

黄土高原不同坡位苹果园土壤生物学特征

——以陕西省淳化县为例

张超¹, 张海¹, 翟辉¹, 周旭¹, 李爱梅², 张立新²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解坡位因素对黄土高原苹果园土壤生物学性状的影响, 以陕西省淳化县坡地富士苹果园为研究对象, 分析了该区不同坡位(上坡位、中坡位、下坡位)0~20、20~40、40~60 cm 的果园土壤有机质、土壤酶活性和土壤微生物量碳、氮之间的差异, 同时利用 Biolog-ECO 平板法研究了土壤微生物群落功能多样性。结果表明, 该区苹果园土壤有机质含量普遍较低, 且不同坡位之间存在差异, 表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位。土壤酶、土壤微生物量在坡位间差异不显著, 其中过氧化氢酶表现为下坡位 > 中坡位 > 上坡位, 土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶均表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位, 微生物量碳含量表现为上坡位 > 下坡位 > 中坡位, 微生物量氮含量表现为下坡位 > 中坡位 > 上坡位。不同坡位碳源平均颜色变化率(AWCD)基本趋势表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位, 微生物多样性指数均表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位; 主成分分析结果表明, 对主成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)贡献较大的碳源主要为糖类和羧酸类, 下坡位土壤微生物群落稳定性优于上坡位和中坡位。综合研究结果表明, 该区下坡位土壤质量较好, 适宜种植苹果等经济作物。

关键词: 坡位; 土壤有机质; 土壤酶活性; 土壤微生物量; 土壤微生物群落

中图分类号: S154.2; S154.3 **文献标志码:** A

Soil biological characteristics at different slope positions of apple orchards on the Loess Plateau

——A case study of Chunhua County, Shaanxi Province

ZHANG Chao¹, ZHANG Hai¹, ZHAI Hui¹, ZHOU Xu¹, LI Ai-mei², ZHANG Li-xin²

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the effects of slope positions on soil biological characteristics in apple orchards in the Loess Plateau, a field study in Fuji apple orchards in Chunhua County in Shaanxi Province was used to explore the soil organic matter content, soil enzyme activities (catalase, urease, invertase and alkaline phosphatase) and soil microbial biomass carbon and nitrogen on different slope positions (upper slope, middle slope, lower slope) in the 0~20, 20~40 cm and 40~60 cm soil layers, respectively. Biolog-ECO technology was applied to study the metabolic functional diversity of microbial communities. The results showed that the soil organic matter content was generally poor and deferent in different slope positions with the order of lower slope (LS) > upper slope (US) > middle slope (MS). There was no significance in soil catalase activities and microbial biomass with different slopes. Soil catalase activity was LS > MS > US, urease, invertase and alkaline phosphatase activities were in order of LS > US > MS, soil microbial biomass carbon content was in order of US > LS > MS and microbial biomass nitrogen content was in order of LS > MS > US. The AWCD (average well color development) of soil microbial carbon source on different slope positions was in order of LS > US > MS, microbial diversity indexes generally were in order of LS > US > MS. The results of principle component analysis (PCA) showed that carbohydrates and carboxylic acids as the carbon sources held a great contribution to the principal component 1 (PC1) and principal component 2 (PC2). Soil microbial community stability on lower slope was superior. Finding in this

收稿日期: 2016-07-06

修回日期: 2016-10-26

基金项目: 陕西省科技成果转化项目(2017CG2H-HJ-02); 杨凌示范区农业科技示范提升项目(TS-2014-40)

作者简介: 张超(1992—), 男, 甘肃定西人, 硕士研究生, 研究方向为环境生态恢复。E-mail: 1098114260@qq.com。

通信作者: 张海(1960—), 男, 陕西高陵人, 教授, 主要从事黄土高原植被恢复及生态治理研究。E-mail: ylzh6@163.com。

study highlighted that the soil quality on lower slope was better and more suitable for planting apple trees and other economic crops.

Keywords: slope position; soil organic matter; soil enzyme activities; soil microbial biomass; soil microbial community

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是评价土壤基础肥力和土壤生产力的重要指标,在改善土壤物理结构、化学性质,稳定植物养分供应以及植被的生长状况等方面有着极为重要的作用^[1],同时能显著增加土壤中某些有益微生物酶的活性^[2]。土壤酶是土壤生物活性和土壤肥力的重要组成成分之一,参与土壤中各种生物化学过程,如腐殖质的分解与合成、动植物残体和微生物残体的分解、营养物质的循环等^[3],其活性大小是评价土壤肥力状况的重要参数,同时也反映了土壤的污染状况,在土壤发育、土壤肥力的产生以及土壤质量的变化过程中起着非常重要的作用^[4-5]。土壤微生物参与土壤中养分的转化和循环、有机质分解以及腐殖质形成等过程^[6],微生物量虽然只占土壤营养库的小部分,但它对土壤环境变化具有较高的敏感性,更能反映微生物在土壤中的作用潜力^[7]。土壤酶和土壤微生物共同参与和推动着土壤的生物化学过程,对土壤肥力状况的变化具有极其重要的影响^[8-9]。

