

‘南丰蜜橘’园生草对土壤有机碳及其组分的影响

陈 苏¹, 谢建坤¹, 黄文新², 陈登云³, 彭晓剑⁴, 付学琴^{1*}

¹江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022; ²江西省农业厅, 南昌 330046;

³江西省高安市农业局, 江西高安 330800; ⁴安义县农业局, 江西安义 330500)

摘 要:【目的】探明果园生草后土壤有机碳及其组分的变化情况, 为构建合理的果园土壤管理模式提供科学依据, 进而推进‘南丰蜜橘’产业可持续发展。【方法】以‘南丰蜜橘’园为对象, 分析行间播种白三叶草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium multiflorum*)和清耕条件下土壤总有机碳(TOC)、微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(WSOC)、易氧化有机碳(ROC)、轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)、团聚体有机碳的差异。【结果】与清耕对照相比, 生草后能明显提高土壤 TOC、MBC、WSOC、ROC、LFOC、HFOC 的含量, 其中种植白三叶草后分别提高了 11.74%、52.69%、80.20%、67.95%、92.45%、18.08%, 种植黑麦草后分别提高了 3.72%、19.38%、23.35%、32.69%、56.60%、7.51%, 且 2 者间差异均达到显著水平, 表明豆科类牧草白三叶草处理在提高土壤各有机碳含量上优于禾本科类牧草黑麦草处理。生草处理能显著提高粒级 >2 000 μm 和粒级 250~2 000 μm 团聚体和团聚体中的有机碳含量, 降低粒级 53~250 μm 微团聚体占比。【结论】生草能明显提高‘南丰蜜橘’园土壤有机碳含量, 改善土壤结构稳定性, 提升土壤质量。

关键词: ‘南丰蜜橘’园; 果园生草; 土壤有机碳

中图分类号: S666.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)03-0285-08

Effects of sod culture on soil organic carbon and its components in a ‘Nanfeng tangerine’ orchard

CHEN Su¹, XIE Jiankun¹, HUANG Wenxin², CHEN Dengyun³, PENG Xiaojian⁴, FU Xueqin^{1*}

(¹College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, Jiangxi, China; ²Jiangxi Agriculture Department, Nanchang 330046, Jiangxi, China; ³Gaoan Agricultural Bureau, Gaoan 330800, Jiangxi, China; ⁴Anyi Agricultural Bureau, Anyi 330500, Jiangxi, China)

Abstract: 【Objective】*Citrus* is one of the important fruits in China. The area and output rank the first in the world. ‘Nanfeng tangerine’ is native to Nanfeng county, Jiangxi province. There is a cultivation history of 1 300 years. ‘Nanfeng tangerine’ is a well-known easy peeler in China. In the past years, ‘Nanfeng tangerine’ has been introduced and cultivated in many places due to its popularity in the domestic and foreign markets. In 2016, ‘Nanfeng tangerine’ planting area reached 75 000 hm² with a production of 1.3 million tons. ‘Nanfeng tangerine’ industry has become a pillar industry for local farmers to increase income. However, traditional orchard management with clear soil tillage has led to a series of ecological and environmental problems such as soil property degradation, soil erosion, environmental pollution, loss of biodiversity and weakening of system resistance, which not only reduces the productivity of the orchard, but also leads to production and quality decline of ‘Nanfeng tangerine’, and therefore restricts the sustainable development of ‘Nanfeng tangerine’ industry. Sod culture in orchard is the main model of eco-orchard construction in advanced countries such as European countries, the United States and Japan. It improves soil physical and chemical properties, increases soil organic matter content, maintains soil nutrient balance, ameliorates orchard ecological environment, and effectively solves the potential negative effect due to long-term tillage in orchard. In this study, the changes in soil organic

收稿日期: 2017-10-10 接受日期: 2017-12-07

基金项目: 国家自然科学基金(31760547)

作者简介: 陈苏, 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 植物微生态。Tel: 13870622919, E-mail: 996016206@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 18170819503, E-mail: 1203826333@qq.com

