

喀斯特地区土壤有机碳及其碳转化酶研究^{*}

周 玮¹, 周运超¹, 李 进²

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省贵阳市花溪区小碧乡农业服务中心, 贵阳 550025)

摘 要: 研究喀斯特地区不同土地利用方式下土壤的可氧化有机碳的含量以及碳转化酶的活性, 结果表明: 1/3 mol/L, 1/6 mol/L, 1/30 mol/L 可氧化有机碳在不同的土地利用方式下含量的大小依次是乔木林> 花椒林> 荒地> 耕地; 蔗糖酶活性在 7 a, 10 a, 13 a, 14 a 生花椒林中较高, 其次乔木林, 2 a 生花椒林活性较低, 荒地中蔗糖酶、多酚氧化酶活性最低。2 a 生花椒林中蔗糖酶、过氧化氢酶活性最低。其余为耕地中酶活性最低。花椒林中大部分酶的活性介于荒地与耕地之间, 并且通过相关性分析表明: 三种可氧化有机碳, 有机质、全氮与土壤酶活性(除过氧化氢酶外)之间存在显著或极显著的正相关关系。

关键词: 可氧化有机碳; 碳转化酶; 喀斯特地区

中图分类号: S153.62

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)01-0084-06

Study on Soil Organic Carbon and Its Oxidation Enzyme in Karst Area

ZHOU Wei¹, ZHOU Yun-chao¹, LI Jin²

(1. Forest College of Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Xiaobi Center of Farming Service of Huaxi District, Guiyang 550025, China)

Abstract: The oxidation organic carbon content and soil enzyme activity were analyzed in different land use patterns. The results showed that: the oxidation organic carbon of 1/3 mol/L, 1/6 mol/L, 1/30 mol/L in different land use patterns performed arber forest > *Zanthoxylum planispinum*'s forest > wasteland > Arable land. The activity of sucrase in 7 a, 10 a, 13 a, 14 a was highest in the *Zanthoxylum planispinum*'s forest, the next one was arber forset. The activity of sucrase and polyphen oxidase were the lowest in the arable land. The activity of sucrase and catalase were the lowest in the 2 a *Zanthoxylum planispinum*'s forest. The most soil enzyme was on the mid of arable land and wasteland. And the correlation was analyzed. The results showed: the significantly or very significant positive correlation was performed between the oxidation organic carbon, organic matter, total nitrogen and the soil enzyme activity.

Key words: oxidation organic carbon; soil enzyme; karst area

在土壤酶的催化作用下, 土壤中营养物质分解为活性物质, 使储存在土壤中的有机物质能够被植物所利用。可氧化有机碳是在土壤酶的作用下被分解的容易被氧化分解的一部分有机碳, 容易被土壤微生物分解, 它参与了土壤生物化学转化过程, 又是土壤微生物生命活动的能源, 对土壤养分的有效化也有着十分重要的作用。并且可氧化有机碳是微生物生长的速效基质, 其含量高低直接影响土壤微生物的活性, 从而影响温室气体的排放。并且土壤酶与可氧化有机碳都是土壤质量的敏感性指标。本文

通过研究喀斯特地区土壤可氧化有机碳以及碳转化酶活性, 可准确地了解土壤质量的动态变化, 并从土壤有机碳以及碳转化酶活性了解喀斯特地区土壤与大气温室气体排放的关系, 从而进一步了解土壤碳“汇”(源)功能。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

试验区位于贵州西南部的北盘江花江流域石漠化较严重地段, 研究区内碳酸盐类岩石占 78.45%,

* 收稿日期: 2008-06-18

基金项目: 贵州省自然科学基金(黔科合 J[2006]2034)

作者简介: 周玮(1982-), 女, 贵州盘县人, 博士研究生, 从事森林土壤学研究。E-mail: zhwei1982802@126.com

通信作者: 周运超(1964-), 男, 贵州兴仁人, 博士生导师, 从事森林土壤学研究。E-mail: fc.yczhou@gzu.edu.cn

属典型的喀斯特峡谷类型。2 a 生花椒与农作物套种;花椒林中除人工种植的顶坛花椒(*Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi*) 外,主要有构树(*Broussoneti papyrifera*)、香椿(*Toona sinensis*)等杂生;乔木林的覆盖度高,主要生长有小叶榕(*Ficus concina*)、朴树(*Celtis tetrandra susp. sinensis*)和南酸枣(*Choerospondias axillaris*)等常绿落叶阔叶树,土层厚,有零星灌丛,草被覆盖,湿度大;荒地地势比较平缓,但是土层较薄,干旱,只有零星的草丛;耕地中主要轮种蚕豆、玉米等农作物,土层比较厚,地势平坦。

