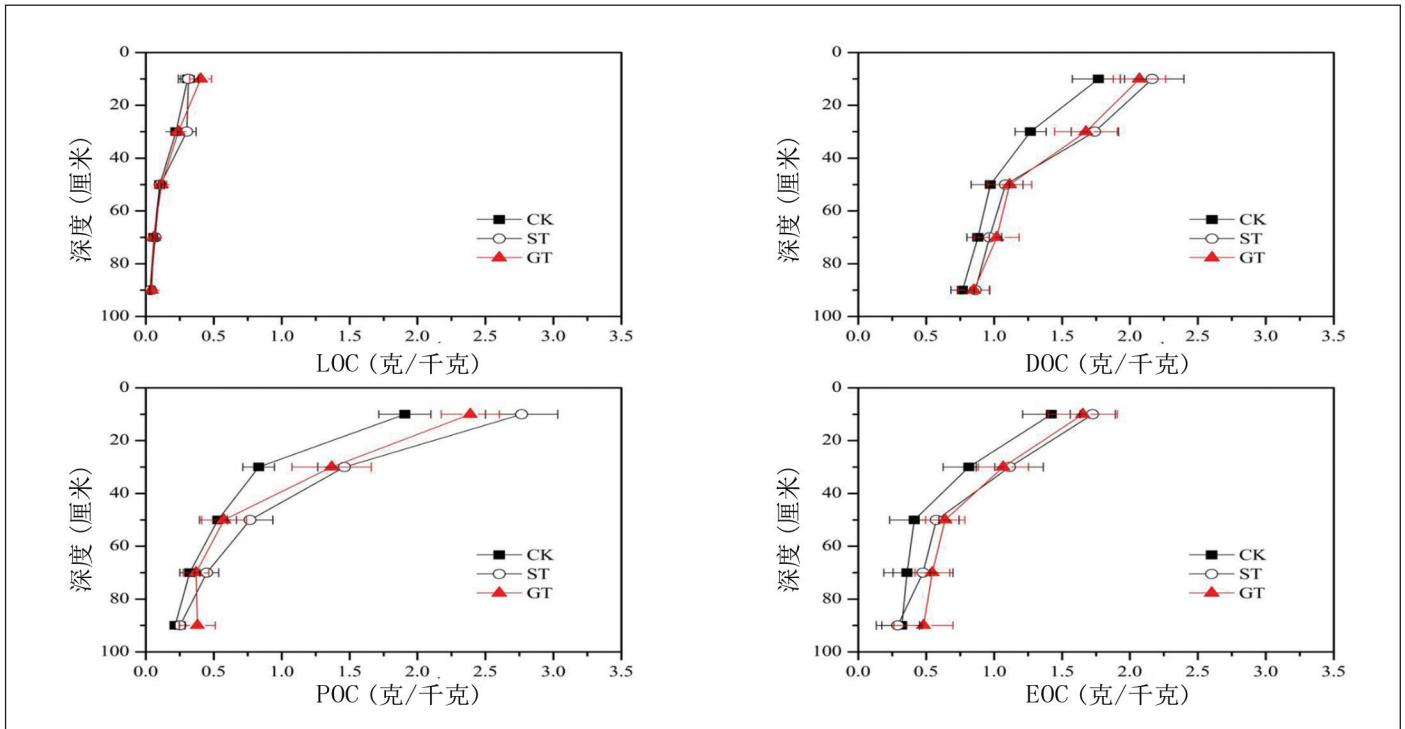


图 5 不同土层深度有机碳组分含量在处理间的差异

处理中的含量分别增加了 167% 和 122% (图 4)。

在 0–100 厘米土层中, 覆盖处理的 LOC 含量比对照增加了 0.102 克/千克和 0.136 克/千克。但单就 0–40 厘米土层而言, 增加量高达 70–80% (图 5), 这主要得益于覆盖后不仅降低地表径流, 而且覆盖携入的有机物料腐解后产生的大量 LOC 能显著增加 0–40 厘米土层 LOC 含量<sup>[7]</sup>。