carbon and its components in orchards under sod culture and traditional clear tillage (control) were studied in order to provide the theoretical basis for the construction of reasonable soil management model and to promote the sustainable development of ‘Nanfeng tangerine’ industry. 【Methods】The experiment was conducted in a ‘Nanfeng tangerine’ orchard with three treatments: sod culture with *Trifolium repens*, sod culture with *Lolium multiflorum* and clear tillage as control. The grasses were planted by inter-row sowing in the spring of 2014. The average sowing volume was $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, mowed twice a year, and covered *in situ*. In the control plots, weeding was regularly implemented. We took the soil samples at different layers from 0 to 40 cm in depth 30 to 40 cm away from the trunk using the five-point method in mid-October 2016. We tried to minimize the disturbance of soil samples during the collection and transport processes, so as not to damage soil aggregates. Field samples were divided into three equal portions: one for the determinations of soil nutrients and total organic carbon (TOC), microbial biomass carbon (MBC), water-soluble organic carbon (WSOC) and easily oxidized organic carbon (ROC); one for the determinations of organic carbon component library in soil aggregates (where soil samples were gently broken into small pieces, and then screened through the 5 mm sieve to break the large aggregates, and finally dried naturally); one for the determinations of light organic carbon (LFOC) and recombinant organic carbon (HFOC) (grinded after naturally dried and screened through 2 mm sieve). Organic matter and gravel ($>2 \text{ mm}$) were discarded during the grinding process. 【Results】The contents of TOC, MBC, WSOC, ROC, LFOC and HFOC in sod culture with white clover were $11.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $690.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $355 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $2.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $5.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, which were increased by 11.74%, 52.69%, 80.20%, 67.95%, 92.45% and 18.08% compared with the control, respectively. The contents of TOC, MBC, WSOC, ROC, LFOC and HFOC in sod culture with ryegrass were $10.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $540.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $243 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $2.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $4.58 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, which were 3.72%, 19.38%, 23.35%, 32.69%, 56.60% and 7.51% higher than the control, respectively. The difference between the two treatments was significant. There were some differences in the content of soil aggregates with different particle sizes in different treatments. Compared with the control, the content of micro-aggregates ($>2 \text{ 000 } \mu\text{m}$) in the treatments with ryegrass and white clover increased by 311.66% and 205.52%, respectively. The content of aggregates ($250\text{--}2 \text{ 000 } \mu\text{m}$) increased by 16.86% and 39.76%, respectively, and the contents of micro-aggregates ($53\text{--}250 \mu\text{m}$) were reduced by 14.59% and 23.04%, respectively, and the differences were significant. There was no significant difference in the content of micro-aggregates ($<53 \mu\text{m}$). The organic carbon content in large soil aggregates ($>2 \text{ 000 } \mu\text{m}$ and $250\text{--}2 \text{ 000 } \mu\text{m}$) increased significantly in sod culture treatments, but there was little effect on the organic carbon content in micro-aggregates ($53\text{--}250 \mu\text{m}$ and $<53 \mu\text{m}$). 【Conclusion】The contents of soil TOC, MBC, WSOC, ROC, LFOC and HFOC, soil texture and soil quality were improved by sod culture, and the treatment with the legume white clover was better than that with grass rye grass in improving soil organic carbon content. In addition, sod culture significantly raised the amount of soil aggregates ($>2 \text{ 000 } \mu\text{m}$ and $250\text{--}2 \text{ 000 } \mu\text{m}$) and the organic carbon contents in the aggregates, and reduced the micro-aggregate ($53\text{--}250 \mu\text{m}$) content and effectively improved the stability of soil structure.

Key words: ‘Nanfeng tangerine’ orchard; Orchard sod culture; Soil organic carbon

‘南丰蜜橘’原产于江西省南丰县,是我国柑橘类中的著名良种。近年来,‘南丰蜜橘’在市场上非常畅销,多地广泛推广种植,2016年‘南丰蜜橘’种植面积达7.6万 hm^2 ,产量达132万t。然而,长期采

用传统清耕制管理模式,导致果园出现了土壤质量下降、肥力降低、病虫害加重、土壤侵蚀等一系列生态环境问题,对‘南丰蜜橘’产量、品质和种植效益带来严重影响^[1-2]。因此,改善果园土壤质量状况、提高

土壤肥力是需要重点关注的问题。

生草栽培是一种先进的果园土壤管理模式,可以明显改善果园土壤理化性状、提高土壤有机质含量、改善果园生态环境、有效解决果园长期清耕制带来的负面危害^[3-5],因此正得到试验推广。果园土壤有机质来源于各种动植物和微生物残体不同阶段分解的产物,是各种有机碳积累和矿化分解平衡后的结果,不能直接反映果园土壤质量变化特征^[6-7]。然而,果园土壤有机质中所含的有机碳既是果园土壤微生物活动物质和能量的源泉,也是果树营养的重要来源,其含量变化可直接导致果园土壤养分循环的变化,可作为评价果园土壤质量的一个重要指标。果园土壤中的微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(WSOC)、易氧化有机碳(ROC)、轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)等活性有机碳较总有机碳(TOC)对果园管理措施改变而导致的土壤质量变化反应更加灵敏,因此,活性有机碳被列为土壤质量变化的敏感性指标^[8]。深入研究生草条件下果园土壤有机碳及其组分的变化规律,对于改善果园土壤质量状况,促进果业可持续发展具有十分重要的意义。目前,国内外已对生草条件下果园土壤有机质碳的变化动态开展了一系列研究,但研究结果不尽一致^[9],需要进一步深入探讨。笔者以传统清耕方式为对照,探讨生草对‘南丰蜜橘’园土壤有机碳含量的影响,旨在探明‘南丰蜜橘’园生草后土壤有机碳含量及其组分的变化特性,为改善土壤质量状况、构建合理的果园土壤管理模式提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本试验于2015—2016年在江西省南丰县‘南丰蜜橘’产业研究所基地进行。该基地位于东经116°26′,北纬26°35′,属亚热带季风气候,年平均气温18.3℃,年平均降水量1700mm,年平均日照数1928.2h,无霜期269d左右。橘园面积约20hm²,为低丘缓坡地,土壤属黄红壤,有机质含量(ω ,后同)9.24g·kg⁻¹,全氮含量4.15g·kg⁻¹,全磷含量0.21g·kg⁻¹,全钾含量4.06g·kg⁻¹,碱解氮含量57.12mg·kg⁻¹,速效磷含量40.23mg·kg⁻¹,速效钾含量18.22mg·kg⁻¹,pH值为4.71。‘南丰蜜橘’树龄(嫁接后)5a(年)。