1.2 研究方法

在花椒林选取 15 株生长相对较好的花椒,在其茎干基部周围取土(尽可能避开施肥处)。在多样地内,把 15 株花椒随机分为 3 组,每组 5 株,按组分别沿坡向在距离花椒茎干基部周围 45 cm 以内取表层(0– 10 cm 深)土样,在当地乔木林、荒地、耕地采用五点法收集表层土壤,每个样地 3 个重复,每个土样重约 1 kg。土样取回后在室温下风干,过 2 mm 及 0.25 mm 筛备用。

土壤理化性质采用常规分析法:全氮——H₂SO₄– HClO₄ 消煮蒸馏法;碱解氮– 碱解扩散法;全磷——H₂SO₄– HClO₄ 消煮钼锑抗比色法;速效磷——NaHCO₃ 法;土壤蔗糖酶——3, 5- 二硝基水杨酸比色法;脲酶——苯酚钠比色法;蛋白酶——茚三酮比色法;磷酸酶——磷酸苯二钠比色法;土壤可

氧化有机碳的测定采用 KMnO₄ 氧化法;土壤有机碳测定方法采用 KCr₂O₇– H₂SO₄ 氧化法。

2 结果与分析

2.1 土壤有机质

土壤有机质既是植物矿质营养和有机营养的源泉,又是土壤中异养型微生物的能源物质,同时是形成土壤结构的重要因素。因此土壤有机质直接影响着土壤的耐肥性、缓冲性和通气状况等,有机质含量是土壤肥力高低的重要指标之一。表 1 中土壤有机质含量大小是乔木林> 7 a, 10 a, 13 a, 14 a 花椒林> 耕地> 荒地> 2 a, 5 a 花椒林,其中乔木林中有机质含量最高,因为乔木林土壤中有有机质的来源比较多,主要有土壤动物、微生物残骸、植物根系以及枯枝落叶残体,所以含量高。而荒地种土壤有机质的主要来源是草丛根系残体,含量最少,耕地、花椒林地由于人为的施用有机肥,所以有机质含量比荒地要高。2 a, 5 a 生花椒林中有机质的含量最低,可能是因为 2 a, 5 a 生花椒林植株比较小,每年的枯落物少,对土壤有机质的归还量也较少,并且花椒根系不发达,林地上花椒林没有郁闭,不利于土壤中微生物的活动,枯枝落叶以及植物残骸的有机质转化率比较低,有机质的含量相对较少,并且 2 a 生花椒林中还套种有玉米和胡豆,其生物量被全部清除到林外,减少了土壤中有有机质的归还量,加上频繁的松土除草,所以土壤中有有机质的含量最低。

表 1 土壤有机质含量

项 目	不同年限花椒林/ a						乔木林	荒地	耕地
	2	5	7	10	13	14			
有机质/(g· kg ⁻¹)	3.37	3.51	5.93	5.41	5.30	7.78	9.17	3.66	3.8

2.2 土壤可氧化有机碳

2.2.1 1/3 mol/L 可氧化有机碳 土壤有机碳库状况是表征土壤质量演变的敏感指标^[2-3],不同的经营措施将对土壤有机碳库产生不同影响^[3-4],可氧化态有机碳的研究尤为重要。由于可氧化有机碳可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小的变化,又直接参与土壤生物化学转化过程,因而它是评价土壤碳平衡和土壤化学、生物化学肥力保持的重要指标。由图 1 看出,乔木林中可氧化有机碳的含量最高,因为乔木林中植物的根系最发达,增强了土壤的呼吸强度,提高了土壤酶的活性,促进土壤中有有机碳的分解,最后以 CO₂ 的形式释放到大气中,增加大气碳源效应。花椒林土壤中可氧化有机碳的含量次之,因为相对于荒地与耕地来说,花椒林中根系生长较

好,并且人为补充土壤中有有机质的含量对可氧化有机碳的含量也有影响。耕地中可氧化有机碳的含量最少,因为耕地中为了获得最大经济效益,进行比较完善的管理(包括松土、除草、施肥等措施),土壤中的可氧化有机碳大部分以 CO₂ 的形式释放到大气中,因而土壤中的含量较少。Swerts 和 Henriksen 等^[5]的研究证明,农业耕作土壤中施氮水平影响活性有机碳的转移,在高施氮量下,溶解性有机碳的减少相应地增加 CO₂ 释放,因此耕地中 CO₂ 释放量最大。花椒林中可氧化有机碳的含量高于荒地中可氧化有机碳的含量,说明培养人工林特别是人工纯林对当地生态环境的改善不利。而荒地土壤中植物根系较少,土壤较为板结,呼吸强度不大,有机碳大部分储存在土壤中,可氧化有机碳含量少。在花椒

