

DOI: 10.5846/stxb201301240144

王耀锋,邵玲玲,刘玉学,吕豪豪,陈庆飞,廖敏,杨生茂.桃园生草对土壤有机碳及活性碳库组分的影响.生态学报,2014,34(20):6002-6010.

Wang Y F, Shao L L, Liu Y X, Lv H H, Chen Q F, Liao M, Yang S M. Effects of interplanting grass on soil organic carbon and active components of carbon pool in peach orchard. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 6002-6010.

桃园生草对土壤有机碳及活性碳库组分的影响

王耀锋^{1,2}, 邵玲玲^{2,3}, 刘玉学^{2,3}, 吕豪豪^{2,3}, 陈庆飞^{2,3}, 廖敏⁴, 杨生茂^{2,3,*}

(1. 南京农业大学农业资源与生态环境研究所, 南京 210095;

2. 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021;

3. 浙江省生物炭工程技术研究中心, 杭州 310021; 4. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要:果园生草是解决传统清耕引起的水土流失、土壤有机质减少、土壤肥力下降和果品品质变劣的果园地面管理措施之一。阐明不同牧草种类对土壤有机碳及其活性组分的影响是实现果园土壤生态管理、促进有机果品生产技术体系完善和果园土壤质量提高过程中亟待解决的问题。通过研究桃园人工种植黑麦草和毛苕子对土壤总有机碳(TOC)及其活性组分(微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(WSOC)、轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)以及团聚体有机碳)的影响,探明豆科牧草与禾本科牧草种植对桃园土壤有机碳及其组分的影响及其差异。结果表明:与清耕对照(CK)相比,种植黑麦草后土壤 TOC、MBC 和 WSOC 分别提高了 5.13%、76.4% 和 18.1%,种植毛苕子土壤 LFOC 提高了 11.3%,土壤 HFOC 降低了 13.2%,但对土壤 TOC、MBC 和 WSOC 未产生显著影响。此外,黑麦草显著提高土壤较大粒级(>74 μm)团聚体有机碳含量,而毛苕子则显著降低土壤较小粒级(<2000 μm)团聚体有机碳含量。对提高 TOC 而言,在桃园种植禾本科牧草黑麦草优于豆科牧草毛苕子。土壤 MBC、WSOC、LFOC 以及 HFOC 可以作为指示桃园土壤质量提高与否、表征土壤有机碳变化的敏感指标。

关键词:桃园;果园生草;微生物量碳;水溶性有机碳;轻/重组有机碳

Effects of interplanting grass on soil organic carbon and active components of carbon pool in peach orchard

WANG Yaofeng^{1,2}, SHAO Lingling^{2,3}, LIU Yuxue^{2,3}, LV Haohao^{2,3}, CHEN Qingfei^{2,3}, LIAO Min⁴, YANG Shengmao^{2,3,*}

1 Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Institute of Environment, Resource, Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China

3 Zhejiang Biochar Engineering Technology Research Center, Hangzhou 310021, China

4 Department of Resource Science, College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Interplanting grass is one of the important orchard floor management measures for avoiding negative potential effects, such as soil erosion, soil organic matter decrease, soil fertility reduction and deterioration of fruit quality induced by traditional orchard clean cultivation activities. The effect of interplanting grass on soil organic carbon and its active components is very critical for implementing soil ecological management, promoting the system of organic fruit production and improving the soil quality in orchards. Therefore, this study focused on addressing the issues relating to the effect of interplanting ryegrass (*Lolium perenne* L.) and hair vetch (*Vicia villosa* Roth) in peach orchard on soil total organic carbon (TOC) and its fractions, including microbial biomass carbon (MBC), water-soluble organic carbon (WSOC), light fraction organic carbon (LFOC), heavy fraction organic carbon (HFOC) and aggregates organic carbon. The results showed

基金项目:浙江省重大科技专项(2009C12012);国家公益性行业专项(201303095);国家桃产业技术体系杭州综合试验站(CARS-31-Z-06)

收稿日期:2013-01-24; **网络出版日期:**2014-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangshengmao@263.net

that compared to the clean cultivation control (CK), TOC, MBC and WSOC in interplanting ryegrass treatment (RG) were significantly increased by 5.13%, 76.4% and 18.1%, respectively. For hair vetch treatment (HV), LFOC and HFOC were significantly increased by 11.3% and decreased by 13.2% respectively when they are compared with CK. However, soil TOC, MBC and WSOC had no significant changes in HV. In addition, RG significantly raised the content of larger size fraction ($>74\ \mu\text{m}$) aggregates of soil organic carbon, and reduced the smaller size fraction ($<2000\ \mu\text{m}$). As for TOC improvement effect, interplanting ryegrass seemed to be better than hair vetch in peach orchard. MBC, WSOC, LFOC and HFOC can be served as sensitive indices for characterizing the changes of soil quality and soil organic carbon in peach orchards.