有机碳活性组分中 DOC 所占比重很小, 其含量比其他有机碳活性组分都要低很多, 一般而言 DOC 含量不高于 200 毫克/千克, 但是 DOC 却是有机碳组分中移动性最强的, 通过影响微生物群落及其活性, DOC 对养分活化和有机物质的转化起着关键性的作用。本试验中, 相较于对照, ST 和 GT 处理显著增加了 0–40 厘米土壤表层

中 DOC 含量 (28.56% 和 23.33%, 图 5), 但是覆盖处理之间不同土层中 DOC 含量差异不显著。DOC 在 ST 处理的增加可能是由于秸秆的可溶性有机物质分解产生的可溶性有机碳, 而在 GT 处理中的增加的 DOC 主要来源于生草根际和根分泌物产生的有机酸和水溶性碳水化合物。覆盖处理 DOC 含量增加的另一原因是覆盖处理减少了地表径流量, 从而降低了碳素流失。另外, 相比对照, 覆盖处理土壤容重降低, 碳素更容易向下淋溶, 并保留在较深的土壤层中 (图 5), 且较低的 pH 更能刺激腐殖酸絮凝的可溶性有机物的矿化, 释放出 DOC。然而是否覆盖对于 40–100 厘米土层中 DOC 的含量的差异不显著。

POC 是土壤活性有机碳组分中结合了土壤微粒的那部分有机碳, POC 能避免被迅速分解, 比其他有机碳组

表 2 土壤有机碳及其活性组分的储量

处理	土层深度 (厘米)	LOC (千克/平方米)	DOC (克/平方米)	POC		EOC		TOC
				(千克/平方米)		(千克/平方米)		
CK	0–40	0.15 ± 0.01 b	0.89 ± 0.04 b	0.80 ± 0.04 b	0.65 ± 0.05 b	3.19 ± 0.10 c		
	40–100	0.05 ± 0.00 a	0.76 ± 0.02 b	0.31 ± 0.02 b	0.31 ± 0.04 b	1.63 ± 0.10 a		
ST	0–100	0.21 ± 0.01 b	1.65 ± 0.03 b	1.11 ± 0.03 c	0.97 ± 0.05 b	4.82 ± 0.19 c		
	0–40	0.17 ± 0.02 a	1.10 ± 0.05 a	1.18 ± 0.06 a	0.79 ± 0.05 a	3.52 ± 0.12 b		
GT	40–100	0.06 ± 0.00 a	0.84 ± 0.03 a	0.42 ± 0.02 a	0.39 ± 0.05 b	1.72 ± 0.07 a		
	0–100	0.23 ± 0.01 a	1.95 ± 0.04 a	1.60 ± 0.04 a	1.18 ± 0.05 a	5.24 ± 0.18 b		
GT	0–40	0.18 ± 0.01 a	1.08 ± 0.06 a	1.08 ± 0.07 a	0.78 ± 0.06 a	3.80 ± 0.16 a		
	40–100	0.06 ± 0.00 a	0.87 ± 0.04 a	0.38 ± 0.03 a	0.48 ± 0.04 a	1.85 ± 0.11 a		
GT	0–100	0.24 ± 0.01 a	1.95 ± 0.05 a	1.46 ± 0.05 b	1.26 ± 0.05 a	5.65 ± 0.16 a		

注: 同列内不同字母表示差异显著 (p < 0.05)。

分都更为稳定。一般认为,POC的主要成分来源于植物源微粒以及微生物残体,因此向土壤中投入大量有机物料能有效促进POC的形成。本试验中,由于覆盖处理中有大量的有机物料投入,尤其是生草覆盖处理中白三叶草根系凋落以及根际分泌物等有机物质为POC的形成提供了大量的物质基础,极大地增加了土壤中POC的含量,相对于CK处理,ST和GT处理POC含量分别增加了54.46%和37.18%。大量有机物料的投入,能促进土壤稳定性团粒结构的形成,而这又进一步促进了对POC的保护,避免其很快被分解。土壤POC含量随着土层深度的增加而降低,并且ST、GT与对照的差异主要存在于0-40厘米土层,而两个覆盖处理之间无显著差异。类似的研究结果已有报道,Wander<sup>[7]</sup>研究发现在免耕秸秆覆盖的试验的表层土壤中POC的含量很高,且比低土层中的POC粒径较大。