林中 14 a 时 1/3 mol/L 可氧化有机碳达到最高, 土壤中容易被氧化、分解的有机碳含量多, 释放到大气中的 CO₂ 含量增加, 使土壤成为大气 CO₂ 的碳源, 储存在土壤中的有机碳含量少, 对土壤肥力造成不利的影响, 如果长时间发展则会使土壤质量退化。花椒林各样地中 1/3 mol/L 可氧化有机碳的含量都低于乔木林中可氧化有机碳的含量, 高于荒地中的含量。说明花椒林各样地中进行的一系列经营管理措施促进了土壤中有机碳的氧化、分解。

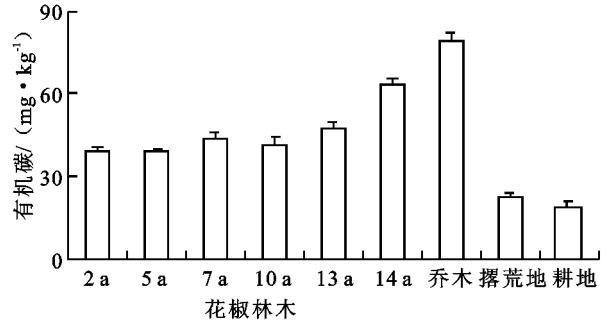


图 1 1/3 mol/L 可氧化有机碳

2.2.2 1/6 mol/L 可氧化有机碳 1/6 mol/L 可氧化有机碳的含量比 1/3 mol/L 活性高, 在土壤中更容易被氧化、分解成为 CO₂, 最终释放到大气中。并且作为土壤肥力指标变化更快, 更敏感。图 2 是 1/6 mol/L 可氧化有机碳含量, 其中乔木林含量最高, 其次是各林龄花椒林, 耕地中土壤可氧化有机碳的含量最低。花椒林中 1/6 mol/L 可氧化有机碳均高于荒地和耕地。说明花椒林土壤中较易分解的有机碳含量高, 土壤的碳源效应比荒地、耕地明显。乔木林中 1/6 mol/L 可氧化有机碳含量最高, 因为乔木林中植物根系比较发达, 吸收转化能力比较强, 土壤中微生物活动比较频繁, 酶活性较高, 有利于有机碳的分解利用。在花椒人工林中 14 a 含量最高, 7 a 次之, 2 a 生花椒林含量最低。因为 7 a 生花椒生长最旺盛, 花椒根系最发达, 有助于吸收, 促进了土壤中有机碳的分解, 可氧化有机碳的含量增加。而 10 a, 13 a 生 1/6 mol/L 可氧化有机碳含量低, 因为 10 a 花椒生长后开始衰退, 根系的吸收能力减弱。而后由于人为施用有机肥和复合肥, 某些肥料能够促进花椒根系的生长, 1/6 mol/L 可氧化有机碳的含量增加。

2.2.3 1/30 mol/L 可氧化有机碳 1/30 mol/L 可氧化有机碳是土壤中三种可氧化有机碳中活性最强的有机碳, 在土壤中最容易氧化、分解, 指示土壤肥力变化最敏感, 也最容易分解释放到大气中增加空气中 CO₂ 的含量。图 3 中 1/30 mol/L 可氧化有机碳的含量是花椒林含量最高, 乔木林次之, 含量最

低的是耕地以及荒地。7 a, 10 a, 13 a, 14 a 生花椒林土壤中的 1/30 mol/L 可氧化有机碳的含量最高, 高于乔木林, 2 a, 5 a 生则低于乔木林, 高于荒地、耕地。说明花椒林中有有机碳最容易分解释放到大气中, 近期土壤的活性最强, 有机碳的释放速度最快。