Key Words: peach orchard; orchard grass; microbial biomass carbon; water-soluble organic carbon; light/heavy fraction organic carbon

果园清耕是以往我国常规的果园管理维护农艺措施,具有防虫害,操作简单等特点,但近年的研究发现长期清耕容易导致土壤板结、有机质下降等一系列土壤退化问题^[1],对果园的产品品质和产量造成长期的不利影响。果园生草是近年来发展较快的针对清耕果园土壤产生潜在负面危害而采取的重要管理措施^[2]。果园生草不仅显著改善土壤物理性状,降低土壤容重,增加土壤总孔隙度^[3-4],提高土壤全量养分(N、P 和 K)含量^[5],而且对土壤有机质含量也具有重要影响^[2,6-8]。土壤有机碳是植物营养的重要来源,也是微生物活动物质和能量的源泉^[9],其含量变化可直接导致土壤养分循环的变化,从而影响土壤肥力和生产力^[10]。然而土壤有机质组成并非单一,而是各种动植物残体和微生物残体不同阶段分解产物的综合体^[11],是各种有机碳积累和矿化分解平衡后的结果,其并不能较好体现土壤养分的转化速率,更不能反映土壤质量的变化方向^[9]。因此,有研究学者将土壤有机碳划分为微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(WSOC)、轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)和团聚体有机碳等几种组分^[12],而不同组分对于反映土壤质量在较大时空尺度上的变化,指示土壤性质的微小变化^[13]以及预测土壤长期变化状况^[14]等方面发挥不同作用。因此,深入研究果园土壤有机碳及其组分的变化规律,对于提高土壤保水保肥能力^[5]从而保证果树持久生长和果质优良具有重要的现实意义。

目前国内外对于果园生草对土壤有机质的影响已有研究,但结果并不完全一致。众多研究表明,果园生草覆盖后能显著提高土壤有机碳^[7-8,15-16]。牛自勉^[6]通过试验表明,生草前两年土壤有机质并无变

化,到后两年才有明显增加,也有研究发现长期生草并未提高土壤有机质含量^[2]。然而有关桃园生草对土壤有机质不同组分的影响研究鲜见报道,相关工作需要进一步深入开展。本文通过开展田间试验研究桃园生草对土壤有机碳组分的影响,旨在探明果园生草后土壤有机碳及其组分的变化情况,进而为桃园土壤碳库变化的有效管理及桃园土壤质量提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于浙江省海宁市省农科院杨渡基地桃园试验区,海拔 3—4 m,年均气温 16—17℃,年降水量 1500—1600 mm,年蒸发量 1000—1100 mm,无霜期约 240—250 d,年日照时数 1900—2000 h。供试桃园土壤属潮土类。试验前其耕层土壤基本理化性质如下:pH 值(H_2O)为 6.84,有机质和全氮分别为 12.9 g/kg 和 8.18 g/kg,有效磷及速效钾含量依次为 26.3 mg/kg 和 53.0 mg/kg。

1.2 试验设计

供试牧草:毛苕子(*Vicia villosa* Roth)和黑麦草(*Lolium perenne* L.),分别为 1 年生豆科和 1 年生禾本科草本植物。试验共设 3 个处理:种植毛苕子(HV),种植黑麦草(RG),清耕对照(CK)。每个处理重复 3 次,采取单因素随机区组设计。每个小区面积 36 m²。秋季播种,于 2010 年 10 月下旬播种,播种量分别为:毛苕子 60 kg/hm²,黑麦草 30 kg/hm²,采用全园生草模式,套种牧草从第 1 年(2010)开始刈割作为绿肥均匀覆盖桃园及生草带,每年 5 月中旬刈割,同年 11 月下旬进行再次刈割、翻压,毛

苕子和黑麦草的产草生物量分别约为 37.5 t/hm^2 和 25.6 t/hm^2 。在同一桃园中,选择树形一致,株行距 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 规格的 2009 年生的桃树植株为试材,且树冠高和层间距基本一致。桃树、牧草的其它田间管理措施同一般果园。供试桃树品种为:湖景蜜露。播前整理果园土地,结合春播平整土地施有机肥 22.5 t/hm^2 ,过磷酸钙 450 kg/hm^2 ,硝酸铵 150 kg/hm^2 。

1.3 土样采集

人工种植黑麦草和毛苕子 1a 后,于 2011 年 11 月 15 日采集土样,在各小区采用 S 型线路,随机采集 5 点,每个采样点按在树冠外缘垂直向内 30 cm 处用土钻采集表层 $0\text{--}20 \text{ cm}$ 原状土壤,混匀作为 1 个土壤样品,每小区采集 3 个样品。采集和运输过程中尽量减少对土样的扰动,以免破坏团聚体。田间采集的新鲜土样分成两份,一份鲜土用于 TOC 和土壤活性有机碳 (MBC 和 WSOC) 的测定,另一份再分出一半,轻轻掰成小块,然后通过 5 mm 筛以打破超大团聚体,最后自然风干,用于测定土壤团聚体有机碳组分库,另一半自然风干后磨碎,过 2 mm 筛,用于测定 LFOC 和 HFOC。在研磨过程中弃去大于 2 mm 的有机物和砂砾。

1.4 测定方法

土壤总有机碳 (TOC) 测定采用重铬酸钾外加热法^[17]。MBC 测定采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 浸提法^[18]。WSOC 采用蒸馏水浸提法 (土水比为 $1:5$)^[19]。LFOC 和 HFOC 采用密度法^[20] 测定。水稳性团聚体有机碳采用湿筛法^[21] 测定。土壤基本理化性质的测定见参考文献^[17]。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据整理和绘图;采用 DPS 7.0 软件进行单因素方差分析,用 LSD 方法对不同处理之间进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 桃园生草对土壤总有机碳的影响

