

# 生草不同条件还田对桃园土壤微生物、 酶活性及养分供应的影响

郭新送<sup>1</sup>, 张娟<sup>4</sup>, 巩有才<sup>2</sup>, 李巧玉<sup>2</sup>, 杜栋梁<sup>5</sup>, 陈士更<sup>2</sup>, 刘同信<sup>2</sup>, 马学文<sup>1,2,3</sup>

(1.农业部腐植酸类肥料重点实验室, 山东 泰安 271000; 2.山东省腐植酸高效利用示范工程技术研究中心, 山东农大肥业科技有限公司, 山东 泰安 271000; 3.山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271000; 4.山东省产品质量检验研究院, 济南 250102; 5.肥城市农业农村局, 山东 泰安 271000)

**摘要:**为探讨桃园生草不同条件还田对土壤微生物、酶活性及有效态养分的影响,以清耕为对照,设置生草自然还田、生草刈割还田、生草刈割配施有机物料腐熟剂还田 3 个处理,连续开展 3 年定位试验。采集根际和非根际土壤,研究桃园生草不同条件还田对土壤微生物数量、土壤酶活性以及土壤不同形态氮、钾含量的影响。结果表明:生草不同条件还田提高了根际土壤微生物的数量,生草刈割配施有机物料腐熟剂还田显著提高了根际和非根际土壤细菌和真菌的数量,较其他处理分别提高 21.2%~48.2% 和 11.7%~17.0%,生草刈割后,配施有机物料腐熟剂能加速秸秆的腐熟与微生物繁殖;与清耕对照相比,桃园生草不同条件还田均能显著提高土壤酶活性,生草刈割配施有机物料腐熟剂的土壤脲酶活性、过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性较其他处理分别提高 10.2%~45.4%, 26.8%~56.9%, 20.5%~30.7%;桃园生草还田对土壤养分的积累具有正效应,以生草刈割配施有机物料腐熟剂还田效果明显,其不仅增加了土壤无机态氮和有机态氮含量,减少了氮素损失,同时还显著提高土壤速效钾和水溶性钾含量,较其他处理的土壤速效钾和水溶性钾含量分别提高 12.6%~15.6% 和 11.4%~39.1%。综上,桃园生草刈割配施有机物料腐熟剂还田为提高土壤微生物数量、土壤酶活性及氮钾养分供应的较好途径,为果园生草精细化管理提供科学依据。

**关键词:** 桃园; 生草; 还田; 土壤微生物; 酶活性; 养分供应

**中图分类号:** S158.3; S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2021)04-0307-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.04.042

## Effect of Grass Return Under Different Conditions on Soil Microorganism, Enzyme Activities and Nutrients Supply in Peach Orchard

GUO Xinsong<sup>1</sup>, ZHANG Juan<sup>4</sup>, GONG Youcai<sup>2</sup>, LI Qiaoyu<sup>2</sup>,

DU Dongliang<sup>5</sup>, CHEN Shigeng<sup>2</sup>, LIU Tongxin<sup>2</sup>, MA Xuewen<sup>1,2,3</sup>

(1.Key Laboratory of Humic Acid Fertilizer, Ministry of Agriculture, Taian, Shandong 271000;

2.Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Efficient Utilization of Humic Acid, Shandong Agricultural University Fertilizer Science Tech. Co. Ltd., Taian, Shandong 271000; 3.College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271000; 4.Shandong Institute for Product Quality Inspection, Jinan 250102; 5.Feicheng Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Taian, Shandong 271000)

**Abstract:** In order to investigate the effect of grass return under different conditions on soil microorganism, enzyme activities and available nutrients in peach orchard, taking the cleaning tillage as the control, grass return naturally, grass return by mowing, grass return by mowing combined with organic matter-decomposing agent were set up in this study with a 3-year experiment. The effect of grass return under different conditions on soil microbial biomass, soil enzyme activities, and different forms of nitrogen and potassium content in soils were studied by collecting rhizosphere and non-rhizosphere region soils in the peach orchard. The results showed that grass return under different conditions could all increase the rhizosphere region soil microorganism quantity. Compared with the other treatments, grass return by mowing combined with organic matter-decomposing agent improved the quantity of rhizosphere and non-rhizosphere region soil bacteria and fungi significantly, which increased by 21.2%~48.2% and 11.7%~17.0% respectively. Grass return by

收稿日期: 2021-01-15

资助项目: 国家“十三五”重点研发计划项目“梨树和桃树化肥减施增效关键技术与产品研发”(2018YFD0201401)

第一作者: 郭新送(1987—), 男, 山东新泰人, 硕士, 工程师, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: guoxinsong1028@163.com