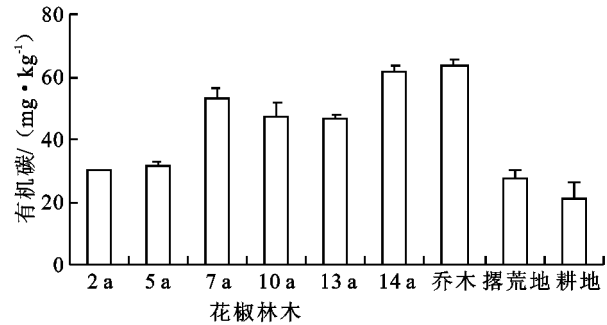


图 2 1/6 mol/L 可氧化有机碳

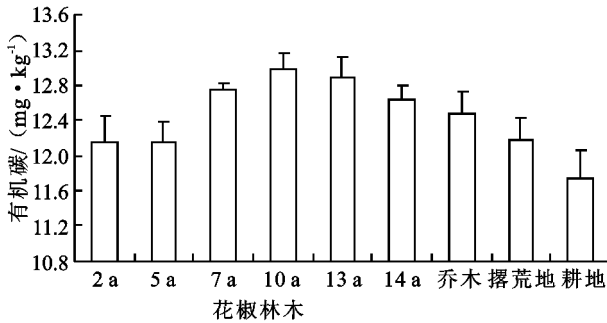


图 3 1/30 mol/L 可氧化有机碳

土壤中不同浓度可氧化有机碳的含量表现出土壤中微生物的活性以及土壤中 CO₂ 的释放速率, 从以上分析中看出花椒林可氧化有机碳释放的速率最快, 土壤有机质分解快, 在短期内可以分解成为植物可利用的物质, 并且释放到大气中, 增强了土壤碳库作为大气温室效应的碳源功能。而乔木林则是 1/30 mol/L 可氧化有机碳的含量相对少, 1/3 mol/L 可氧化有机碳的含量相对较高, 说明乔木林中的有机碳氧化、分解比较缓慢, 可以持续供给植物吸收利用, 并且乔木林中有有机碳被氧化分解而释放出来的 CO₂ 又被林地上植物吸收利用, 相对释放到大气中的 CO₂ 量少, 减缓了土壤的碳源效应。而荒地、耕地则在任何浓度的氧化处理条件下可氧化有机碳的含量都比较低。并且 CO₂ 的释放速度慢, 可能是因为土壤中本来所包含的有机碳含量就不高, 并且荒地中微生物少, 酶活性不强, 所以可氧化有机碳含量少, 分解释放的 CO₂ 也少。

2.3 土壤酶活性

2.3.1 蔗糖酶 土壤蔗糖酶是转化酶中重要的一种酶类, 它对增加土壤中易溶性营养物质起到很重要的作用。研究证明, 蔗糖酶与土壤中许多因子有相关性。一般情况下, 土壤肥力越高, 蔗糖酶的活性

越强。它不仅能够表征土壤生物活性强度,也可以作为评价土壤熟化程度下土壤肥力水平的一个指标。转化酶是表征土壤生物学活性的重要酶^[6],转化酶活性高,说明土壤生物活性高,土壤状况良好^[7]。在不同的土地利用方式下土壤蔗糖酶的活性差异不显著,其中花椒林下土壤蔗糖酶活性总体较高,活性最低的是荒地,乔木林与耕地中蔗糖酶活性差异小。因为荒地比较干旱,土壤温度高,不利于微生物的活动,并且土壤中的有机物含量少,所以土壤中转化酶的活性最低。乔木林中则正好相反,林下湿度大,温度高,根系发达,覆盖度高,是最适合微生物生长的环境,所以蔗糖酶活性较高,花椒林中土壤蔗糖酶的活性总体较高。在图 4 中 13 a 生花椒林蔗糖酶活性最高,其次是 7 a、14 a、10 a 花椒林的土壤蔗糖酶活性,均高于乔木林中土壤蔗糖酶活性,2 a、5 a 生花椒林蔗糖酶活性高于荒地酶的活性,低于耕地和乔木。说明在人为的施肥管理措施下,土壤的蔗糖酶活性有一定的增加,施肥能够增加土壤蔗糖酶的活性。土壤转化酶活性的高峰期出现在作物生育的盛期,这与陈恩凤等人测定的土壤转化酶结果一致^[8];作物生长高峰时对养分的响应强烈,根系代谢旺盛,根系分泌物增多,酶代谢活动增强,活性上升,土壤的熟化程度和肥力水平也逐渐升高。转化酶可使不能直接被植物吸收的蔗糖水解成葡萄糖和果糖,使土壤的生物活性提高。花椒本身对营养物质的吸收、利用影响了土壤中蔗糖酶的活性,所以 10 a 时土壤中蔗糖酶的活性降低。而以后随着人为经营措施的加强,土壤蔗糖酶的活性又慢慢升高。土壤的转化酶活性与土壤中腐殖质,水溶性有机质和黏粒的含量以及微生物的数量及其活动呈正相关,随着土壤熟化程度的提高,转化酶的活性亦增强^[9],转化酶活性呈现一直上升的趋势,说明土壤的熟化程度越来越高。