不同生草类型对土壤总有机碳的影响如图 1 所示。由图 1 可以看出,不同生草栽培处理桃园 TOC 存在显著差异,黑麦草处理最高,毛苕子处理最低。与 CK 相比,黑麦草栽培处理的桃园 TOC 提高了 5.13% ,而种植毛苕子未对 TOC 产生显著影响。因

此,桃园种草能否增加土壤 TOC 与生草种类有关。

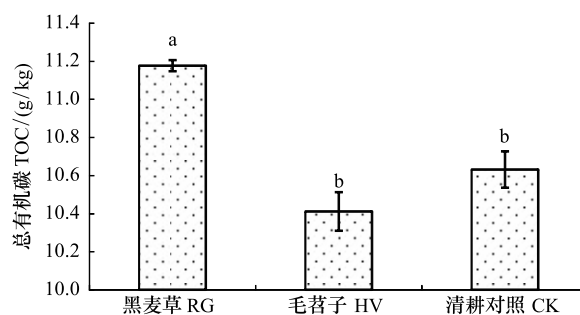


图 1 不同生草类型对土壤总有机碳的影响

Fig.1 Effect of grass types on soil TOC

不同小写字母表明差异显著 ($P < 0.05$); TOC: 总有机碳 Total organic carbon; RG: 黑麦草 Ryegrass; HV: 毛苕子 Hair vetch; CK: 清耕对照 Clean cultivation control

2.2 桃园生草对土壤微生物量碳和微生物商的影响

土壤微生物量碳指在实验室培养下短期内能被微生物分解利用的有机碳,是土壤活性有机碳中最活跃的部分^[22]。它是植物可利用养分重要来源,同时也反映土壤微生物的实际含量^[23]。土壤 MBC 在桃园地面三种不同管理方式下的情况如图 2 所示,其中种植黑麦草的土壤 MBC 含量最高,为 695 mg/kg ,CK 处理最低,为 394 mg/kg 。与 CK 相比,生长黑麦草使桃园 MBC 显著提高了 76.4% ,而种植毛苕子的处理未见显著。可见,属于禾本科的黑麦草比属于豆科牧草的毛苕子更有利于 MBC 含量的增加。

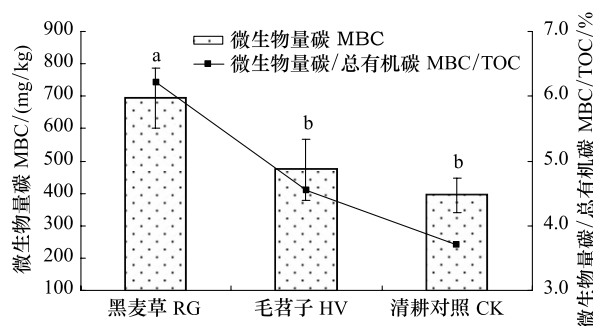


图 2 不同生草类型对土壤微生物量碳和微生物商的影响

Fig.2 Effect of grass types on soil MBC and MBC/TOC

MBC: 微生物量碳 Microbial biomass carbon; MBC/TOC: 微生物量碳/总有机碳 Microbial biomass carbon and total organic carbon ratio

微生物商 (MBC/TOC) 是土壤 MBC 与 TOC 的比值^[24]。不同生草类型对土壤微生物商的影响如图 2 所示。由图可以看出, MBC/TOC 按照从大到小的顺序排列为: 黑麦草 > 毛苕子 > CK, 数值分别为 6.22% , 4.54% 和 3.70% 。MBC/TOC 的变化与 MBC 的变化

趋势一致,这说明桃园种植黑麦草和毛苕子不仅可以提高土壤 MBC,而且还能提高土壤微生物商,并且禾本科牧草黑麦草优于豆科牧草毛苕子。

2.3 桃园生草对土壤水溶性有机碳的影响

土壤水溶性有机碳是微生物在分解有机物时产生的代谢产物,同时又是微生物生长、繁殖所需的碳源,一定程度体现了土壤微生物的周转速率,其含量主要受土壤、气候以及植被等因素的影响^[25]。土壤 WSOC 的变化如图 3 所示,不同牧草种植情况下土壤 WSOC 含量均表现出增加趋势。其中种植黑麦草土壤 WSOC 含量最高,达 1.28 g/kg;而 CK 处理 WSOC 含量最低,为 1.09 g/kg。与 CK 相比,黑麦草使 WSOC 提高了 18.1%,而毛苕子未产生显著差异。这与 MBC 含量变化趋势表现一致。因此,与豆科毛

苕子相比,禾本科黑麦草更有利于提高桃园土壤 WSOC 含量。

WSOC 占土壤 TOC 的比例与土壤 WSOC 含量表现一致,但在 3 个处理中,相对于其高 WSOC 含量,毛苕子种植下 WSOC 占土壤 TOC 的比例较黑麦草处理增幅较大。与 CK 相比,黑麦草和毛苕子分别使 WSOC/TOC 提高了 18.7% 和 7.57%,说明两种牧草均有利于土壤 WSOC 的积累。