土壤温度和土壤湿度的高低会影响土壤中POC含量,一般在较为寒冷、干燥的季节POC含量得到累积,而在气温和湿度较高的季节则会被腐解消耗。然而这一现象也并非绝对,如果新的POC形成速率高于其腐解消耗速率,即使是在气温较高的季节POC的净累积量也会增加。例如本试验中,由于在7-9月这段时间有大量有机物料分解,POC含量得到累积,使得ST和GT处理土壤中POC含量的峰值出现在这段时间(图4)。

EOC是有机碳活性组分中由不稳定的成分构成,最易于氧化的那部分碳素,包括容易分解的腐殖物质和多糖,EOC很容易受土壤温度和土壤湿度的影响发生转化,导致土壤中EOC含量发生变化。本试验中,EOC含量在6-9月高于其他时期(图4),这有赖于这一时期较高的土壤温度和土壤湿度(图1,图2)。这一时期较高的气温和湿度能促进有机物料的腐解,提高微生物活性,从而增加土壤中EOC含量<sup>[6]</sup>。并且由于这一时期降雨量较大,土壤湿度高,容易在土体中形成局部的厌氧微环境,有利于EOC的累积。同样的,如图5所示,覆盖措施亦能显著提高土壤中EOC的含量(图4)。相比对照处理,覆盖处理除了提供有大量碳源外,土壤容重亦有降低(表1),土质较为疏松,降雨更容易下渗到土壤中,更有利于形成累积EOC的局部厌氧微环境。

本试验中相较于CK处理,ST和GT处理的有机碳储量均显著增加了10.34%和19.12%。因为相较于覆膜和石子覆盖,覆盖处理不仅降低了地表径流,携入大量有机物料进入土体,且覆草和种草降低了土壤表层容重,提高了水分入渗率。

## 2.4 土壤总有机碳及其组分储量

坡耕地的特点之一就是径流量大,碳素容易随径流失,土壤有机碳储量低,而地表覆盖措施则能显著提高坡地土壤有机碳储量。如表2所示,本试验中CK,ST和GT总有机碳的储量分别为4.82,5.24和5.65千克/平方米。覆盖处理总有机碳储量显著高于对照不覆盖处理,生草覆盖处理显著高于秸秆覆盖处理。在发达国家半干旱灌木生态系统以及发展中国家的相关研究中也有类似的报道。然而并非所有研究结果都显示覆盖措施能提高坡耕地土壤总有机碳储量。

不同土层深度而言,相较于对照,覆盖处理有机碳活性组分碳储量的增加主要表现在0-40厘米土层。相较于CK,ST和GT处理LOC,DOC,POC以及EOC四种有机碳活性组分的储量分别增加了0.02和0.03千克/平方米,0.21和0.19克/平方米,0.38和0.28千克/平方米,0.14和0.13千克/平方米。增加比例分别为13-20%,21-24%,35-48%,和20-22%。其中POC的增加量远大于其他有机碳活性组分,说明相较于其他有机碳活性组分POC更为稳定,这与Liang等<sup>[9]</sup>人的研究结果一致。除了POC储量,LOC,DOC和EOC储量在覆盖处理之间无显著差异。

## 2.5 有机碳组分相关性分析

坡耕地土壤表层0-20厘米土层土壤性质和有机碳活性组分之间的相关性分析结果如表3所示。从表中可以看到TOC、DOC与土壤含水量以及土壤温度均呈现负相关,特别是与土壤温度间的负相关关系达到极显著,说明土壤温度对TOC、DOC的形成和分解起着很重要的作用。本试验中导致TOC和DOC在覆盖处理中增加的重要原因之一可能是相较于对照,覆盖处理在高温高湿的季节降低了土壤温度,而在低温干燥的季节起到了保温的作用(图1)。POC和EOC与土壤温度,土壤湿度均呈现正相关,但两者与土壤温度的相关性( $r = 0.561$ 和 $0.557$ )低于两者与土壤湿度的相关性( $r = 0.594$ 和 $0.636$ ),这说明土壤含水量和土壤温度对POC和EOC的形成和分解均有影响,而土壤湿度的变化比土壤温度的变化更能影响POC和EOC在土壤中的含量。