通信作者: 马学文(1963—), 男, 山东沂源人, 本科, 教授, 主要从事土壤肥料技术研究。E-mail: sdnfjys@163.com

mowing combined with organic matter-decomposing agent accelerated the decomposition and microbial reproduction of straw. Compared with the cleaning tillage, grass return by mowing combined with organic matter-decomposing agent increased soil urease, catalase and sucrose activities by 10.2%~45.4%, 26.8%~56.9% and 20.5%~30.7% respectively. Grass return had a positive effect on the accumulation of soil nutrients in peach orchard, and the result was especially obvious on the grass return by mowing combined with organic matter-decomposing agent treatment, which could not only increase the contents of soil inorganic nitrogen and organic nitrogen, but also reduce the nitrogen loss. Meanwhile, it significantly increased the contents of soil available potassium and water-soluble potassium, which were 12.6%~15.6% and 11.4%~39.1% higher than those of other treatments, respectively. In conclusion, grass return by mowing combined with organic matter-decomposing agent was the better way to improve soil microbial biomass, soil enzymes activities and nitrogen and potassium nutrients supply, which could provide a scientific basis for the better management of orchard grass.

**Keywords:** peach orchard; grass; return; soil microorganism; soil enzyme activities; nutrients supply

桃(*Prunus persica*)是我国重要的落叶果树,栽培面积达 71.28 万  $\text{hm}^2$ ,总产量 803.2 万 t,栽培面积和产量均居世界首位<sup>[1]</sup>。桃园土壤管理是桃树丰产优质的重要环节,我国桃园土壤管理存在化肥投入过量、常年清耕等问题,导致土壤环境质量下降,微生物数量减少,桃树产量和品质降低<sup>[2]</sup>。近年来,果园生草成为国内外逐渐推广的现代果园土壤管理模式,对于桃园,行间自然生草或人工种草都是有效改善土壤理化性质的土壤管理方式,国内外已有较多关于果园自然生草、人工种草对土壤肥力、微生物数量及酶活性和土壤养分供应的影响报道<sup>[3-4]</sup>。果园生草一般有自然还田、刈割还田、刈割旋耕还田等多种模式,生草自然还田可以显著提高土壤有机质和有机碳含量,并提高土壤碳源利用率<sup>[5]</sup>。人工生草刈割还田能够提高根区土壤微生物群落的丰富度和功能多样性;同时,生草刈割还田的土壤养分含量有一定幅度提高,并提升果实品质<sup>[6]</sup>。果园生草还田还具有诸多好处,例如,在一定程度上提高土壤微生物种群数量和土壤酶活性,减少地表径流,减缓土壤水分蒸发,优化土壤机械组成,提高土壤养分含量等<sup>[7]</sup>。还有研究<sup>[8]</sup>表明,生草刈割后覆盖果园,较未覆盖区提高果树叶片中 N、K 含量。但果园生草也存在一定问题,生草自然还田腐熟较慢,短时间内难以发挥作用,刈割还田虽能充分接触土壤,但因土壤中微生物数量较少,其腐殖化效率仍然较慢,探索生草还田的先进利用模式已成为重要的研究方向。

生草还田作为果园生草重要的利用手段,是果园生草精细化管理的重要步骤,果园生草对桃树生长效应以及土壤理化、生物学性状的影响已有较多研究和报道<sup>[5-7]</sup>,而在生草不同条件还田对果园土壤生物学性状以及养分供应方面的研究较少。本文以果园清耕处理为对照,设置生草自然还田、生草刈割还田和生草刈割配施有机物料腐熟剂还田处理,通过比较生

草不同条件还田下土壤微生物数量、酶活性以及不同形态氮、钾养分的供应情况,筛选最佳的生草还田方式,以期对桃园生草精细化管理提供技术支撑和理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤与肥料

试验地点位于山东省肥城市仪阳镇刘台村。该区域为肥城桃主产区,属温带大陆季风气候,四季分明,光照充足,年日照时间约为 2 610 h,气候温暖,年平均气温 13  $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 200 d 左右,平均降水量 660 mm,适宜桃树种植。

供试土壤:果园土壤为褐土,由钙质岩与黄土母质发育而成,按系统分类为普通筒育干润淋溶土,2016 年 10 月测定果园土壤有机质含量 14.5 g/kg,碱解氮含量 92.2 mg/kg,有效磷含量 25.3 mg/kg,速效钾含量 145.3 mg/kg,pH(土水比 1:5 浸提)7.8。

供试肥料:有机物料腐熟剂,有效活菌数 $>5$  亿/g,其中枯草芽孢杆菌占比 20%,地衣芽孢杆菌占比 30%,解淀粉芽孢杆菌占比 20%,黑曲霉占比 10%,蛋白酶、纤维素酶占比 10%,营养剂(腐植酸)占比 10%。氮肥原料为含腐植酸大颗粒尿素(含氮量 44.5%,腐植酸含量 1%),磷肥原料为磷酸二铵( $\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$  为 18—46—0),钾肥原料为硫酸钾( $\text{K}_2\text{O}$  含量 50%)。所用肥料均由山东农大肥业科技有限公司提供。