2.4 桃园生草对土壤轻组有机碳和重组有机碳的影响

土壤轻组有机碳作为土壤生物调节的重要基质和肥力指标,具有较高的潜在生物活性,周转快,在土壤碳氮循环中起着重要的作用,可作为土壤有机碳的活性指标^[26]。而重组有机碳则较为稳定,可反映有机碳的总体含量水平。不同生草类型桃园土壤 LFOC 和 HFOC 的分布状况如表 1 所示。不同牧草经腐解后引起桃园土壤不同组分有机碳变化差异较大,桃园土壤 LFOC 和 HFOC 呈现出截然相反的变化规律,且 HFOC 占总有机碳的比例较高。其中,毛苕子种植下的土壤 LFOC 含量最高,较 CK 提高了 11.3%;而黑麦草种植下的土壤 LFOC 含量最低,但两者差异不显著。并且在土壤 HFOC 占 TOC 的比例中,也是毛苕子较高,黑麦草较低,且二者差异显著。毛苕子处理较 CK 处理使土壤 HFOC 显著降低 13.2%,而黑麦草处理未产生显著影响。HFOC/TOC 的变化范围在 43.0%—46.0%之间,种植黑麦草显著提高了 HFOC 在土壤 TOC 的比例,而毛苕子的处理未达到显著,这与 HFOC 的变化趋势恰好相反。由此说明黑麦草可以起到积累土壤 HFOC 的作用。

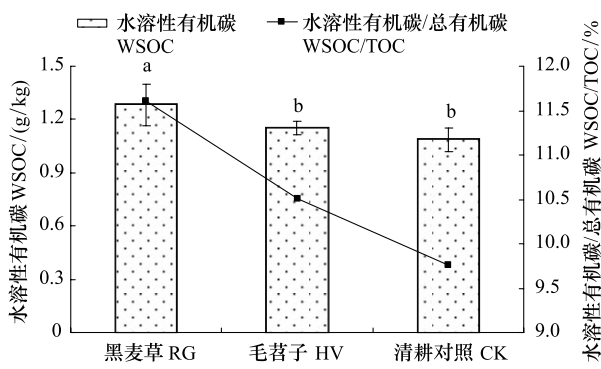


图 3 不同生草类型对土壤水溶性碳和占总有机碳比例的影响

Fig.3 Effect of grass types on soil WSOC and WSOC/TOC
WSOC:水溶性有机碳 Water-soluble organic carbon; WSOC/TOC:水溶性有机碳/总有机碳 Water-soluble organic carbon and total organic carbon ratio

表 1 不同生草类型对土壤轻组有机碳和重组有机碳的影响

Table 1 Effect of grass types on soil LFOC and HFOC

处理 Treatment	LFOC		HFOC	
	LFOC/(g/kg)	LFOC/TOC/%	HFOC/(g/kg)	HFOC/TOC/%
RG	0.75±0.04b	6.74±0.15c	5.12±0.06a	46.0±0.89a
HV	0.89±0.04a	8.56±0.27a	4.52±0.10b	43.4±0.33b
CK	0.80±0.02b	7.54±0.11b	5.21±0.03a	43.0±0.43b

不同小写字母表明差异显著 ($P<0.05$);RG:黑麦草 Ryegrass;HV:毛苕子 Hair vetch;CK:清耕对照 Clean cultivation control;LFOC:轻组有机碳 Light fraction organic carbon; HFOC:重组有机碳 Heavy fraction organic carbon;LFOC/TOC:轻组有机碳占总有机碳的比例 Light fraction organic carbon and total organic carbon ratio;HFOC/TOC:重组有机碳占总有机碳的比例 Heavy fraction organic carbon and total organic carbon ratio

2.5 桃园生草对土壤团聚体有机碳的影响

土壤团聚体在土壤保肥蓄水中起到重要作用。

采用 Six^[21] 的湿筛法,将土壤团聚体分为 4 级:>2000 μm,2000—250 μm,250—74 μm 和 <74 μm,以

研究不同粒级的土壤团聚体的变化。不同生草类型对土壤团聚体及其有机碳的影响如表 2 所示,桃园土壤水稳性团聚体含量也不相同。由表 2 可以看出,土壤团聚体的主要组成部分是 250—74 μm 粒级,约占土壤干重的 43.6—48.9%,其次为 2000—250 μm ,约占 28.6—31.1%,比例最小的是大团聚体(>2000 μm)。种植黑麦草显著提高了除 250—74 μm 以外各粒级团聚体含量,且黑麦草处理的增幅显著大于毛苕子处理(除微团聚体<74 μm),而种植毛苕子显著提高了>2000 μm 和<74 μm 的粒级含量。说明两种牧草的生长都有助于提高大团聚体和微团

聚体含量的,且禾本科牧草黑麦草优于豆科毛苕子。

不同粒级团聚体中的有机碳进行分析发现,不同生草物料显著影响团聚体内有机碳的分布,从而导致有机碳含量与团聚体含量变化趋势存在差异。同一处理不同粒级之间土壤水稳性团聚体有机碳含量随着团聚体粒径的增加而减少;与 CK 相比,黑麦草处理显著提高了土壤各粒级团聚体有机碳含量(除<74 μm 外),而毛苕子处理则显著降低了土壤各粒级团聚体有机碳含量(除>2000 μm 外)。因此,禾本科黑麦草有利于提高团聚体中有机碳的含量,豆科毛苕子不利于团聚体内有机碳含量的提高。