陕西渭北黄土高原地区是我国苹果最佳优生区域,但由于水土流失、超耕超载,导致了土壤质量、土壤养分含量不断降低,对该地区苹果产业的持续发展极为不利^[10]。为此,近年来许多学者对该区果园的土壤养分、土壤质量的分布特征及变异趋势做了大量的研究,也提出了很多有意义的见解^[11-13],但对该区不同坡位之间的土壤生物学特征研究较少。由于坡位和有机质含量对土壤酶和土壤微生物影响较大^[14-15],故本试验以陕西淳化县苹果园为研究对象,对不同坡位土壤有机质、酶活性、微生物量碳氮进行研究,并结合 Biolog-ECO 微平板法研究该区域坡位间土壤生物活性的差异,旨在从生物学角度对该区域不同坡位土壤质量进行评价,以期为该区域坡地资源的有效利用及坡地经济林的合理种植提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于黄土高原沟壑区南缘的陕西省淳化县(34°43'~35°03'N,108°18'~108°50'E),海拔 630~1 809 m,年均气温 9.3℃,无霜期 185 d,年平均降水量 610 mm,多集中于 7—9 月,占全年降水量的

53%,干燥度在 1.10~1.38 之间,属暖温带季风气候区。该区地域辽阔,光照充裕、昼夜温差大、雨热同季,适宜种植不同类型果树。试验样地位于该县东南部之大店乡,坡向东南,土壤以黄绵土为主,前茬种植玉米,土壤 pH 值为 7.00~8.55,中性偏碱。

1.2 试验设计

根据试验地实际地形,选取同一坡面的苹果林地(坡度为 15°),分为上坡位(US)、中坡位(MS)和下坡位(LS),每个坡位之间海拔相差约 100 m,分别建立试验区,每个试验区面积约 6 670 m²,宽 20~30 m 的平台梯田。试验区基本情况见表 1。

表 1 试验区基本情况

Table 1 Basic information of experiment sites

坡位 Slope position	海拔高度/m Altitude	经度/E Longitude	纬度/N Latitude
上坡位(US) Upper slope	991	108.59864	34.77595
中坡位(MS) Middle slope	884	108.60165	34.77468
下坡位(LS) Lower slope	781	108.60382	34.77467

该试验区种植果树为 8 年生“富士”苹果,均为常规化管理。于 2014 年 7 月采样,每个坡位设平行采样区 3 个,用 S 型布点法分别采集各平行采样区 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样,采样示意图如图 1 所示。混合上述同一坡位的各土层土样,带回实验室后分为 2 份,1 份放在 4℃ 冰箱保存,用于土壤微生物群落特征、酶活性及微生物量测定,另 1 份自然风干后过 0.15 mm 筛,用于土壤有机质含量的测定。

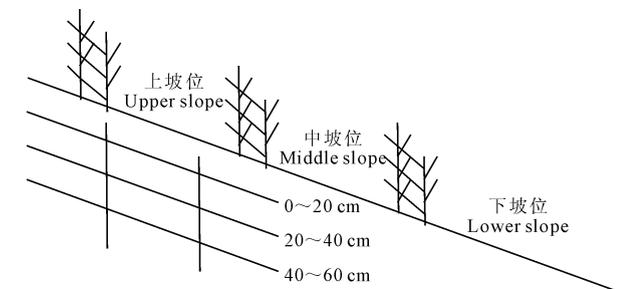


图 1 采样示意图

Fig. 1 Research area with sampling sites

1.3 测定方法

1.3.1 土壤有机质含量的测定 土壤有机质含量

采用重铬酸钾容量法(外加热法)测定^[16]。

1.3.2 土壤酶活性的测定 土壤脲酶活性采用苯酚钠一次氯酸钠比色法;土壤碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法;土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法;土壤过氧化氢酶活性采用紫外分光光度法测定^[17]。

1.3.3 土壤微生物量的测定 土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸,硫酸钾浸提,全自动碳测定仪进行测定^[18]。土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸,硫酸钾浸提,过硫酸钾氧化法测定^[19]。

1.3.4 土壤微生物代谢功能多样性测定 应用 Biolog-ECO 生态板测定^[20];称取5g新鲜土样加入至装有45ml 0.85% NaCl 无菌溶液的100ml三角瓶中,在摇床上以150 r·min⁻¹振荡30min,将得到的微生物悬浮液采用10倍稀释法稀释至浓度为10⁻³。在无菌工作台上,接种微生物悬浮液于生态测试板中,每孔150 μL。在25℃生化培养箱中连续培养240h,每隔24h在Biolog 读数器上读取590nm波长下的吸光值。

1.4 数据处理

1.4.1 平均颜色变化率(AWCD) 平均颜色变化率用于描述微生物利用单一碳源的能力,其计算公式为:

$$AWCD = \sum (C_i - R_i) / 31$$

式中, C_i 为各培养基孔的吸光值; R_i 为对照孔的吸光值。

1.4.2 群落 Shannon-Wiener 指数(H) Shannon-Wiener 指数(H)用于评估物种的丰富度,计算公式为:

$$H = - \sum (P_i \times \ln P_i)$$

式中, $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$,表示有碳源孔与对照孔光密度值之差与整板总差的比值。