供试作物:生长第 11 年的桃园,桃树品种为“金秋蜜”,栽种密度为 3.7 m $\times$ 4.3 m,桃树长势健壮。

### 1.2 试验设计

本试验共设 4 个处理,分别为生草自然还田(CF)、生草刈割还田(TF)、生草刈割配施有机物料腐熟剂还田(BF)和清耕对照(CK)。清耕处理每年春季 3 月中旬和秋季 9 月下旬进行 2 次旋耕,采用小型旋耕机结合秋施基肥和春施基肥进行旋耕,旋耕深度为 15~25 cm。生草为人工种草,品种为“黑麦

草”,于春季播种,地温在 15 °C 时,播种量 135 kg/hm<sup>2</sup>,每年刈割 2 次,刈割时间为每年 6 月和 9 月,待草长到高 30 cm 左右进行,刈割时按照所设处理配施有机物料腐熟剂,有机物料腐熟剂用量为 450 kg/hm<sup>2</sup>,刈割还田后灌水。每个处理的氮磷钾施用量相同,分别为 N 120 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 170 kg/hm<sup>2</sup>,肥料分 2 次施入土壤,分别于秋收果实后,施用量占总投入量的 60%,剩余 40%于翌年 3 月施用,施用方法为开沟施用,沟宽×深为 35 cm×25 cm。试验地划分 4 个小区,每个小区选取 15 株长势一致的桃树,每 5 株作为 1 个重复。本试验持续进行 3 年(2017 年 6 月开始至 2020 年 10 月)。

### 1.3 样品采集

土壤样品共采集 4 次,分别为 2017 年 9 月 19 日,2018 年 10 月 12 日,2019 年 10 月 7 日和 2020 年 9 月 28 日。每个重复以每棵桃树作为取样点,所取 5 样点的土壤样品混合在一起记为 1 次重复,每个处理重复 3 次,3 年试验共取土壤样品 48 个。土壤取样按根际土壤和非根际土壤分别采集。根际土壤采集时避开施肥地点,选择距离桃树主杆 0.5 m 处,去除 0—5 cm 腐熟杂草、枯枝落叶的表层土壤,采集 5—25 cm 土层围绕根系 2 mm 的土壤样品;非根际土壤,选择距离桃树主杆 1 m 处的 0—20 cm 土层无根系的土壤样品。所采集的根际和非根际土壤去除石砾、植物根系等杂质分别混匀带回,分成 2 部分:一部分风干,磨细过 2 mm 筛待测;另一部分样品贮存于 4 °C 冰箱保存。

### 1.4 测定项目与方法

细菌、真菌和放线菌均采用平板梯度稀释培养法计数。细菌以牛肉膏蛋白胨琼脂培养基培养,真菌以链霉素—马丁氏孟加拉红培养基培养,放线菌以高氏一号培养基培养<sup>[9]</sup>。土壤脲酶采用苯酚钠—次氯酸钠比色法测定;过氧化氢酶采用 K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> 滴定法测定;蔗糖酶采用 3,5—二硝基水杨酸比色法测定;土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 用 0.01 mol/L 的 CaCl<sub>2</sub> 溶液浸提(土壤样品为鲜样),AA3 型流动注射分析仪测定;土壤颗粒有机态氮采用 5 g/L 六偏磷酸钠溶液浸提,半微量凯氏定氮法测定;土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸,K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浸提,用 Multi 2011N/C TOC 仪测定;土壤速效钾含量采用 1 mol/L 醋酸铵溶液浸提,火焰光度法测定;土壤水溶性钾含量采用去 CO<sub>2</sub> 蒸馏水浸提(土比 10 : 1),火焰光度法测定;土壤特殊吸附钾含量=土壤速效钾含量—土壤醋酸镁浸提钾含量,土壤非特殊吸附性钾含量=土壤醋酸镁浸提钾含量—土壤水溶性钾含量,土壤醋酸镁浸提钾含量是指以 0.5 mol/L 中性醋酸镁溶液浸提,火焰光度法测定的钾含量<sup>[10]</sup>。

## 1.5 数据分析

数据处理采用 Excel、SPSS 22.0 软件进行计算与统计分析,运用 LSD 法检验进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 生草不同条件还田对土壤微生物数量的影响

试验表明,根际土壤细菌数量和真菌数量显著高于非根际土壤,而放线菌数量差异不大(图 1)。对于土壤细菌数量来讲,与清耕处理相比,生草自然还田处理的非根际土壤细菌数量无显著差异,生草刈割和刈割配施有机物料腐熟剂还田的细菌数显著提高,分别提高 28.2%和 41.9%,刈割配施有机物料腐熟剂较刈割还田的非根际土壤细菌数量提高 10.1%,差异显著。与清耕处理相比,生草不同条件还田均能显著提高根际土壤细菌数量,生草不同条件还田下,自然还田与刈割还田处理间的根际土壤细菌数量无显著差异,而刈割配施有机物料腐熟剂显著提高根际土壤细菌数,较其他处理提高 21.2%~48.2%。