表 2 不同生草类型对土壤团聚体及其有机碳的影响

Table 2 Effect of grass types on soil aggregate and organic carbon

处理 Treatment	团聚体粒级 Aggregate fraction							
	>2000 μm		2000—250 μm		250—74 μm		<74 μm	
	粒级含量 Fraction content/%	粒级有机碳 Particulate organic carbon/ (g/kg)	粒级含量 Fraction content/%	粒级有机碳 Particulate organic carbon/ (g/kg)	粒级含量 Fraction content/%	粒级有机碳 Particulate organic carbon/ (g/kg)	粒级含量 Fraction content/%	粒级有机碳 Particulate organic carbon/ (g/kg)
RG	5.11±0.14a	10.72±0.23b	31.10±0.20a	8.03±0.07a	45.17±0.19b	5.56±0.90a	16.05±0.17a	4.49±0.03b
HV	4.32±0.03b	11.54±0.35a	28.50±0.11c	7.37±0.05c	43.90±0.35c	5.14±0.3b	16.01±0.12a	4.37±0.06c
CK	1.41±0.04c	8.89±0.18c	29.27±0.30b	7.88±0.13b	48.89±0.48a	5.20±0.05b	14.53±0.12b	4.56±0.05a

3 讨论

3.1 桃园生草对土壤总有机碳的影响

桃园生草后,大量的生草根系、刈割后覆盖的草以及桃树枯枝落叶等残体在土壤中有利于有机质的形成,从而得到本试验条件下种植黑麦草可以提高土壤有机碳^[2,6]。这与李华等^[8]研究所得多年生黑麦草使土壤有机质升高的结论一致,但是其平均增幅仅为 5.49%,而本实验达到 8.84%,主要是由于南北方水分、温度及土壤类型差异导致黑麦草生长状况不同,特别是对牧草的根系及生物量的影响。然而,种植毛苕子 1a 后土壤有机碳未出现显著差异,这与伊兴凯等^[27]研究梨园人工种植毛苕子 3a 未提高土壤有机质的结论一致,但是 5a 后仅提高了表层(0—15 cm)的土壤有机质;这充分证明了人工生草种植能否提高土壤有机质与生草年限有关^[28]。而张先来等^[29]研究证实豆科三叶草提高土壤有机碳的效果强于禾本黑麦草的结果不一致,这可能与牧草种类及生长的环境条件有关。

土壤有机质的增加与否很大程度也与有机质的

分解状况密切相关,这与目前免耕措施提高土壤有机质的结果一致^[30-31],较少的土壤扰动能有效地减少土壤有机质的降解。有长期田间试验研究表明,种草并没有提高土壤有机质的含量,可能是由于草残留物快速分解造成的^[2]。因此,桃园种植黑麦草可提高土壤 TOC,而毛苕子是否能够提高土壤 TOC 含量需根据土壤类型、种草时间和气候条件等进一步研究确定。

3.2 桃园生草对土壤微生物量碳和微生物商的影响

土壤 MBC 占土壤总有机碳的比例很小,但由于其具有较高的敏感性和活性,因而在土壤养分循环方面起着重要作用^[32]。桃园生长黑麦草能提高土壤 MBC,与在低肥力的农业生态系统中施用化肥一样可以促进植物生长,促进根系分泌物的升高,从而提高土壤 MBC 的结果一致^[33-34]。这主要是由于,一方面,生草栽培条件下,牧草及杂草秸秆富含纤维素、水溶性多糖、蛋白质等物质,通过刈割还田能激发土壤微生物的活性,促进微生物的繁殖,增强呼吸作用,从而引起微生物群落组成的变化;另一方面,草本植被主要是通过根系死亡脱落向土壤输入归还

有机质,由于草地较严实的覆盖地表,植物生物量大,返回土壤的植物残体多,较多的有机质维持较活跃的微生物群落,同时地表覆盖率大也会提高土壤的温度、增加土壤湿度,这也大大提高了微生物活性,增加了微生物数量,MBC 含量也会随之增加^[35]。另外,曹志平等^[36]研究发现,单施化肥可使土壤 MBC 降低,这可能是由于化肥抑制了土壤微生物的活性,但是施入有机物料后,这种抑制作用会减弱,从而进一步说明桃园生草对提高土壤 MBC 的重要作用。

土壤 MBC/TOC 在一定程度上反应了 MBC 在土壤中累积的状况。桃园人工种植黑麦草和毛苕子后都能提高 MBC/TOC,由于生草能增加土壤有机质,并且使土壤碳氮比发生变化,从而为土壤微生物生长提供了营养物质,促进土壤微生物的繁殖^[37]。但是禾本科的黑麦草优于豆科的毛苕子,可能是由于豆科毛苕子的固氮作用,本试验中人工生长黑麦草和毛苕子 1a 后,土壤 C/N 分别约为 25.4 和 23.0,一定程度说明了这种变化的原因;然而土壤 C/N 变化幅度较小,可能与生草时间较短有关。因此,还需要对此进行长期研究,并需加强测定土壤 C/N 在不同生育期的动态变化,以便更清楚地探明生草对土壤微生物量碳的影响。