1.4.3 群落 Simpson 指数(D) Simpson 指数用于评估某些最常见种的优势度,计算公式为:

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

1.4.4 群落 McIntosh 指数(E) McIntosh 指数用于评估群落物种的均匀度,计算公式为:

$$E = H / \ln S$$

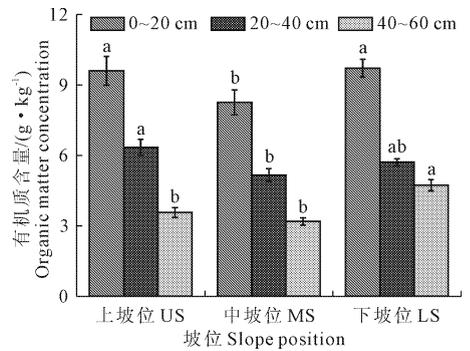
式中, S 为颜色发生变化的孔数($AWCD > 0.25$ 代表该孔碳源被利用)

所有数据采用 Microsoft Office Excel 2003、Origin 9.0 以及 SPSS 21.0 专业软件进行图表制作,运用方差分析、主成分分析等方法进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同坡位苹果园土壤有机质含量

由图2可知,该地区不同坡位表层(0~20cm)土壤有机质含量均值为9.19 g·kg⁻¹,与绿色食品产地土壤肥力分级指标^[21](>20 g·kg⁻¹为优良,15~20 g·kg⁻¹为尚可,<15 g·kg⁻¹为较差)相比,该区果园土壤有机质含量普遍较低。0~20cm土层上坡位与下坡位有机质含量显著高于中坡位,20~40cm土层坡位间无显著性差异,40~60cm土层下坡位有机质含量显著高于上、中坡位。坡位间0~60cm土层土壤有机质平均值依次为6.61、5.54、6.72 g·kg⁻¹,表现为下坡位>上坡位>中坡位,下坡位有机质含量高于上坡位和中坡位。



注:不同字母代表不同坡位层次间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Data with different letters are significantly different among different slope positions at 0.05 level. The same below.

图2 不同坡位苹果园土壤有机质

Fig.2 The soil organic matters at different slope positions of apple orchards

2.2 不同坡位苹果园土壤酶活性

如图3a,不同坡位0~20cm土层过氧化氢酶活性上坡位显著低于中坡位和下坡位,20~40、40~60cm坡位间差异不大。随着土层深度的增加,土壤过氧化氢酶活性均显示出下降的趋势,且0~20cm至20~40cm降低趋势显著,说明表层土壤过氧化氢酶受外界因素影响较大。坡位间0~60cm土层过氧化氢酶活性平均表现为下坡位>中坡位>上坡位。

如图3b,坡位间土壤脲酶活性差异较大,中坡位显著低于上坡位和下坡位,表层土(0~20cm)上坡位较高,深层土(20~40、40~60cm)下坡位较高。从土壤剖面来看,同一坡位不同土层脲酶活性从表层到深层土壤逐渐降低,且递减量相当。坡位间0~60cm土层脲酶活性平均表现为下坡位>上坡位>中坡位。

如图3c,蔗糖酶活性在坡位间同土层差异不

大, 0~20 cm 呈现出从上坡位至下坡位递减的趋势, 20~40、40~60 cm 有递增趋势。同一坡位不同土层中蔗糖酶活性的差异比较明显, 0~20 cm 土层高于 20~40、40~60 cm 土层之和, 可见土壤蔗糖酶主要集中在表层土壤中。坡位间 0~60 cm 土层蔗糖酶活性平均表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位。

如图 3d, 碱性磷酸酶活性在不同坡位表层土壤

(0~20 cm) 差异显著, 下坡位最大, 上坡位次之, 中坡位最小, 20~40 cm 和 40~60 cm 土层坡位间无显著性差异。碱性磷酸酶在同坡位土壤剖面的变化趋势与蔗糖酶一致, 从表层(0~20 cm)到深层(20~40、40~60 cm)显著降低。坡位间 0~60 cm 土层碱性磷酸酶活性平均表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位。