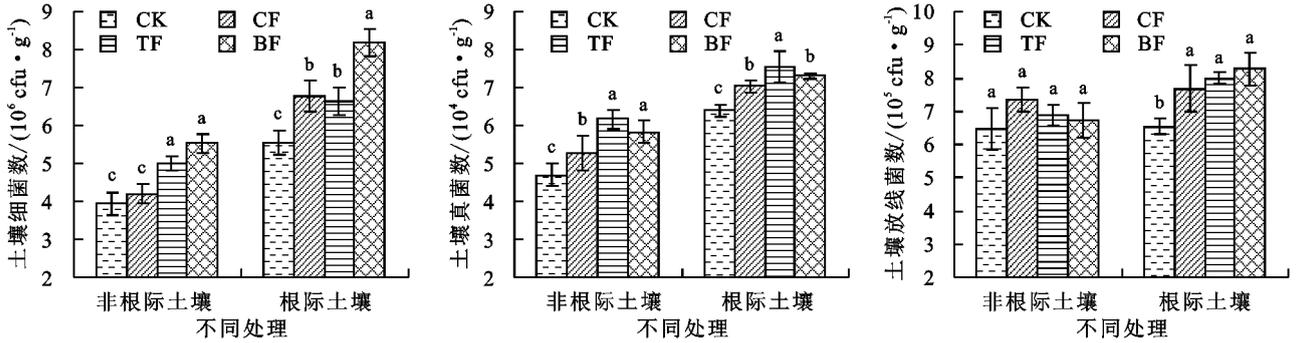
土壤真菌数量与细菌数量变化趋势有所不同,生草不同条件还田的土壤根际和非根际土壤真菌数量均显著高于清耕。与生草自然还田相比,生草刈割和刈割配施有机物料腐熟剂还田的非根际土壤真菌数量分别提高 11.7%~17.0%,差异显著。生草刈割还田的根际土壤真菌数量显著高于自然还田和刈割配施有机物料腐熟剂还田,而自然还田和刈割配施有机物料腐熟剂还田处理间的根际土壤真菌数量差异不显著。

生草不同条件还田的根区土壤放线菌数量与清耕处理无显著差异,即在本试验条件下,生草的 3 种还田方式不会改变非根际土壤的放线菌数量。而与清耕处理相比,生草 3 种还田方式均显著提高根际土壤放线菌数量,不同处理的根际土壤放线菌数量依次表现为 BF>TF>CF>CK,生草 3 种还田方式的根际土壤放线菌数量未达到差异显著性水平。

### 2.2 生草不同条件还田对土壤酶活性的影响

土壤酶作为土壤质量的潜在性敏感指标,其活性在一定程度上反映土壤的质量,也反映土壤中各种生物化学反应的强度。经过 3 年试验,不同处理的土壤酶活性发生了较大变化(表 1)。

桃园生草有利于提高土壤脲酶活性,生草不同条件还田的土壤脲酶活性均显著高于清耕对照,提高幅度为 16.9%~69.8%。生草不同条件还田的土壤脲酶差异较大,相对于生草自然还田,生草刈割和刈割配施有机物料腐熟剂还田处理提高土壤脲酶活性,其中生草刈割配施有机物料腐熟剂还田的土壤脲酶活性较其他处理提高 10.2%~45.4%,差异显著,表明有机物料腐熟剂的施用有利于提高土壤脲酶活性。



注:图中小写字母表示差异达5%显著。下同。

图 1 不同处理的土壤微生物

表 1 不同处理的土壤酶活性

指标	CF	TF	BF	CK
脲酶/( $\text{NH}_3\text{-N mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )	0.97 $\pm$ 0.03c	1.28 $\pm$ 0.17b	1.41 $\pm$ 0.14a	0.83 $\pm$ 0.02d
过氧化氢酶/(0.1 mol/L $\text{KMnO}_4$ mL $\cdot$ g $^{-1} \cdot$ min $^{-1}$ )	1.23 $\pm$ 0.12c	1.56 $\pm$ 0.07b	1.93 $\pm$ 0.11a	1.15 $\pm$ 0.02c
蔗糖酶/(Glucose mg $\cdot$ g $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ )	27.00 $\pm$ 1.70b	29.30 $\pm$ 1.00b	35.30 $\pm$ 0.90a	24.30 $\pm$ 0.20c

注:表中数据为平均值 $\pm$ 标准差;不同小写字母表示差异达5%显著水平。下同。

过氧化氢酶是土壤物质与能量转化过程中的一种重要的氧化还原酶。较清耕对照,生草不同条件还田处理均提高土壤过氧化氢酶活性,其中生草自然还田与清耕处理未达到5%差异显著性水平。生草不同条件还田以刈割配施有机物料腐熟剂处理的土壤过氧化氢酶活性最高,较自然还田和刈割还田处理的土壤过氧化氢酶活性分别提高26.8%和56.9%,且差异显著,说明果园生草后进行一定处理有利于提高土壤过氧化氢酶活性。