1.2 试验设计

设种植白三叶草(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lo-*

lium multiflorum)和清耕(CK)3个处理。采取单因素随机区组设计,每个处理3次重复,每个处理小区面积为1.0hm²。生草栽培于2014年春季进行,行间播种,连续3a播种,撒播种量平均为30kg·hm⁻²,每年5月中下旬刈割,同年11月中下旬进行再次刈割、翻压,白三叶草和黑麦草的产草生物量分别约为32.5和28.2t·hm⁻²;清耕处理定期进行中耕除草。各处理其他措施基本一致,常规管理。

1.3 样品采集与测定

2016年10月中旬,按五点法在各处理小区取土壤样品。在离橘树主茎中心30~40cm处,用土钻取0~40cm土层的土样,分层混匀。在采集和运输过程中,尽量减少对土样的扰动,以免破坏土壤团聚体。田间采集的土样分成3份,1份用于测定土壤养分和土壤总有机碳(TOC)、微生物量碳(MBC)、水溶性有机碳(WSOC)、易氧化有机碳(ROC)含量;1份轻轻掰成小块,然后通过5mm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;1份自然风干后磨碎,过2mm筛,用于测定轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)含量。在研磨过程中弃去直径大于2mm的有机物和砂砾。

TOC含量采用重铬酸钾外加热法测定^[10],MBC含量采用氯仿熏蒸-K₂SO₄浸提法测定^[11],WSOC含量采用蒸馏水浸提法测定^[12],ROC含量采用KMnO₄氧化比色法测定^[13],LFOC含量和HFOC含量采用密度法测定^[14],水稳性团聚体有机碳含量采用湿筛法测定^[15]。

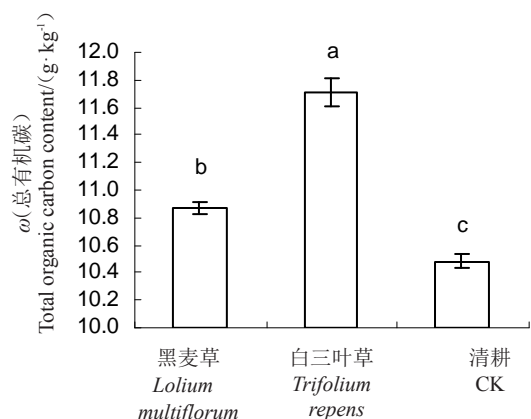
1.4 数据处理

采用V7.55版DPS和Microsoft Excel 2003软件进行数据整理、方差分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 不同生草类型对土壤总有机碳含量的影响

从图1可知,‘南丰蜜橘’园生草使土壤总有机碳含量增加,有利于土壤有机碳的积累。白三叶草处理土壤总有机碳含量(ω ,后同)为11.71g·kg⁻¹,明显高于黑麦草处理,且差异达到显著水平。与对照相比,白三叶草处理使土壤总有机碳含量提高了11.74%,而黑麦草处理提高了3.72%。说明‘南丰蜜橘’园生草能增加土壤总有机碳含量,且豆科类牧草白三叶草处理明显优于禾本科类牧草黑麦草处理。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。
Different small letters indicate significant difference among different treatments at $P < 0.05$. The same below.

图 1 不同生草类型对土壤总有机碳的影响
Fig. 1 Effect of sod culture with different grass types on soil TOC

2.2 不同生草类型对土壤活性有机碳含量的影响

2.2.1 不同生草类型对土壤微生物量碳含量和微生物商的影响

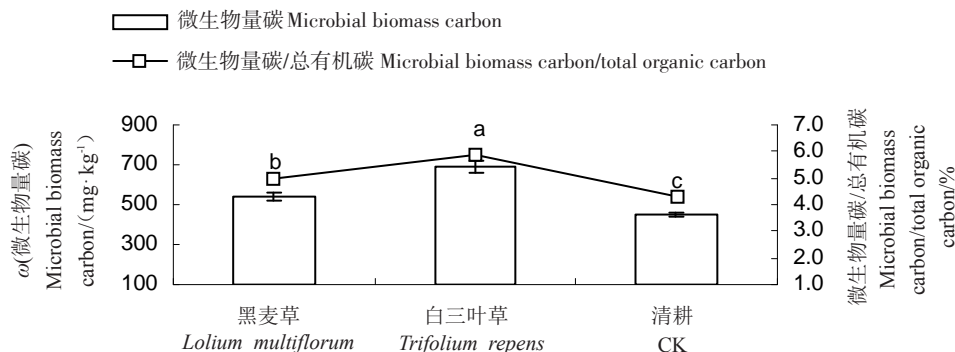


图 2 不同生草类型对土壤微生物量碳和微生物商的影响

Fig. 2 Effect of grass types on soil microbial biomass carbon and its percentage against total organic carbon