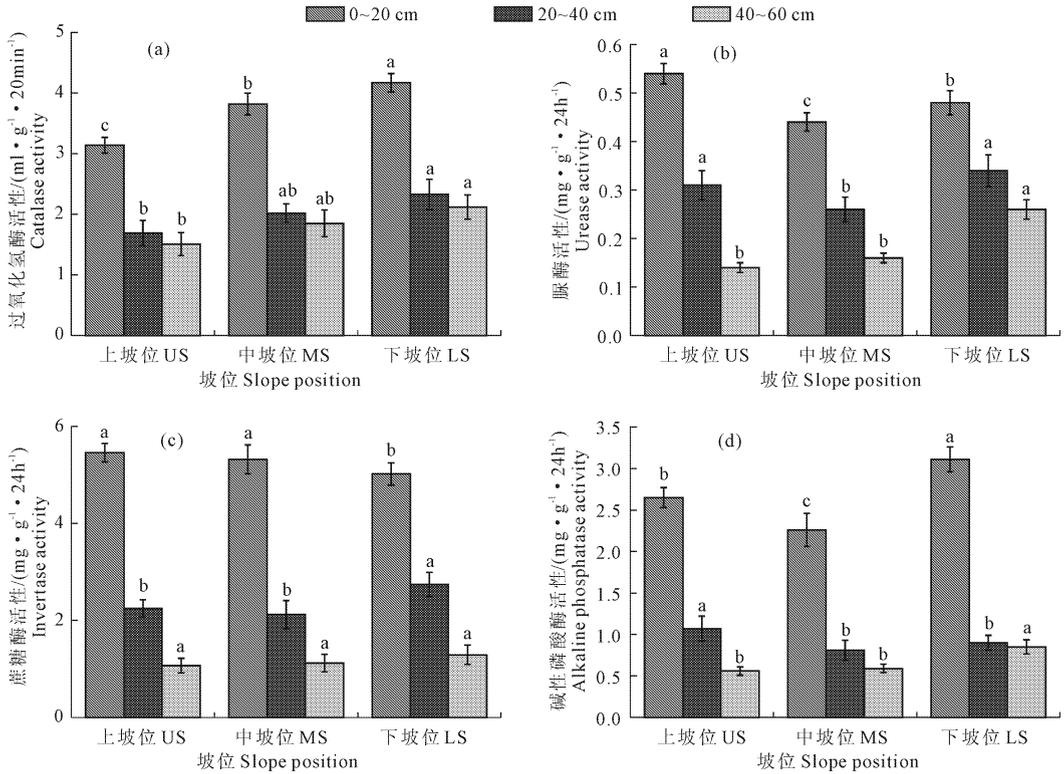


图 3 不同坡位苹果园土壤酶活性

Fig. 3 Soil enzyme activities at different slope positions of apple orchards

2.3 不同坡位苹果园土壤微生物量碳、氮含量

由图 4 可知, 土壤微生物量碳含量在 0~20 cm 土层上坡位显著高于中、下坡位, 20~40、40~60 cm 土层坡位间差异不大, 坡位间不同土层平均含量表现为上坡位 > 下坡位 > 中坡位, 呈现出两边大中间小的趋势, 这可能与光照时间及水土流失有关。坡位对土壤微生物量氮的影响不大, 不同坡位同土层间差异不显著, 仅表层土壤(0~20 cm)由上坡位至下坡位呈现依次递增的趋势, 坡位间平均含量表现为下坡位 > 中坡位 > 上坡位, 出现这种差异的原因可能与水土流失和氮素的转化循环有关。

2.4 不同坡位土壤微生物群落代谢功能多样性

2.4.1 平均颜色变化率(AWCD) 作为土壤生态系统的重要组成部分, AWCD 值反映了微生物利用单一碳源的能力, AWCD 值越大, 表明对碳源利用程度越强, 微生物代谢活性越高^[26]。图 5 中 AWCD 值

曲线反映了土壤微生物在 Biolog-ECO 微平板中的生长状况。不同坡位苹果园土壤微生物均可在 ECO 微平板中稳定持续增长, 192 h 后增长趋势均趋于稳定。培养 24 h 后, 三种坡位土壤微生物 AWCD 值开始出现差异, 48 h 后差异比较明显, 整体趋势表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位, 说明下坡位土壤微生物代谢活性最强, 上坡位次之, 中坡位最弱。

2.4.2 土壤微生物多样性变化 Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(D')、McIntosh 指数(E')分别反映土壤微生物物种的丰富度、优势度以及度量群落物种的均匀度。由表 2 可知, 上坡位和下坡位土壤微生物群落的 Shannon-Wiener 指数显著高于中坡位; 三个坡位土壤微生物群落的 Simpson 优势度指数差异不明显, 可见坡位对于土壤中的常见菌种影响不大; 下坡位土壤微生物群落的 McIntosh 指数显著高于上坡位和中坡位。