很多已有的研究结果都表明LOC、DOC、POC和EOC与TOC之间有显著的正相关<sup>[9]</sup>,并且提出它们可以作为反映土壤质量和农业生产过程中碳素变化的指标。然而,本试验中只有LOC、DOC与TOC呈现显著的正

表3 表层0-20厘米土壤性质与土壤碳素之间的相关性

	ST	SW	TOC	LOC	DOC	POC	EOC
ST	1						
SW	0.890**	1					
TOC	-0.549**	-0.330	1				
LOC	-0.175	0.057	0.505*	1			
DOC	-0.443*	-0.209	0.568**	0.210	1		
POC	0.561**	0.594**	0.088	0.044	0.183	1	
EOC	0.557**	0.636**	0.032	0.010	0.231	0.601**	1

\*\* 相关关系在 0.01 水平达到显著性 (2-tailed). \* 相关关系在 0.05 水平达到显著性 (2-tailed).

相关,这说明 LOC 和 DOC 比其他有机碳活性成分更敏感。Wan 等人的研究指出 LOC 和 DOC 是土壤微生物的主要能量来源,对养分的循环以及土壤微生物群落数量有决定性的作用,而土壤微生物群落数量又会对土壤生化过程有很大的影响。有研究者通过培养实验研究发现由于轻组有机质的高含碳率,LOC 是土壤呼吸的驱动因子<sup>[10]</sup>。因此,LOC 和 DOC 对 TOC 影响较其他有机碳活性组分更显著。

根据有机碳在月份间的动态变化,丹江口库区坡地采用秸秆覆盖时应在每年的 12 月至来年的 6 月初将秸秆覆于地表,如果采取生草覆盖措施,则应春季播种,保证在 6 到 9 月份期间生草的长势旺盛。

## 参考文献

- [1] 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,2002,20(3),220-228.
- [2] Lukman NM, Rattan L. Mulching effects on selected soil physical properties[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98, 106-111.
- [3] Mariangela D, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(2), 401-422.
- [4] Unger PW, Jones OR. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 45, 39-57.
- [5] 郑立臣,解宏图,何红波,等.秸秆还田对水溶性有机碳的影响[J].辽宁工程技术大学学报,2006,6(25),330-332.
- [6] Gregorich EG, Monreal CM, Carter MR, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils[J]. Canadian journal of soil science, 1994, 74 (4), 367-385.
- [7] Wander MM, Yang X. Influence of tillage on the dynamics of loose and occluded-particulate and humified organic matter fractions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32, 1551-1560.
- [8] Conteh A, Blair GT, Lefroy RDB, et al. Labile organic carbon determined by permanganate oxidation and its relationships to other measurements of soil organic carbon[J]. Humic Substances Environmental Journal, 1999, 1, 3-15.
- [9] Liang Q, Chen HQ, Gong YS, et al. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 92(1), 21-33.
- [10] Alvarez CR, Alvarez R, Grigera MS, et al. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30, 767-773.

## 3 结论

丹江口库区小茯苓流域四年的田间定位试验结果表明,采用生草覆盖和秸秆覆盖均能显著提高坡耕地土壤有机碳及其活性组分的含量。覆盖处理,特别是生草覆盖是增加丹江口库区坡地土壤碳素固定的一种行之有效的措施。相对于不覆盖,坡地柑橘园覆盖处理显著增加了 0-100 厘米土层 TOC、LOC、DOC、POC 和 EOC 储量,其中,生草覆盖处理有机碳及其活性组分的储量高于秸秆覆盖处理。

有机碳四种活性组分当中,DOC 和 LOC 的含量在寒冷干燥的月份较高,而 POC 和 EOC 的含量在温暖湿润的季节较高。