蔗糖酶活性是评价土壤熟化程度的重要指标。桃园生草提高了蔗糖酶活性,较清耕对照,生草不同条件还田的土壤蔗糖酶活性提高11.1%~45.3%,且差异显著。生草不同条件还田的土壤蔗糖酶活性表现为BF>TF>CF,其中生草刈割配施有机物料腐熟剂还田的土壤蔗糖酶活性较自然还田和刈割还田分别提高30.7%和20.5%,且差异显著,表明有机物料腐熟剂的施入,有利于生草还田后的腐熟,即加速土壤有机物质的分

解转化,从而促进土壤有机碳积累。

### 2.3 生草不同条件还田对土壤氮素供应的影响

铵态氮和硝态氮是易被作物吸收的无机态氮,正常施肥条件下,桃园生草提高土壤无机态氮含量(图2)。对土壤铵态氮来讲,桃园生草的土壤铵态氮含量较清耕对照提高29.2%~57.6%,与生草自然还田和刈割还田相比,生草刈割配施有机物料腐熟剂还田的土壤铵态氮含量分别提高18.5%和22.0%,且差异显著,而生草自然还田和刈割还田差异不大。不同处理的土壤硝态氮与铵态氮含量变化趋势基本一致,与清耕对照相比,桃园生草的土壤硝态氮含量提高11.4%~37.5%,生草不同条件还田的土壤硝态氮含量表现为BF>TF>CF,与生草自然还田和刈割还田条件比较,刈割配施有机物料腐熟剂还田的土壤硝态氮分别提高23.7%和14.9%,表明生草还田后配施有机物料腐熟剂增加土壤无机态氮含量,减少氮素损失。

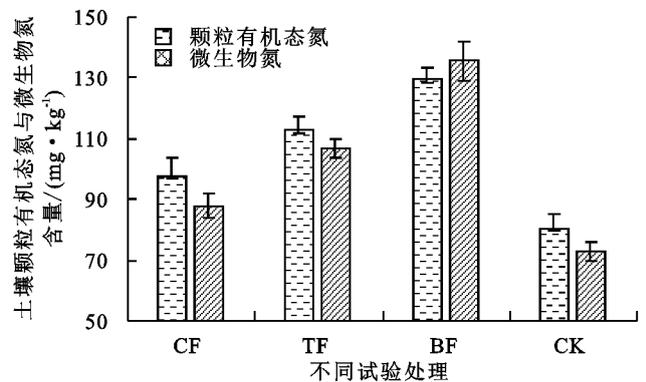
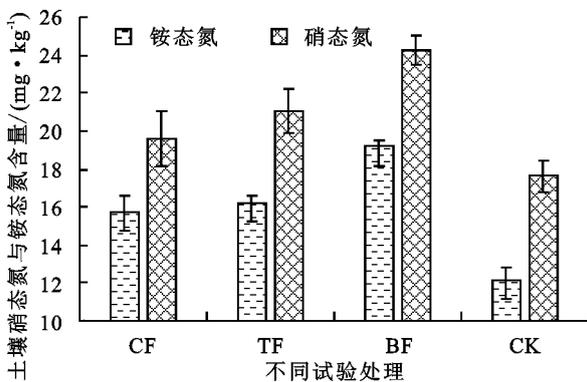


图 2 不同处理土壤氮素含量

土壤颗粒有机态氮和微生物量氮是土壤有机氮的重要组成部分,连续3年的生草还田引起了土壤颗粒有机态氮和微生物量氮含量的变化,且两者变化趋势基本一致。桃园生草提高土壤颗粒有机态氮和微

生物量氮含量,与清耕对照相比,土壤颗粒有机态氮和微生物量氮含量分别提高21.2%~60.6%和20.7%~86.5%。生草不同条件还田下,土壤颗粒有机态氮和微生物量氮含量均表现为BF>TF>CF,与生草自

然还田和刘割还田条件相比,刘割配施有机物料腐熟剂还田条件的土壤颗粒有机态氮和微生物量氮含量分别提高 32.5%,14.8%和 26.9%,54.5%。

#### 2.4 生草不同条件还田对土壤钾素供应的影响

果园生草可改善土壤矿质营养状况,黑麦草中钾含量相对较高,经还田后在一定程度上会增加土壤中钾素含量(表 2)。连续 3 年试验后,在第 3 年取样检测土壤钾素结果显示,果园生草的土壤速效钾含量较清耕处理提高 5.7%~22.1%,生草不同条件还田下,自然还田与刘割还田的土壤速效钾含量差异不显著,而生草刘割配施有机物料腐熟剂还田的土壤速效钾含量显著高于其他 2 种还田方式,较其他 2 种还田土壤速效钾含量提高 12.6%~15.6%,表明生草刘割配施有机物料腐熟剂更有利于土壤速效钾的保持。

表 2 不同处理的土壤钾素含量

处理	单位:mg/kg			
	速效钾	水溶性钾	特殊吸附钾	非特殊吸附钾
CF	186.2±7.3b	31.3±2.1b	64.2±3.0a	30.1±3.8a
TF	191.5±1.7b	33.8±1.8b	66.9±2.7a	36.5±0.6a
BF	215.0±6.1a	39.1±3.6a	73.1±1.1a	39.1±1.0a
CK	176.3±5.4c	28.1±3.3b	47.5±3.8b	33.5±2.3a