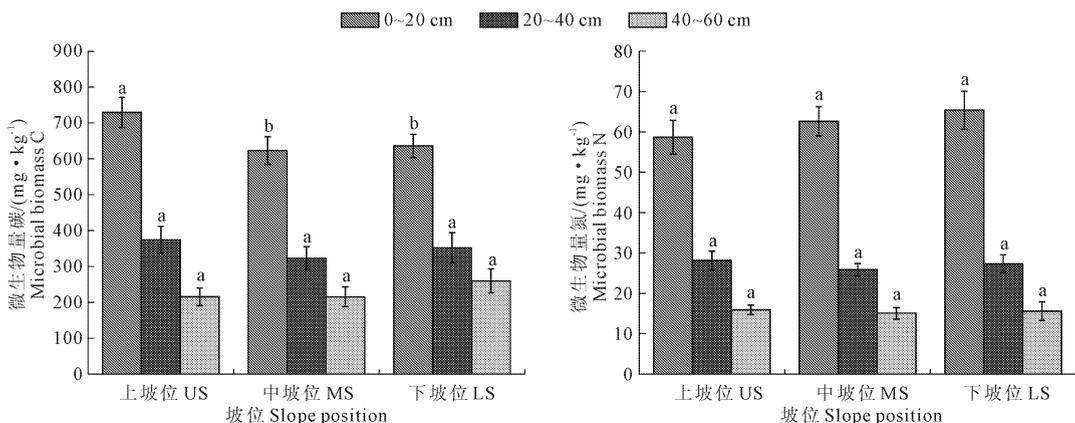


图 4 不同坡位苹果园土壤微生物量碳、氮含量

Fig.4 Soil microbial biomass C, D at different slope positions of apple orchards

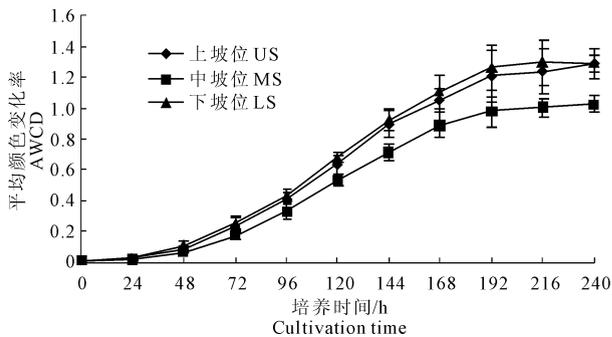


图 5 不同坡位苹果园土壤平均颜色变化率

Fig.5 AWCD of soil at different slope positions of apple orchards

生物稳定性最好,其次为上坡位和中坡位。

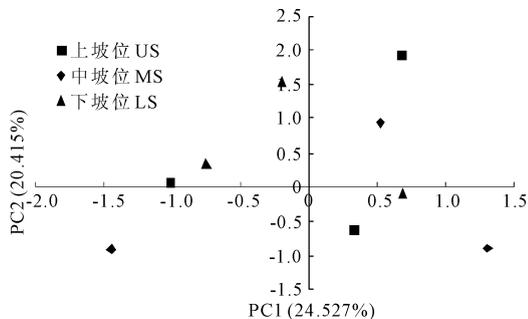


图 6 不同坡位土壤微生物碳源利用的主成分分析

Fig.6 Principal components analysis of soil microbial communities utilizing carbon sources at different slope positions

表 2 不同坡位苹果园土壤微生物群落多样性指数

Table 2 Diversity indices of soil microbial communities at different slope positions of apple orchards

坡位 Slope position	丰富度指数 <i>H</i> Shannon - Wiener	优势度指数 <i>D</i> Simpson	均匀度指数 <i>E</i> McIntosh
上坡位 US	2.675 ± 0.085a	0.910 ± 0.015a	0.997 ± 0.040b
中坡位 MS	2.586 ± 0.152b	0.907 ± 0.016a	0.971 ± 0.046b
下坡位 LS	2.697 ± 0.157a	0.915 ± 0.019a	1.106 ± 0.018a

注:同一列中不同字母表示差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters indicate significant difference in the column at 0.05 level.

2.4.3 主成分分析 对培养 120 h 的数据进行微生物群落主成分分析,从中提取可以聚集单一碳源变量的数据变异(累计方差贡献率)为 44.943% 的前 2 个主成分 PC1、PC2(分别解释初始特征值方差的 24.527%和 20.415%)进行土壤微生物群落多样性分析。由图 6 可知,不同坡位在主成分坐标体系中差异比较明显,在 PC1 轴和 PC2 轴上,上坡位、中坡位、下坡位在正负方向上均各有分布。整体而言,不同坡位土壤微生物群落变异较大,变异(离散)程度表现为下坡位 > 上坡位 > 中坡位,下坡位土壤微

初始载荷因子反映主成分与碳源利用的相关系数,载荷因子越高,表示该碳源对主成分的影响越大。如表 3 所示,对 PC1 贡献较大的碳源(系数 ≥ 0.5)有 8 种,其中多聚物类和羧酸类各占 2 种,氨基酸类、糖类、多酚类和胺类各占 1 种,可见这 6 类碳源均对 PC1 产生影响;对 PC2 贡献较大的碳源有 7 种,其中糖类占 4 种,羧酸类占 2 种,氨基酸类占 1 种,可见对 PC2 影响较大的主要是糖类。

3 讨论

土壤有机质是评价土壤肥力和土壤生产力的重要指标,主要指存在于土壤中含碳的有机物质,它包括各种动植物的残体、微生物体及其分解和合成的各种有机质,一般情况下,微生物的分解作用是原始土壤有机质的主要来源。本试验研究表明,不同坡位土壤有机质含量下坡位 > 上坡位 > 中坡位,其原因可能是下坡位由于坡面水土流失、径流的冲刷等原因,使得大量的有机质等养分在此聚集;而上坡位光照充足,土壤微生物活动较为剧烈,加快了对地表