3.3 桃园生草对土壤水溶性有机碳的影响

WSOC 作为土壤有机碳中易矿化的碳组分之一,已被作为判断微生物活动状况的重要指标^[38]。较多研究表明,WSOC 与 MBC 有很好的相关性^[39-40],这与在本文中的结果基本一致,即两种生草方式对土壤 WSOC 和 MBC 的影响具有相似性。两种生草方式都能够提高土壤 WSOC,主要是由于土壤覆草为微生物提供了碳源等能源物质,刺激了微生物的生长,从而使微生物可利用的 WSOC 含量上升^[41]。另外,牧草的根系以及微生物残体也可能提高 WSOC^[42-43]。而对于豆科牧草毛苕子,豆科作物的固氮作用使其根部及残渣的 C/N 降低,使其分解加快,进而提高了 WSOC 含量^[44],但是本文毛苕子未能提高了 WSOC,可能与种植毛苕子年限有关^[8]。

3.4 桃园生草对土壤轻组有机碳和重组有机碳的影响

LFOC 主要是由不同分解阶段的植物残体组成,植物凋落物是 LFOC 的主要来源物质^[45]。本试验结

果表明生长毛苕子可显著提高土壤 LFOC^[46],而生长黑麦草并没有显著提高土壤 LFOC,可能是由于黑麦草凋落物和枯死细根归还量较少。在 LFOC/TOC 中,毛苕子种植土壤 LFOC/TOC 显著高于黑麦草处理和 CK;而在 HFOC/TOC 中刚好相反,这可能是由于毛苕子是豆科绿肥,固氮效果较好,从而促进了二者组分的相互转换,HFOC 含量,升高活性组分 LFOC。桃园生草后土壤 HFOC 仍然是 TOC 的主要部分^[47],且黑麦草能显著提高 HFOC/TOC。因此,种植豆科牧草有利于土壤有机碳中较活跃的 LFOC 的积累,而对较稳定的 HFOC 影响不大。

3.5 桃园生草对土壤团聚体有机碳的影响

本试验中大团聚体(>250 μm)仅占到 TOC 不足一半,比例较大的是 250—74 μm 和 2000—250 μm 粒级的土壤团聚体,这可能是由于微团聚体是通过较多持久而稳固的有机质固定形成^[48],而大团聚体主要是根茬、菌丝等较新鲜的有机质并黏合微团聚体而成,大团聚体是由较小的团聚体加上有机质黏合而成,而翻耕使土壤扰动,破坏了大团聚体之间的胶结物质,使大团聚体分散,从而使大团聚体和微团聚体的组分含量较小。因而免耕可以显著提高大团聚体的含量^[30-31],并与免耕时间长短有关。对于 250—74 μm 和 2000—250 μm 两种粒级土壤团聚体组分的高低而言,可能是生草类型、土壤状况、施肥以及气候等因素共同作用的结果。

禾本科牧草显著增加了除 250—74 μm 的粒级含量,且有利于提高团聚体中有机碳的含量;这与土壤有机废物(如绿肥还田、粪肥等)有助于大粒径团聚体颗粒形成的研究结果一致^[49]。豆科牧草能提高土壤各粒级团聚体含量^[50-51],但不利于团聚体内有机碳含量的提高^[52],可能与豆科牧草的固氮作用有关,也有可能与土壤类型、气候、施肥量等有关,需要进一步研究。

4 结论

桃园种植黑麦草可显著提高土壤总有机碳、微生物量碳和水溶性有机碳含量;生长毛苕子能提高轻组有机碳,却降低了重组有机碳。黑麦草能显著提高土壤各粒级(>74 μm)团聚体有机碳含量,而毛苕子则显著降低土壤各粒级(<2000 μm)团聚体有机碳含量。无论何种生草方式,重组有机碳含量高

于轻组;相比于轻组有机碳与总有机碳之比,重组有机碳与总有机碳之比占主体部分;土壤团聚体比例最大的是 250—74 μm 粒级,2000—250 μm 次之。土壤微生物量碳、水溶性有机碳和轻组有机碳可作为评价桃园生草后土壤有机碳变化的敏感指标。

References:

- [1] Chen H S, Rang Z D. An elementary analysis on technique and benefits of covering orchard with grass. *Research of Soil and Water Conservation*, 1995, 2(1): 95-98.
- [2] Yao S R, Xue B Y. A review of orchard floor management. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1999, 30(2): 186-192.
- [3] Li C H, Wang Q, Hao S P. Advances of studies on the effect of soil physical properties on soil biological activity and crop growth. *Journal of He'nan Agricultural University*, 2002, 36(1): 32-37.
- [4] Glover J D, Reganold J P, Andrews P K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 2000, 80(1/2): 29-45.
- [5] Zhao J M, Zhao F. Explore soil management system on dry land apple orchard. *Journal of Fruit Sciences*, 1995, 12(1): 32-34.
- [6] Niu Z M, Li Q, Wang X P, Zhang Y P, Zhao H Y. Changes of organic matter and mineral elements in the soil and leaves in weed mulching orchard. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1997, 25(2): 61-64.
- [7] Xu M G, Wen S L, Gao J S. Effects of different forage planting model on soil and water conservation and environments in red hilly regions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(1): 77-80.
- [8] Li H, Hui Z M, Zhang Z W, Huang Y, Li E H. Effect of green covering on soil fertility and grape leaf nutrient content of vineyard. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(S1): 116-119.
- [9] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, Huang Y. Active soil organic matter and its relationship with soil quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513-519.
- [10] Liao X Y, Chen Z J, Liu S Q, Wang H M. Effects of land use types on soil fertility in small watershed in the Three Gorges Reservoir. *Ecology and Environment*, 2005, 14(1): 99-101.
- [11] Zhang G, Cao Z P, Hu C J. Soil organic carbon fractionation methods and their applications in farmland ecosystem research: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(7): 1921-1930.
- [12] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-328.
- [13] Jiang K P. Soil active carbon pool under different types of vegetation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(1): 10-13.
- [14] Zhang J B, Song C C. The sensitive evaluation indicators of effects of land-use change on soil carbon pool. *Ecology and Environment*, 2003, 12(4): 500-504.
- [15] Peck G M, Merwin I A, Thies J E, Schindelbeck R R, Brown M G. Soil properties change during the transition to integrated and organic apple production in a New York orchard. *Applied Soil Ecology*, 2011, 48(1): 18-30.
- [16] Gucci R, Caruso G, Bertoll C, Urbani S, Taticchi A, Esposto S, Servili M, Sifola M I, Pellegrini S, Pagliai M, Vignozzi N. Changes of soil properties and tree performance induced by soil management in a high-density olive orchard. *European Journal of Agronomy*, 2012, 41: 18-27.
- [17] Lu R K. *Chemical Analysis Method of Soil in Agriculture*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [18] Lin Q M, Wu Y G, Liu H L. Modification of fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(2): 63-66.
- [19] Zhang J K, Tao S, Cao J. Soil sample preservation and pretreatment for water soluble organic carbon determination. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(4): 174-176.
- [20] Janzen H H, Campbell C A, Brandt S A, Lafond G P, Townley-Smith L. Light-fraction organic-matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(6): 1799-1806.
- [21] Six J, Paustian K, Elliott E T, Combrink C. Soil structure and organic matter I: distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 681-689.
- [22] Xu M G, Yu R, Wang B R. Progress on the study of soil active organic matter. *Soil and Fertilizer*, 2000, (6): 3-7.
- [23] Huang X X, Tang X H, Wei C F, Xie D T. Effect of land use pattern on soil microbial carbon of purple paddy soil. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(6): 250-254.
- [24] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 68-75.
- [25] Li S F, Yu Y C, He S. Correlation between dissolved organic carbon and soil factors of the forest soil in southern of China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, 20(2): 119-123.
- [26] Wang J, Xie H T, Zhu P, Li X Y. Cannotation and modern analysis method for active soil organic matter (carbon). *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(6): 109-112.
- [27] Yi X K, Zhang J Y, Gao Z H, Pan H F, Xu Y L, Chen J H. Effect of different covering ways on the soil nutrition and fruit quality in Dangshansu pear garden. *Journal of NorthwestA&F University: Natural Sciences Edition*, 2012, 40(10): 161-166.
- [28] Liu H D, Hao S Y, Cao Q, Zhao G P. Effect of grass cover on soil nutrient and yield and quality of apple. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(3): 184-186.

- [29] Zhang X L. Study on the Eco-environmental Impacts of Interplanting Grass in Apple Orchards [D]. Xianyang: North West Agriculture and Forestry University, 2005.
- [30] Andruschkewitsch R, Geisseler D, Koch H J, Ludwig B. Effects of tillage on contents of organic carbon, nitrogen, water-stable aggregates and light fraction for four different long-term trials. *Geoderma*, 2013, 192: 368-377.
- [31] Bonilla D P, Martínez C C, Viñas P, Fuentes J Á. Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. *Geoderma*, 2013, 193-194: 76-82.
- [32] Sicardi M, García-Prézac F, Frioni L. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(2): 125-133.
- [33] Angers D A, Pesant A, Vigneux J. Early cropping induced changes in soil aggregation, organic matter, and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(1): 115-119.
- [34] He Z L, Wu J, O'Donnell A G, Syers J K. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 24(4): 421-428.
- [35] Yu W T, Ma Q, Zhao X, Zhou H, Li J D. Changes of soil active organic carbon pool under different land use types. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [36] Cao Z P, Hu C, Ye Z N, Wu W L. Impact of soil fertility maintaining practice on microbial biomass carbon in high production agro-ecosystem in northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1486-1493.
- [37] Fang S Z, Li H Y, Xie B D. Decomposition and nutrient release of four potential mulching materials for poplar plantations on upland sites. *Agroforestry Systems*, 2008, 74(1): 27-35.
- [38] Wang W J, Dalal R C, Moody P W, Smith C J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(2): 273-284.
- [39] Rees R M, Parker J P. Filtration increases the correlation between water extractable organic carbon and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(12): 2240-2248.
- [40] Zhang B, Peng X H, Zhao Q G, Hallett P D. Eluviation of dissolved organic carbon under wetting and drying and its influence on water infiltration in degraded soils restored with vegetation. *European Journal Soil Science*, 2004, 55(4): 725-737.
- [41] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, Tang C X. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4): 374-378.
- [42] Liang B C, Wang X L, Ma B L. Maize root-induced change in soil organic carbon pools. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(3): 845-847.
- [43] Guo J H, Piao H C, Zhang X S, Liu Q M. Effects of ecosystem alternation on soil carbohydrates. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1367-1370.
- [44] Yang J C, Han X G, Huang J H, Pan Q M. The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 787-796.
- [45] Boone R D. Light-fraction soil organic matter: origin and contribution to net nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, 26(11): 1459-1468.
- [46] Malhi S S, Brandt S, Gill K S. Cultivation and grassland type effects on light fraction and total organic C and N in a Dark Brown Chernozemic soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(2): 145-153.
- [47] Zhang J K, Jiang C S, Hao Q J, Wu Y, Xie D T. Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(14): 4379-4387.
- [48] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(3): 627-633.
- [49] Chivenge P, Vanlauwe B, Gentile R, Six J. Comparison of organic versus mineral resource effects on short-term aggregate carbon and nitrogen dynamics in a sandy soil versus a fine textured soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 140(3/4): 361-371.
- [50] Haynes R J, Beare M H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29(11/12): 1647-1653.
- [51] Milne R M, Haynes R J. Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa. *Soil Use and Management*, 2004, 20(1): 81-88.
- [52] Hernández-Hernández R M, López-Hernández D. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1563-1570.