水溶性钾是植物可以直接吸收利用的一种土壤钾素形态。3 年连续试验果园生草的土壤水溶性钾含量表现为 BF>TF>CF>CK,TF、CF 与 CK 间土壤水溶性钾含量无显著差异,而生草刘割配施有机物料腐熟剂还田的土壤水溶性钾含量显著高于其他处

表 3 土壤酶活性与土壤氮、钾养分之间的相关性

土壤酶	硝态氮	铵态氮	颗粒有机态氮	微生物量氮	速效钾	水溶性钾	特殊吸附钾	非特殊吸附钾
脲酶	0.85**	0.81**	0.65*	0.90**	0.54	0.45	0.70*	-0.29
过氧化氢酶	0.67*	0.29	0.41	0.34	0.61	0.83*	0.54	0.47
蔗糖酶	0.75*	0.37	0.46	0.85**	0.83**	0.37	0.52	-0.35

注:样本容量 n=48;\* 表示 5% 的差异显著水平;\*\* 表示 1% 差异极显著水平。

## 3 讨论

### 3.1 生草不同条件还田对土壤微生物影响

微生物是土壤中最活跃的组成部分,积极参与土壤养分循环,为植物生长提供营养物质,微生物量也被视为土壤养分的储备库<sup>[10]</sup>。孙计平等<sup>[11]</sup>的研究表明,与清耕处理相比较,果园生草自然还田可以显著增加表层土壤(0—20 cm)细菌数量,且随着生草年限增加,效果显著;Laurent 等<sup>[12]</sup>的研究也证明,果园生草还田能够显著增加土壤微生物数量,尤其是细菌数量,而对放线菌数量的影响不大。本研究表明,与清耕处理相比,生草不同条件还田显著提高根际土壤细菌数量,生草刘割配施有机物料腐熟剂还田显著提高根际和非根际土壤细菌和真菌的数量,这说明生草刘割后,配施有机物料腐熟剂能加速秸秆的腐熟,

较其他处理的土壤水溶性钾含量提高 11.4%~39.1%。土壤特殊吸附和非特殊吸附钾作为土壤交换性钾的主要组成部分,对作物当季吸收利用尤为关键。果园生草在一定程度上影响土壤中这 2 种形态钾含量的变化,与清耕对照相比,生草不同条件还田均显著提高土壤中特殊吸附钾含量,较清耕对照,土壤特殊吸附钾含量提高 35.2%~53.9%,生草不同条件还田处理的土壤特殊吸附钾含量差异不显著。不同处理间土壤非特殊吸附钾表现为 BF>TF>CF>CK,各处理的土壤非特殊吸附钾含量差异不显著。

### 2.5 生草不同条件还田下土壤酶活性与土壤氮、钾养分的相关性分析

桃园生草还田条件下土壤酶活性与土壤氮钾养分之间的相关性见表 3。土壤酶活性与不同形态氮、钾养分之间相关性存在明显差异。土壤脲酶活性不仅与土壤硝态氮、铵态氮及微生物量氮含量呈极显著正相关,同时还与土壤颗粒有机态氮含量及特殊吸附钾含量呈显著正相关。土壤过氧化氢酶活性与土壤硝态氮和水溶性钾含量呈显著正相关,与其他不同形态的土壤养分相关性不大。土壤蔗糖酶活性与土壤微生物量氮和速效钾含量呈极显著正相关,与土壤硝态氮含量呈显著正相关,与土壤非特殊吸附钾含量呈负相关。表明桃园生草还田下 3 种类型土壤酶活性均与土壤某一形态养分呈正相关,土壤酶活性的提高也影响土壤养分的供应。

有机物料腐熟剂对细菌和真菌活动包括繁殖速度起到助力作用。孙计平等<sup>[11]</sup>研究指出,生草 8 年自然还田可以显著提高 0—20 cm 土层土壤放线菌数量,而本研究结果显示,生草不同条件还田的非根际土壤放线菌数量与清耕处理无显著差异,但生草还田均显著提高根际土壤的放线菌数量,这可能是由于本试验生草年限相对较短,同时采集土壤位置也有差异。

### 3.2 生草不同条件还田对土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤养分形态转化的催化剂,直接反映土壤养分转化速率,在一定程度上表征土壤肥力。吴玉森等<sup>[13]</sup>通过研究自然生草对果园土壤酶活性影响中指出,多年生草自然还田能有效提高表层土壤脲酶、碱性磷酸酶等酶的活性;魏树伟等<sup>[14]</sup>的研究表明,自然生草 3 年自然还田 0—40 cm 土层土壤的磷