植物叶片等凋落物的分解,从而提高了土壤有机质含量,因而下坡位与上坡位的有机质含量较高。从土壤剖面来看,不同坡位随着土壤深度的增加,土壤有机质含量有依次降低的趋势,这主要是上层土壤温度较高,微生物生长、繁殖较快,活动剧烈,加快了对动植物残体的分解;下层土壤温度与上层土壤相比显著降低,加之土壤容重增大,严重抑制了微生物的活动;其次,施肥也能增加土壤有机质的积累,故导致有机质的增加主要集中在表层土壤中^[22]。

土壤酶活性与土壤养分的存在状况密切相关,是评价土壤肥力大小的重要参数^[23]。本研究中,土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性均在下坡位表现为最高,由于这 4 种土壤酶的活性大小与土壤有机质关系密切^[24],本研究中下坡位土壤有

机质含量最高,加之下坡位积累了大量的养分,因此下坡位土壤酶活性较强,这与秦华军等^[25]、赵汝东等^[14]研究结果不同,其原因可能是两人所研究区域均为南方林地,其地理环境与气候条件均与本研究区域差异较大,从而导致了土壤酶来源和变化的不同。由于土壤过氧化氢酶活性与土壤微生物活性密切相关,本研究中过氧化氢酶活性表现为下坡位 > 中坡位 > 上坡位,与之后微生物代谢功能多样性分析结果中中坡位土壤微生物活性最低相矛盾,这可能与不同坡位间微地形的变化有关,具体原因还有待于进一步研究。土壤酶活性在土壤剖面层次的变化与有机质一致,均随着土层深度的加深逐渐降低。

土壤微生物量是土壤养分循环中比较活跃的部分,反映了土壤微生物群落的状态和功能,但同时受

表 3 31 种碳源的主成分载荷因子

Table 3 Loading factors of principle components of 31 carbon sources

序号 Plate number	碳源类型 Carbon source	PC1	PC2
A2	β -甲基-D-葡萄糖苷(糖类) β -Methyl-D-Glucoside (carbohydrate)	0.633	-0.481
A3	D-半乳糖酸内脂(糖类)D-Galactonic Acid-Lactone (carbohydrate)	0.361	0.758
A4	L-精氨酸(氨基酸类)L-Arginine (Amino acids)	-0.226	0.643
B1	丙酮酸甲酯(羧酸类)Pyruvic Acid Methyl Ester (carboxylic acids)	-0.513	0.499
B2	D-木糖(糖类)D-Xylose (carbohydrate)	0.484	-0.483
B3	D-半乳糖醛酸(羧酸类)D-Galacturonic Acid (carboxylic acids)	0.625	0.585
B4	L-天门冬酰胺(氨基酸类)L-Asparagine (Amino acids)	0.158	-0.099
C1	吐温 40(多聚物类)Tween40 (Polymers)	0.771	0.134
C2	1-赤藓糖醇(糖类)i-Erythritol (carbohydrate)	-0.706	-0.345
C3	2-羟基苯甲酸(多酚类)2-Hydroxy Benzoic Acid (Polyphenols)	0.772	-0.051
C4	L-苯基丙氨酸(氨基酸类)L-Phenylalanine (Amino acids)	0.656	-0.378
D1	吐温 80(多聚物类)Tween 80 (Polymers)	0.930	-0.232
D2	D-甘露醇(糖类)D-Mannitol (carbohydrate)	-0.071	0.218
D3	4-羟基苯甲酸(多酚类)4-Hydroxy Benzoic Acid (Polyphenols)	-0.358	-0.019
D4	L-丝氨酸(氨基酸类)L-Serine (Amino acids)	-0.131	0.408
E1	α -环式糊精(多聚物类) α -Cyclodextrin (Polymers)	0.233	-0.298
E2	N-乙酰-D-葡萄糖胺(糖类)N-Acetyl-D-Glucosamine (carbohydrate)	0.253	0.755
E3	γ -羟丁酸(羧酸类) γ -Hydroxybutyric Acid (carboxylic acids)	0.518	0.191
E4	L-苏氨酸(氨基酸类)L-Threonine (Amino acids)	0.328	-0.725
F1	肝糖(多聚物类)Glycogen (Polymers)	0.384	-0.015
F2	D-葡萄糖胺酸(羧酸类)D-Glucosaminic Acid (carboxylic acids)	-0.519	0.388
F3	衣康酸(羧酸类)Itaconic Acid (carboxylic acids)	0.299	0.589
F4	甘氨酸-L-谷氨酸(氨基酸类)Glycyl-L-Glutamic Acid (Amino acids)	-0.505	-0.669
G1	D-纤维二糖(糖类)D-Cellulobiose (carbohydrate)	-0.732	-0.195
G2	葡萄糖-1-磷酸(糖类)Glucose-1-Phosphate (carbohydrate)	0.247	0.749
G3	α -丁酮酸(羧酸类) α -Ketobutyric Acid (carboxylic acids)	-0.335	0.113
G4	苯乙胺(胺类)Phenylethylamine (Amines)	0.792	-0.314
H1	α -D-乳糖(糖类) α -D-Lactose (carbohydrate)	0.000	-0.164
H2	D,L- α -磷酸甘油(糖类)D,L- α -Glycerol Phosphate (carbohydrate)	0.385	0.825
H3	D-苹果酸(羧酸类)D-Malic Acid (carboxylic acids)	-0.282	0.376
H4	腐胺(胺类)Putrescine (Amines)	0.395	-0.019