2.2.2 不同生草类型对土壤水溶性有机碳含量的影响

土壤水溶性有机碳作为生物活性有机碳容易被土壤微生物分解,虽然它只占土壤有机碳的较小部

物商的影响 微生物量碳作为土壤活性碳的表征指标,是土壤有效碳库的重要组成部分,可以反映出土壤能量循环、养分转移和运输状况。从图 2 可知,‘南丰蜜橘’园 3 种不同土壤管理方式下土壤微生物量碳含量存在显著性差异,白三叶草处理的土壤微生物量碳含量(ω , 后同)为 $690.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,黑麦草处理为 $540.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,都明显高于对照 ($452.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),说明生草处理有利于提高土壤微生物量碳含量,增强土壤微生物活性。

微生物商(MBC/TOC)是土壤微生物量碳含量与总有机碳含量的比值。从图 2 可以看出,不同生草类型的土壤微生物商与微生物量碳含量的变化趋势一致,按照从大到小依次为:白三叶草>黑麦草>清耕,数值分别为 5.9%、4.97%和 4.32%。说明‘南丰蜜橘’园生草不仅可以提高土壤微生物量碳含量,而且还能提高土壤微生物商,且豆科类牧草白三叶草处理明显优于禾本科类牧草黑麦草处理。

分,却在维持土壤养分和生物学肥力方面发挥着重要的作用。由图 3 可知,‘南丰蜜橘’园生草均能增加土壤水溶性有机碳含量,但不同生草类型之间存

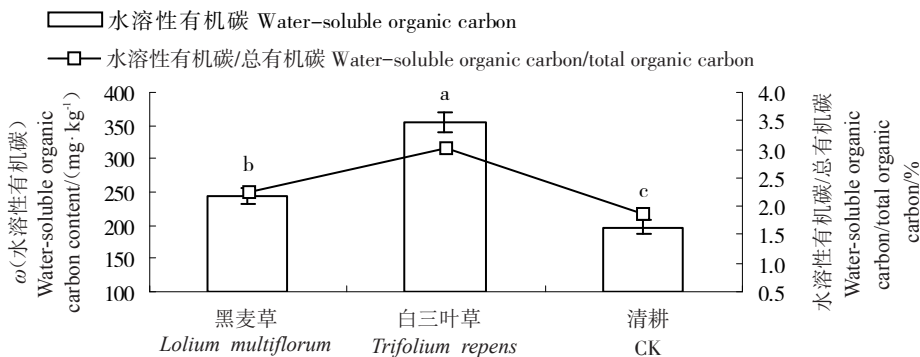


图 3 不同生草类型对土壤水溶性碳和水溶性碳占总有机碳比例的影响

Fig. 3 Effect of grass types on soil water-soluble organic carbon and its percentage against total organic carbon

在显著性差异。白三叶草处理的土壤水溶性有机碳含量(ω ,后同)为355 mg·kg⁻¹,比对照提高80.20%;而黑麦草处理的土壤水溶性有机碳含量为243 mg·kg⁻¹,比对照提高23.35%。

土壤水溶性有机碳含量占总有机碳含量的比例与土壤水溶性有机碳含量的趋势一致,从大到小顺序为:白三叶草>黑麦草>清耕,数值分别为3.03%、2.24%和1.88%。说明不同生草类型均有利于土壤水溶性有机碳的积累,且豆科类牧草白三叶草处理明显优于禾本科类牧草黑麦草处理。

2.2.3 不同生草类型对土壤易氧化有机碳含量的影响 易氧化有机碳作为土壤有机碳中周转最快的组分,是土壤有机质动态变化的敏感指标,可用于指示土壤有机质的早期变化。由图4可知,‘南丰蜜橘’园生草均能增加土壤易氧化有机碳含量,但不同生草类型之间存在显著性差异。白三叶草处理的土壤易氧化有机碳含量(ω ,后同)为2.62 g·kg⁻¹,比对照提高67.95%;而黑麦草处理的土壤易氧化有机碳含量为2.07 g·kg⁻¹,比对照提高32.69%。