酸酶、蔗糖酶和脲酶活性显著提高。本研究在生草还田基础上增加刈割及刈割配施有机物料腐熟剂还田对土壤酶活性产生不同影响。与生草自然还田相比,生草刈割处理的土壤酶活性无显著变化,但生草刈割配施有机物料腐熟剂的土壤酶活性显著高于清耕处理和生草自然还田处理。这可能是由于有机物料腐熟剂的施入,其存在的多种有效活菌在适宜的条件下加速生草还田后的腐熟,也即加速土壤有机物质的分解转化,从而促进土壤有机碳积累。

### 3.3 生草不同条件还田对土壤养分供应的影响

土壤无机养分含量影响果树产量和果实品质,果园多年种植牧草或自然生草还田均对土壤养分的积累具有正效应。孙计平等<sup>[11]</sup>研究表明,生草自然还田 8 年后,表层土壤碱解氮、速效钾含量显著提高;李会科等<sup>[15]</sup>研究表明,生草具有活化有机态氮磷钾的功能,从而促进果树对其吸收利用;俞立恒<sup>[16]</sup>研究指出,果园种植豆科牧草能提高土壤氮素含量,其主要通过生物固氮作用提高氮素含量。本研究在前人研究基础上,检测了土壤无机态氮含量,并通过颗粒有机态氮、微生物量氮评价生草不同条件还田对土壤氮素的影响,同时还通过土壤水溶性钾、特殊吸附钾及非特殊吸附钾含量的变化来衡量生草不同还田条件对土壤钾素的响应。较清耕处理,生草还田提高土壤铵态氮与硝态氮含量;同时,生草刈割配施有机物料腐熟剂还田显著提高土壤颗粒有机态氮和微生物量氮含量,表明生草还田后配施有机物料腐熟剂不仅增加土壤无机态氮含量,而且还增加土壤有机态氮含量,从而减少氮素损失。

Heo 等<sup>[17]</sup>在苹果园间作黑麦草,经自然还田后土壤速效钾含量显著增加,与本研究结果一致。果园生草还田可改善土壤钾素营养状况,表现为土壤速效钾含量提高,不同形态的钾含量,以水溶性钾含量提高幅度较大,生草刈割及刈割配施有机物料腐熟剂均提高土壤水溶性钾含量,分析原因可能为黑麦草中钾含量相对较高,经还田后在一定程度上增加土壤中钾素含量,同时生草吸收下层土壤矿质营养,随之刈割还田,返回土壤中,其中配施有机物料腐熟剂加速矿质营养的还田过程。Xu 等<sup>[18]</sup>研究指出,生草尤其是行间种植苜蓿,会减少土壤中钾素含量,而且这可能与当地的试验条件、生草类型及树种有关。

## 4 结论

桃园生草刈割后,配施有机物料腐熟剂能加速秸秆在土壤中的腐熟和微生物繁殖,表现为显著提高根际和非根际土壤细菌和真菌数量,较其他处理分别提高 21.2%~48.2% 和 11.7%~17.0%;同时,生草刈割配施有机物料腐熟剂提高土壤酶活性,土壤脲

酶、过氧化氢酶和蔗糖酶的活性较其他处理分别提高 10.2%~45.4%, 26.8%~56.9%, 20.5%~30.7%。桃园生草还田对土壤养分的积累具有正效应,以生草刈割配施有机物料腐熟剂还田效果明显,不仅增加土壤无机态氮和有机态氮含量,同时还显著提高土壤速效钾和水溶性钾含量。

### 参考文献:

- [1] 陈文玉,宋红日,武猛,等.肥城桃品质下降的原因分析及对策[J].落叶果树,2015,47(4):23-24.
- [2] 罗华,李敏,胡大刚,等.不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):955-964.
- [3] 陈学森,张瑞洁,王艳廷,等.苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J].园艺学报,2016,43(12):2325-2334.
- [4] Ravaglia D, Espley R V, Henry-Kirk R A, et al. Transcontinental regulation of flavonoid biosynthesis in nectarine (*Prunus persica*) by a set of R<sub>2</sub>R<sub>3</sub> MYB transcription factors[J/OL]. BMC Plant Biology, 2013, 13: 68. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-68>.
- [5] 刘建新,王鑫,杨建霞.覆草对果园土壤腐殖质组成和生物学特性的影响[J].水土保持学报,2005,19(4):93-95.
- [6] 王艳廷,冀晓昊,吴玉森,等.我国果园生草的研究进展[J].应用生态学报,2015,26(6):1892-1900.
- [7] Tang Q Y, ZHANG C X. Data Processing System(DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect Science, 2013, 20(2):254-260.
- [8] Engel A, Blanke M, Lenz F. Nutrient translocation from the grass alleyway to the tree strip with mulching in a fruit orchard[J]. Erwerbs-Obstbau, 2009, 51(3):151-161.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985:54-59.
- [10] Wang H Y, Zhou J M, Du C W, et al. Potassium fractions in soils as affected by monocalcium phosphate, ammonium sulfate, and potassium chloride application[J]. Pedosphere, 2010, 20(3):368-377.
- [11] 孙计平,张玉星,李英丽,等.生草对梨园土壤微生物、酶活性和腐殖质含量的影响[J].果树学报,2016,33(增刊1):129-135.
- [12] Laurent A, Merwin L A, Thies J E. Long term orchard ground cover management systems affect soil microbial communities and apple replant disease severity[J]. Plant and Soil, 2008, 304(1):209-225.
- [13] 吴玉森,张艳敏,冀晓昊,等.自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分酶活性及果实品质的影响[J].中国农业科学,2013,46(1):99-108.