到气候因子、地形地势、施肥状况等因素的影响^[26-27]。微生物量碳、氮是土壤碳素和氮素养分转化和循环中的重要参数,比较直观地反映了土壤微生物活性和肥力状况^[28],且微生物量碳是土壤有机碳的重要组成部分,能够敏感的反应土壤有机质的变化^[29]。本研究中,上坡位土壤微生物量碳含量最高,原因主要是上坡位光照时间较长,植物光合作用增强,光合产物增加,导致土壤中有机的摄入量增加^[30];同时,上坡位土壤微生物对地表植物叶片等凋落物的分解也提高了土壤有机质含量。土壤微生物量氮在不同坡位之间差异不显著,这可能与土壤中氮素的转化方式较多以及不同坡位间多重影响因素的综合作用有关^[7,31]。

Biolog-ECO 检测法是通过测试微生物对单一碳源利用程度来描述微生物群落代谢功能多样性的分析方法,土壤微生物对 Biolog 微平板中单一碳源利用能力的差异反映了土壤中微生物群落代谢功能的不同^[32]。本试验结果表明,不同坡位间土壤微生物活性(AWCD)、微生物多样性指数均存在一定的差异,导致这种差异的主要因素应与坡位间的土壤理化性状、水热状况等生态因子有关^[33]。整体趋势来看,下坡位土壤微生物的 AWCD 高于上坡位和中坡位,说明下坡位土壤微生物活性最大,利用单一碳源的能力最强;微生物丰富度指数(*H*)、优势度指数(*D*)、均匀度指数(*E*)是表征群落多样性的常用指数,本研究中下坡位土壤微生物多样性指数均为最高,这是因为下坡位是土壤养分、水分的聚集地,且有机质含量高,更有利于土壤微生物生长和代谢。主成分分析(图5)表明不同坡位土壤微生物碳源利用存在着比较显著的差异,土壤微生物群落代谢特征发生改变,说明坡位对土壤微生物群落产生较大影响,下坡位土壤变异(离散)值最小,进一步证明下坡位土壤微生物群落稳定性最好。

4 结 论

苹果园土壤各生物学指标在不同坡位间表现出一定的差异。土壤有机质、脲酶活性、蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性和微生物生物量碳在下坡位和上坡位较高;土壤过氧化氢酶活性和微生物生物量氮在下坡位和中坡位较高。

不同坡位间土壤微生物活性(AWCD 值)、丰富度指数、优势度指数和均匀度指数均表现为下坡位高于上坡位和中坡位,下坡位土壤微生物群落稳定性最好。

该区域下坡位土壤质量总体优于上坡位和中坡

位,更适宜种植苹果等经济作物。

参 考 文 献:

- [1] 杨世琦,张爱平,杨淑静,等.典型区域果园土壤有机质变化特征研究[J].中国生态农业学报,2009,17(6):1124-1127.
- [2] 马宁宁,李天来,武春成,等.长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.
- [3] 叶协锋,杨超,李正,等.绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,19(2):445-454.
- [4] Trasar-Cepeda C, Leiros MC, Seoane S, et al. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000,32(13):1867-1875.
- [5] 周礼恺,张志明,曹承绵.土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用[J].土壤学报,1983,20(4):413-418.
- [6] 杨宁,邹冬生,杨满元,等.衡阳紫色土丘陵坡地恢复过程中土壤微生物生物量与土壤养分演变[J].林业科学,2014,50(12):144-150.
- [7] 张地,张育新,曲来叶,等.坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响[J].生态学报,2012,32(20):6412-6421.
- [8] 杨佳佳,安韶山,张宏,等.黄土丘陵区小流域侵蚀环境对土壤微生物量及酶活性的影响[J].生态学报,2015,35(17):5666-5674.
- [9] 李刚,张静妮,赖欣,等.呼伦贝尔不同草地类型土壤微生物量及土壤酶活性研究[J].草业学报,2010,19(5):94-102.
- [10] Ashraf M. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances [J]. Biotechnology Advances, 2010,28(1):169-183.
- [11] 张义,谢永生,郝明德,等.黄土塬面果园土壤养分特征及演变[J].植物营养与肥料学报,2009,16(5):1170-1175.
- [12] 张丽娜,李军,范鹏,等.黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征[J].生态学报,2013,33(6):1907-1915.
- [13] 杨雨林,郭胜利,马玉红,等.黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳氮磷变化特征[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):685-691.
- [14] 赵汝东,樊剑波,何园球,等.坡位对马尾松林下土壤理化性质,酶活性及微生物特性影响[J].生态环境学报,2010,19(12):2857-2862.
- [15] 隋跃宇,焦晓光,高崇生,等.土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J].土壤通报,2009,40(5):1036-1039.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:中国农业出版社,1986.
- [18] 周桦,宇万太,马强,等.氯仿薰蒸提法测定土壤微生物量碳的改进[J].土壤通报,2009,40(1):154-157.
- [19] 黄懿梅,安韶山,曲东,等.两种测定土壤微生物量氮方法的比较初探[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):830-835.
- [20] Garland J L, Mills A L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1991,57(8):2351-2359.
- [21] 沈德中,杨林书,张从,等.NY/T391—2000.绿色食品产地环境技术条件[S].北京:中国标准出版社,2000.