参考文献:

- [1] 陈洪升, 杨振东. 浅析栖霞县果园覆草技术及其效益. *水土保持研究*, 1995, 2(1): 95-98.
- [2] 姚胜蕊, 薛炳焱. 果园地面管理研究进展. *山东农业大学学报*, 1999, 30(2): 186-192.
- [3] 李潮海, 王群, 郝四平. 土壤物理性质对土壤生物活性及作物生长的影响研究进展. *河南农业大学学报*, 2002, 36(1): 32-37.
- [5] 赵建民, 赵峰. 旱地苹果园土壤管理制度的探讨. *果树科学*, 1995, 12(1): 32-34.
- [6] 牛自勉, 李全, 王贤萍, 张玉萍, 赵红钰. 生草覆盖果园有机质及矿物质的变化. *山西农业科学*, 1997, 25(2): 61-64.

- [7] 徐明岗, 文石林, 高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应. 水土保持学报, 2001, 15(1): 77-80.
- [8] 李华, 惠竹梅, 张振文, 黄懿, 李二虎. 行间生草对葡萄园土壤肥力和葡萄叶片养分的影响. 农业工程学报, 2004, 20(S1): 116-119.
- [9] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 黄宇. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519.
- [10] 廖晓勇, 陈治谏, 刘邵权, 王海明. 三峡库区小流域土地利用方式对土壤肥力的影响. 生态环境, 2005, 14(1): 99-101.
- [11] 张国, 曹志平, 胡婵娟. 土壤有机碳分组方法及其在农田生态系统研究中的应用. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1921-1930.
- [13] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究. 林业科学, 2005, 41(1): 10-13.
- [14] 张金波, 宋长春. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标. 生态环境, 2003, 12(4): 500-504.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进. 生态学杂志, 1999, 18(2): 63-66.
- [19] 张甲坤, 陶澍, 曹军. 土壤中水溶性有机碳测定中的样品保存与前处理方法. 土壤通报, 2000, 31(4): 174-176.
- [22] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 土壤活性有机质的研究进展. 土壤肥料, 2000, (6): 3-7.
- [23] 黄雪夏, 唐晓红, 魏朝富, 谢德体. 不同利用方式对紫色水稻土微生物量碳的影响. 中国农学通报, 2007, 23(6): 250-254.
- [24] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75.
- [25] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 119-123.
- [26] 王晶, 解宏图, 朱平, 李晓云. 土壤活性有机质(碳)的内涵和现代分析方法概述. 生态学杂志, 2003, 22(6): 109-112.
- [27] 伊兴凯, 张金云, 高正辉, 潘海发, 徐义流, 陈加红. 不同覆盖方式对砀山酥梨园土养分及果实品质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(10): 161-166.
- [28] 刘蝴蝶, 郝淑英, 曹琴, 赵国平. 生草覆盖对果园土壤养分, 果实产量及品质的影响. 土壤通讯, 2003, 34(3): 184-186.
- [29] 张先来. 果园生草的生态环境效应研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2005.
- [35] 宇万太, 马强, 赵鑫, 周桦, 李建东. 不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [36] 曹志平, 胡诚, 叶钟年, 吴文良. 不同土壤培肥措施对华北高产农田土壤微生物生物量碳的影响. 生态学报, 2006, 26(5): 1486-1493.
- [41] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 唐才贤. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. 植物营养与肥料, 2001, 7(4): 374-378.
- [43] 郭景恒, 朴河春, 张晓山, 刘启明. 生态系统转换对土壤中碳水化合物的影响. 生态学报, 2002, 22(8): 1367-1370.
- [44] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 潘庆民. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796.
- [47] 张军科, 江长胜, 郝庆菊, 吴艳, 谢德体. 耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4379-4387.