土壤易氧化有机碳含量占总有机碳含量的比例

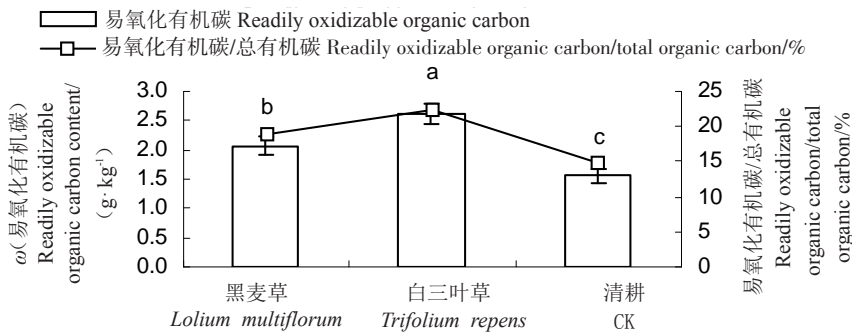


图4 不同生草类型对土壤易氧化有机碳和占总有机碳比例的影响

Fig. 4 Effect of grass types on soil readily oxidizable organic carbon and its percentage against total organic carbon

与土壤易氧化有机碳含量的趋势一致,从大到小顺序为:白三叶草>黑麦草>清耕,数值分别为22.37%、19.04%和14.89%。说明不同生草类型均能显著增加土壤易氧化有机碳含量,且豆科类牧草白三叶草处理优于禾本科类牧草黑麦草处理。

2.2.4 不同生草类型对土壤轻组有机碳、重组有机碳含量的影响 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,有较高的潜在生物活性,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。而重组有机碳则较为稳定,可反映有机碳的总体含量水平。由表1可知,不同生草类型轻组有机碳含量与重组有机碳含量变化趋势大体一致,且重组有机碳含量占总有机碳含量的比例明显高于轻组有机碳。与对照相比,白三叶草、黑麦草处理使土壤轻组有机碳含量和重组有机碳含量分别提高了92.45%、56.60%和18.08%、7.51%,且差异达到显著水平。说明‘南丰蜜橘’园生草有利于土壤轻组有机碳和重组有机碳的积累,且豆科类牧草白三叶草处理明显优于禾本科类牧草黑麦草处理。

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	
	ω / (g·kg ⁻¹)	LFOC/ TOC/%	ω / (g·kg ⁻¹)	HFOC/ TOC/%
黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i>	0.83± 0.05 b	7.64± 0.13 b	4.58± 0.05 b	42.13± 0.82 a
白三叶草 <i>Trifolium repens</i>	1.02± 0.03 a	8.71± 0.12 a	5.03± 0.12 a	42.95± 0.91 a
清耕 CK	0.53± 0.06 c	5.06± 0.04 c	4.26± 0.07 c	40.65± 0.75 b

注:LFOC. 轻组有机碳; HFOC. 重组有机碳; TOC. 总有机碳。

Note: LFOC. Light fraction organic carbon; HFOC. Heavy fraction organic carbon; TOC. Total organic carbon.

2.3 不同生草类型对土壤团聚体及其有机碳含量的影响

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,具有水稳性、力稳性和孔性,是保证果树优质生产所必需的土壤条件之一。笔者采用湿筛法,将土壤团聚体分>2 000 μm、250~2 000 μm、53~250 μm和<53 μm 4个级别,用于研究团聚体变化。由表2可知,不同生草类型各粒径土壤团聚体占比存在一定差异。与对照相比,除<53 μm微团聚体占比差异不显著外,黑

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							
	>2 000 μm		250~2 000 μm		53~250 μm		<53 μm	
	粒级占比 Fraction proportion/%	ω (粒级 有机碳) Particulate organic carbon content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	粒级占比 Fraction proportion/%	ω (粒级 有机碳) Particulate organic carbon content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	粒级占比 Fraction proportion/%	ω (粒级 有机碳) Particulate organic carbon content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	粒级占比 Fraction proportion/%	ω (粒级 有机碳) Particulate organic carbon content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i>	6.71±0.03 a	14.69±0.21 a	27.45±0.78 c	12.81±0.39 c	42.33±1.50 b	9.00±0.53 c	23.51±0.16 b	10.88±0.55 a
白三叶草 <i>Trifolium repens</i>	4.98±0.15 b	12.69±0.73 c	32.83±1.53 a	14.75±0.66 a	38.14±1.61 d	9.45±0.86 b	24.05±0.19 b	10.95±0.86 a
清耕 CK	1.63±0.06 c	10.18±0.22 d	23.49±0.41 d	10.23±0.14 d	49.54±1.24 a	11.06±0.91 a	25.34±0.42 a	11.06±0.91 a

麦草、白三叶草处理使粒级>2 000 μm 大团聚体占比分别增加311.66%、205.52%，使粒级250~2 000 μm 大团聚体占比分别增加16.86%、39.76%，使粒级53~250 μm 微团聚体占比降低14.55%、23.01%，且差异均达到显著水平。说明不同生草处理能明显提高大团聚体占比，有效改善土壤结构的稳定性，提升土壤质量。