- 式对土壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 53-56.
- [5] 王红梅, 谢应忠, 陈来祥. 黄土高原坡地土壤水分动态特征及影响因素[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(4): 62-66.
- [6] 李 娜, 魏永霞. MATLAB 和 SPSS 在对坡耕地土壤水分空间变异性研究中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(6): 109-113.
- [7] 刘继龙, 马孝义, 张振华. 不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 46-52.
- [8] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 黄土丘陵半干旱地区人工林迹地土壤水分恢复研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 77-83.
- [9] 李玉山, 黄明斌, 杨新民. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 7-13.
- [10] 刘贤赵, 黄明斌. 渭北旱塬苹果园土壤水分环境效应[J]. 果树学报, 2002, 19(2): 75-78.
- [11] 樊 军, 胡 波. 黄土高原果业发展对区域环境的影响与对策[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 355-359.
- [12] 李 军, 陈 兵, 李小芳, 等. 黄土高原不同退耕还林类型区人工林地深层土壤干燥化效应[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1429-1445.
- [13] 黄明斌, 党廷辉, 李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 50-54.
- [14] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 353-356.
- [15] 穆兴民, 徐学选, 王文龙, 等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 210-217.
- [16] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427-432.
- [17] 王艳萍, 王 力, 韩 雪, 等. 黄土塬区不同土地利用方式土壤水分消耗与补给变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7571-7579.
- [18] 王志强, 刘宝元, 张 岩. 不同退耕还林类型对厚层黄土剖面水分含量的影响[J]. 地理学报, 2008, 63(7): 703-713.
- [19] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 30-114.
- [20] 王志强, 刘宝元, 刘 刚, 等. 黄土高原丘陵区人工林草植被耗水深度研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(9): 1279-1303.
- [21] 杨新民, 杨文治, 马玉玺. 纸坊沟流域人工刺槐林生长状况与土壤水分条件研究[J]. 水土保持研究, 1994, 3(1): 31-35.
- [22] Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau [J]. China. Journal of Hydrology, 2001, 240(3-4): 243-263.
- [23] Wang Y Q, Shao M A, Liu Z P, et al. Regional spatial pattern of deep soil water content and its influencing factors [J]. Hydrological Science Journal, 2012, 57(2): 265-281.
- [24] 王志强, 刘宝元, 路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1944-1950.
- [25] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 等. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1998, 28(4): 357-365.
- [26] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 30-114.
- [27] 曹 裕, 李 军, 张社红, 等. 黄土高原苹果园深层土壤干燥化特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 72-79.
- [28] 王亚莉, 李 军, 王学春, 等. 旱塬旱作苹果园水分生产力与土壤干燥化效应模拟[J]. 西北农林科技大学: 自然科学版, 2011, 39(8): 131-146.
- [29] 王 锐, 刘文兆, 李丽霞. 退耕还林类型对黄土塬区深层土壤含水率的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 127-132.

(上接第 101 页)

- [22] 赵广帅, 李发东, 李运生, 等. 长期施肥对土壤有机质积累的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 840-847.
- [23] 李 为, 余龙江, 李 涛, 等. 岩溶生态系统土壤酶活性的时空动态及其与土壤肥力的关系——以桂林丫吉村岩溶试验场为例[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 260-266.
- [24] 朱美玲, 贡 璐, 张龙龙. 塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析[J]. 环境科学, 2015, 36(7): 2678-2685.
- [25] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 等. 西南喀斯特山区寿竹林地土壤微生物量与酶活性在不同坡位和剖面层次的分布特征[J]. 环境科学, 2014, 35(9): 3580-3586.
- [26] Khalili - Rad M, Nourbakhsh F, Jalalian A, et al. The effects of slope position on soil biological properties in an eroded toposequence [J]. Arid Land Research and Management, 2011, 25(3): 308-312.
- [27] 孔 滨, 孙 波, 郑宪清, 等. 水热条件和施肥对黑土中微生物群落代谢特征的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 100-106.
- [28] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India [J]. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 220-227.
- [29] 张成霞, 南志标. 土壤微生物生物量的研究进展[J]. 草业科学, 2010, 27(6): 50-57.
- [30] 成 毅, 安韶山, 马云飞. 宁南山区不同坡位土壤微生物生物量和酶活性的分布特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 148-153.
- [31] 樊向阳, 齐学斌, 黄仲冬, 等. 土壤氮素运移转化机理研究现状与展望[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 254-258.
- [32] 郑 华, 欧阳志云, 方治国, 等. BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 456-461.
- [33] 安韶山, 李国辉, 陈利顶. 宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5225-5234.