- puts and carbon availability[J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 92:18-23.
- [9] 沈宏, 严小龙. 根分泌物研究现状及其在农业与环境领域的应用[J]. *农村生态环境*, 2000, 16(3):51-54.
- [10] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6):703-707.
- [11] Saiya-Cork K R, Sinsabaugh R L, Zak D R. The effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(9):1309-1315.
- [12] Sinsabaugh R L, Hill B H, Follstad J J. Ecoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment[J]. *Nature*, 2010, 462(7274):795-798.
- [13] Maisto G, Marco A D, Meol A A, et al. Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing in situ[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3):520-530.
- [14] Cleveland C C, Neff J C, Hood T E. Composition, dynamics, and fate of leached dissolved organic matter in terrestrial ecosystems: Results from a decomposition experiment[J]. *Ecosystems*, 2004, 7(3):275-285.
- [15] 郑卫国, 薛立, 许鹏波, 等. 加勒比松林地土壤对凋落物的响应[J]. *华南农业大学学报*, 2011, 32(1):120-123.
- [16] Prescott C E. Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know? [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3):66-74.
- [17] 卢胜旭, 许恩兰, 吴东梅, 等. 米楮人工林土壤微生物群落组成对凋落物输入的响应[J]. *森林与环境学报*, 2020, 40(1):16-23.
- [18] Brant J B, Sulzman E W, Myrold D D. Microbial community utilization of added carbon substrates in response to long-term carbon input manipulation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(8):2219-2232.
- [19] Wang F M, Zou B, Li H F. The effect of understory removal on microclimate and soil properties in two subtropical lumber plantations[J]. *Journal of Forest Research*, 2014, 19(1):238-243.
- [20] Kivlin S N, Treseder K K. Soil extracellular enzyme activities correspond with abiotic factors more than fungal community composition[J]. *Biogeochemistry*, 2014, 117(1):23-37.
- [21] 刘仁, 陈伏生, 方向民, 等. 凋落物添加和移除对杉木人工林土壤水解酶活性及其化学计量比的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(16):5739-5750.
- [22] 舒媛媛, 黄俊胜, 赵高卷, 等. 青藏高原东缘不同树种人工林对土壤酶活性及养分的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(2):394-402.
- [23] 杨洋. 凋落物和林下植被对杉木林土壤碳氮水解酶活性的影响机制[J]. *生态学报*, 2016, 36(24):8102-8110.
- [24] Xiong Y M, Xia H P, Li Z A, et al. Impacts of litter and understory removal on soil properties in a subtropical *Acacia mangium* plantation in China[J]. *Plant and Soil*, 2008, 304(1/2):179-188.
- [25] Waring B G, Weintraub S R, Sinsabaugh R L. Ecoenzymatic stoichiometry of microbial nutrient acquisition in tropical soils [J]. *Biogeochemistry*, 2014, 117(1):101-113.
- [26] 乔航, 莫小勤, 罗艳华, 等. 不同林龄油茶人工林土壤酶化学计量及其影响因素[J]. *生态学报*, 2019, 39(6):1887-1896.
- [27] Bell C, Carrillo Y, Boot C, et al. Rhizosphere stoichiometry: Are C : N : P ratios of plants, soils, and enzymes conserved at the plant species-level? [J]. *New Phytologist*, 2014, 201(2):505-517.
- [28] Hou E, Chen C, McGroddy M E, et al. Nutrient limitation on ecosystem productivity and processes of mature and old-growth subtropical forests in China[J]. *PLoS One*, 2012, 7(12):e52071.
- [29] 殷爽, 王传宽, 金鹰, 等. 海拔梯度变化对雪乡土壤一微生物胞外酶 C : N : P 化学计量特征的影响[J]. *植物生态学报*, 2020, 43(11):999-1009.
- (上接第 312 页)
- [14] 魏树伟, 王少敏, 张勇, 等. 不同土壤管理方式对梨园土壤养分、酶活性及果实风味品质的影响[J]. *草业学报*, 2015, 24(12):46-55.
- [15] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 生草对黄土高原旱地苹果园土壤性状的影响[J]. *草业学报*, 2007, 16(2):32-39.
- [16] 俞立恒. 果园生草栽培及其对园区生态环境的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [17] Heo J Y, Park Y S, Um N Y, et al. Selection of native ground cover plants for sod culture in an organic apple orchard[J]. *Korean Journal of Plant Research*, 2015, 28(5):641-647.
- [18] Xu Q X, Wang T W, Cai C F, et al. Effects of soil conservation on soil properties of citrus orchards in the Three Gorges Area, China[J]. *Land Degradation and Development*, 2012, 23(1):34-42.