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占比存在差异。黑麦草处理团聚体有机碳含量随着粒径的增加呈现出先下降后上升的趋势，而白三叶草处理团聚体有机碳含量随着粒径的增加呈现出先下降后上升再下降的趋势。与对照相比，不同生草处理显著提高了粒级>2 000 μm 和250~2 000 μm 团聚体中有机碳含量，而对粒级53~250 μm 和<53 μm 团聚体中有机碳含量影响不大。

3 讨论

3.1 生草对‘南丰蜜橘’园土壤总有机碳含量的影响

覆盖、耕作、免耕、施肥等农业生产管理措施影响着土壤碳素转化过程，并对土壤有机碳的组成结构、含量等产生显著的影响^[16]。笔者发现，‘南丰蜜橘’园生草增加了果园活地被物，形成了果园复层结构，有利于增加土壤有机碳的输入。尤其是生草刈割后覆盖的草、根系及根系的分泌物，为土壤有机碳提供了稳定而丰富的来源，使‘南丰蜜橘’园土壤中TOC含量平均增幅达到了7.73%，此研究结论与李华等^[4]、刘富庭等^[17]研究所得多年生黑麦草使果园土壤有机质升高的结论基本一致，但与伊兴凯等^[18]研究发现的梨园人工种植毛叶苕子3 a未提高果园土壤有机质含量的结论不同，其主要原因可能与土壤类

型、种草时间和气候条件等因素有关，具体机制还需进一步研究探讨。同时，笔者还发现，豆科类牧草白三叶草处理使‘南丰蜜橘’园土壤TOC含量增幅达到11.74%，明显高于禾本科类牧草黑麦草处理的3.72%，与张先来^[19]研究结果基本一致，其主要原因可能是牧草的根系及生物量不同。

3.2 生草对‘南丰蜜橘’园土壤活性有机碳含量的影响

土壤活性有机碳一般用MBC、WSOC和ROC等来表征。活性有机碳容易受到环境条件的影响，能够在土壤总有机碳变化之前反映出土壤微小的变化；又直接参与了土壤生物化学反应过程，与土壤的内在生产力具有密切的相关性。

土壤MBC含量占土壤有机碳总量的1%~5%，但由于MBC具有较高的敏感性，因而在维持土壤养分分解、转化等方面有着很重要的作用^[20]。本研究结果表明，生草处理后，‘南丰蜜橘’园土壤中MBC含量显著增加，平均增幅达到36.04%，这主要是因为生草处理既有利于改善果园土壤的温度和水分等条件，为土壤微生物生长营造良好的生存环境；又能减少对果园土壤的扰动，特别是牧草根系的分泌物和枝叶残体为果园土壤中微生物的活动提供大量必需的营养物质，促进了果园土壤微生物的生长繁殖，土壤MBC含量随之增加，与前人大部分研究结果相一致^[21-22]。同时，笔者还发现，豆科类牧草白三叶草处理使‘南丰蜜橘’园土壤MBC含量增幅达到52.69%，明显高于禾本科类牧草黑麦草处理(19.39%)，这与王耀锋等^[23]研究得出的桃园种植禾本科类黑麦草比豆科类毛苕子更有利于土壤MBC含量提高的研究结论不一致，其具体原因还需进一步分析确定。

土壤 WSOC 含量占土壤有机碳含量的比例较低,一般不到3%^[24],但由于 WSOC 属于土壤有机碳中易矿化的碳组分之一,且与土壤中的 MBC 具有高度的相关性,因而可作为判断微生物活动状况的重要指标。本研究结果表明,生草处理显著提高了‘南丰蜜橘’园土壤 WSOC 含量,这主要是因为生草处理可以为果园土壤微生物提供更多的碳源等能量物质,刺激土壤微生物生长繁殖,从而使微生物可利用的果园土壤 WSOC 含量上升;同时也可以明显增加牧草根系及微生物残体数量,增加果园土壤 WSOC 含量。同时,笔者还发现,豆科类牧草白三叶草处理使‘南丰蜜橘’园土壤 WSOC 含量增幅达到 80.20%,明显高于禾本科黑麦草类牧草处理的 23.35%,与前人大部分研究结果相一致^[18-19,25-26],其主要原因可能是豆科类牧草的固氮作用使其根部及残渣的 C/N 下降,加快了其分解的进程,进而提高了果园土壤 WSOC 含量,其具体的转化机制还需要进一步深入研究。

土壤 ROC 含量占土壤有机碳含量比例一般比较大,为 13%~28%。ROC 既是土壤微生物的重要能源物质,也是植物营养的主要来源。笔者发现,生草处理显著提高了‘南丰蜜橘’园土壤 ROC 的含量,这主要是因为生草处理为果园土壤有机碳提供了更多的来源,使果园土壤 TOC 含量得到显著提高。同时,笔者还发现,豆科类牧草白三叶草处理使果园土壤 ROC 含量增幅达到 67.95%,明显高于禾本科类牧草处理的 32.69%,这可能与豆科类牧草和禾本科类牧草的生物量不同相关,具体原因还需要进一步探讨。

3.3 生草对‘南丰蜜橘’园土壤团聚体及其有机碳含量的影响

土壤团聚体是一种由土壤颗粒胶结形成的粒状或小团块状的结构体,团聚体的数量和质量不仅决定土壤肥力的高低,而且还与土壤的抗蚀能力、固碳容量和环境质量等有直接的关系。土壤团聚过程是土壤固碳中最为重要的途径之一。本试验条件下,生草处理可以显著提高‘南丰蜜橘’园土壤中>250 μm 大团聚体占比,与前人大部分研究结果一致^[24,27],这主要是由于在果园土壤水稳性团聚体形成过程中,生草刈割后覆盖的草不仅增加了土壤中新鲜有机物的输入,而且使土壤中植物根系、土壤动物、微生物及其代谢产物增多,增加了土壤中有机胶结物质和载体介质含量,从而促进了果园土壤中>250 μm 大团聚体的形成。但王英俊等^[27]研究表明,间作

白三叶牧草未对苹果园土壤>250 μm 粒级团聚体占比产生明显的影响,这可能与果园土壤状况有关。

土壤各粒级团聚体有机碳含量是果园土壤有机质平衡和矿化速率的微观表征,对果园土壤碳汇和土壤肥力具有双重意义。本研究结果表明,生草处理显著提高了‘南丰蜜橘’园土壤中>250 μm 大团聚体中有机碳含量,与已有的研究结果一致^[27],这主要是由于生草刈割后覆盖的草不仅增加了新鲜有机物的输入,而且减少了果园土壤扰动;而传统的果园清耕,使得果园土壤中大团聚体遭到破坏,加速了果园土壤团聚体有机碳的分解速率,从而影响团聚体有机碳的蓄存。

参考文献 References:

- [1] 丁明华,涂艺声.不同产地南丰蜜橘果实品质和蔗糖代谢相关酶研究[J].安徽农业科学,2012,40(17):9233-9235.
DING Minghua, TU Yisheng. Study on fruit qualities and sucrose-metabolizing enzymes in *Citrus reticulata* Blanco var. *kinokuni* (Tanaka) H. H. Hu from six different places[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(17): 9233-9235.
- [2] 方治军,徐小彪,辜青青,刘善军,曲雪艳,陈金印.江西不同产地南丰蜜橘果实品质分析[J].中国南方果树,2009,38(3):22-23.
FANG Zhijun, XU Xiaobiao, GU Qingqing, LIU Shanjun, QU Xueyan, CHEN Jinyin. Analysis from different habitats of Jiangxi Nanfeng orange fruit quality[J]. China Southern Fruit, 2009, 38(3): 22-23.
- [3] 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[J].山西农业科学,1997,25(2):61-64.
NIU Zimian, LI Quan, WANG Xianping, ZHANG Yuping, ZHAO Hongyu. Changes of organic matter and mineral elements in the soil and leaves in weed mulching orchard[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1997, 25(2): 61-64.
- [4] 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[J].农业工程学报,2004,20(S1):116-119.
LI Hua, HUI Zhumei, ZHANG Zhenwen, HUANG Yi, LI Erhu. Effect of green covering on soil fertility and grape leaf nutrient content of vineyard[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(S1): 116-119.
- [5] 白龙,陈雪,王洲,吕德国,赵波.苜蓿和老芒麦生草对苹果园土壤氮素矿化的影响[J].园艺学报,2015,42(12):2469-2477.
BAI Long, CHEN Xue, WANG Zhou, LÜ Deguo, ZHAO Bo. The effects of different grass species on soil nitrogen mineralization in apple orchard[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(12): 2469-2477.
- [6] LIU M Y, CHANG Q R, QI Y B. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the table land of the Loess Plateau of China[J]. Catena, 2014, 115(3): 19-28.
- [7] 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[J].生态学报,2005,25(3):513-519.
WANG Qingkui, WANG Silong, FENG Zongwei, HUANG Yu. Active soil organic matter and its relationship with soil quality [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 513-519.
- [8] 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[J]. 生态环境学报, 2005, 14(1): 99-101.
- LIAO Xiaoyong, CHEN Zhijian, LIU Shaoquan, WANG Haiming. Effects of land use types on soil fertility in small watershed in the Three Gorges Reservoir[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2005, 14(1): 99-101.
- [9] 字万太, 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[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2013-2016.
- YU Wantai, MA Qiang, ZHAO Xin, ZHOU Hua, LI Jiandong. Changes of soil active organic carbon pool under different land use types[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2013-2016.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Rukun. Chemical analysis method of soil in agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [11] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 63-66.
- LIN Qimei, WU Yuguang, LIU Huanlong. Modification of fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon[J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(2): 63-66.
- [12] 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[J]. 土壤通报, 2000, 31(4): 174-176.
- ZHANG Jiakun, TAO Shu, CAO Jun. Soil sample preservation and pretreatment for water soluble organic carbon determination [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(4): 174-176.
- [13] 张帅, 许明祥, 张亚锋, 王超华, 陈盖. 黄土丘陵区土地利用变化对深层土壤活性碳组分的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 661-668.
- ZHANG Shuai, XU Mingxiang, ZHANG Yafeng, WANG Chao-hua, CHEN Gai. Effects of land use change on soil active organic carbon in deep soils in hilly loess plateau region of northwest China[J]. Environmental Science, 2015, 36(2): 661-668.
- [14] JANZEN H H, CAMPBELL C A, BRANDT S A, LAFOND G P, TOWNLEY S L. Light-fraction organic-matter in soils from long-term crop rotations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(6): 1799-1806.
- [15] SIX J, PAUSTIAN K, ELLIOTT E T, COMBRINK C. Soil structure and organic matter I: distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(2): 681-689.
- [16] VIEIRA F C, BAYER B C, ZANATTA J A. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long term no-till cropping system[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 96(6): 195-204.
- [17] 刘富庭, 张林森, 李雪薇, 李丙智, 韩明玉, 谷洁, 王晓琳. 生草对渭北旱地苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 355-363.
- LIU Futing, ZHANG Linsen, LI Xuwei, LI Bingzhi, HAN Mingyu, GU Jie, WANG Xiaolin. Effects of inter-row planting grasses on soil organic carbon fractions and soil microbial community of apple orchard in Weibei dryland[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(2): 355-363.
- [18] 伊兴凯, 张金云, 高正辉, 潘海发, 徐义流, 陈加红. 不同覆盖方式对砷山酥梨园土养分及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(10): 161-166.
- YI Xingkai, ZHANG Jinyun, GAO Zhenghui, PAN Haifa, XU Yiliu, CHEN Jiahong. Effect of different covering ways on the soil nutrition and fruit quality in Dangshansu pear garden[J]. Journal of Northwest Agriculture & Forestry University (Natural Science Edition), 2012, 40(10): 161-166.
- [19] 张先来. 果园生草的生态环境效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- ZHANG Xianlai. Study on the eco-environmental impacts of interplanting grass in apple orchards[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2005.
- [20] WU J, JOERGENSEN R G, POMMERENING B. Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction-an automated procedure[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1990, 22(8): 1167-1169.
- [21] 赵军, 耿增超, 尚杰, 耿荣, 王月玲, 王森, 赵宏飞. 生物炭及炭基硝酸铵对土壤微生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2355-2362.
- ZHAO Jun, GENG Zengchao, SHANG Jie, GENG Rong, WANG Yueling, WANG Sen, ZHAO Hongfei. Effects of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(8): 2355-2362.
- [22] 刘灵芝, 吕德国, 秦嗣军, 马怀宇, 杜国栋, 刘国成. 生草覆盖‘寒富’苹果园土壤优势细菌的碳代谢特征研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1837-1846.
- LIU Lingzhi, LÜ Deguo, QIN Sijun, MA Huaiyu, DU Guodong, LIU Guocheng. Carbon catabolic characteristics about the soil dominant bacteria from ‘Hanfu’ apple orchard with herbage-mulching management[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 1837-1846.
- [23] 王耀锋, 邵玲玲, 刘玉学, 吕蒙蒙, 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[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 6002-6010.
- WANG Yaofeng, SHAO Lingling, LIU Yuxue, LÜ Haohao, CHEN Qingfei, LIAO Min, YANG Shengmao. Effects of interplanting grass on soil organic carbon and active components of carbon pool in peach orchard[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 6002-6010.
- [24] 李侠. 封育对宁夏荒漠草原土壤有机碳及团聚体稳定性的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- LI Xia. Effects of enclosure management on soil organic carbon and aggregate stability of desert-steppe in Ningxia[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014.
- [25] 汪伟, 杨玉盛, 陈光水. 罗浮栲天然林土壤可溶性有机碳的剖面分布及季节变化[J]. 生态学杂志, 2008, 27(6): 924-928.
- WANG Wei, YANG Yusheng, CHEN Guangshui. Profile distribution and seasonal variation of soil dissolved organic carbon in natural castanopsis fabric forest in subtropical[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(6): 924-928.
- [26] 李会科, 李金玲, 王雷存. 种间互作对苹果/白三叶复合系统根系生长及分布的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(6): 960-968.
- LI Huike, LI Jinling, WANG Leicun. Effects of interspecific interaction on the growth and distribution of roots in apple-white clover intercropping system[J]. Acta Agrestia Sinica, 2011, 19(6): 960-968.
- [27] 王英俊, 李同川, 张道勇, 贾曼莉, 李会科, 曹卫东. 间作白三叶对苹果/白三叶复合系统土壤团聚体及团聚体碳含量的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 485-493.
- WANG Yingjun, LI Tongchuan, ZHANG Daoyong, JIA Manli, LI Huike, CAO Weidong. Effects of intercropping white clover on soil aggregates and soil organic carbon of aggregates in apple-white clover intercropping system[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(3): 485-493.