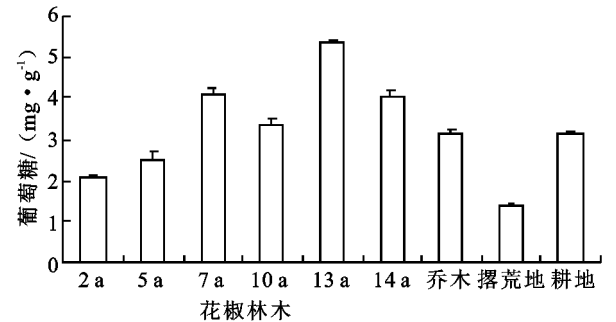


图 4 土壤蔗糖酶活性

2.3.2 淀粉酶 淀粉是土壤中有机残体的组成成分,淀粉酶是参与自然界碳素循环的一种重要的酶。经过相关性分析结果表明(表 2),土壤淀粉酶活性

与土壤中 1/3 mol/L、1/6 mol/L、1/30 mol/L 可氧化有机碳都存在正相关关系。不同的土地利用方式对土壤中淀粉酶活性的影响极显著,图 5 中各土地利用方式下土壤淀粉酶的活性变化明显。图中 7 a、14 a 花椒林>荒地>乔木林>10 a、13 a>耕地>2 a、5 a 花椒林。2 a、5 a 生花椒林中没有完全郁闭,枯落物的分解慢,有机质的转化率比较低,淀粉酶活性低。7 a、14 a 生花椒林淀粉酶活性高于乔木林,可能是因为 7 a 时花椒生长最旺盛,根系的吸收能力最强,酶的活性最高,而 14 a 生施用的肥料对土壤中营养元素的激活有重要作用,所以淀粉酶活性最高。10 a、13 a 生花椒生长经过盛果期,生长开始衰败,根系腐烂,吸收能力减弱,淀粉酶的活性降低。耕地中淀粉酶活性也较低。耕地中种植农作物必须经常耕翻,土壤中的枯枝落叶被全部清除到农地外,而淀粉酶能够促进土壤中有机质的分解,耕地中有机质含量较少,淀粉酶的活性也较低。

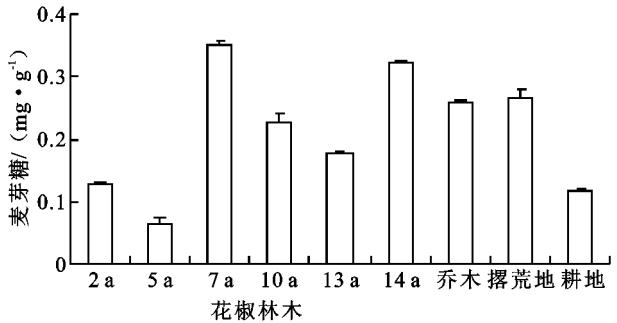


图 5 土壤淀粉酶活性

2.3.3 过氧化氢酶 过氧化氢酶广泛存在于土壤中和生物体内,能够促进过氧化氢的分解,防止它对生物体的毒害作用。在土壤中过氧化氢酶有着非常重要的解毒作用,可以充分防止有毒物质在土壤中大量积累,对植物的生长有非常重要的意义。许多文献指出^[10-11],土壤酶活性是土壤代谢作用的标志,当过氧化氢酶活性达到较高水平时,说明这时土壤过氧化氢酶的解毒能力较强;当过氧化氢酶活性偏低时,可能会影响土壤的解毒能力,容易对土壤和生物产生毒害作用^[12]。从图 6 中可以看出在不同的土地利用方式下,过氧化氢酶活性的变化情况是 7a、13 a 花椒林>乔木林>耕地>5 a、10 a、14 a 花椒林>荒地>2 a 花椒林,7 a、13 a 时花椒林土壤过氧化氢酶活性最高,因为 7 a 时花椒生长最旺盛,并且是花椒的盛果期,为了增加花椒的产量,进行一系列精细的管理措施,促进了土壤中微生物的活动,过氧化氢酶活性最强,酶促土壤中过氧化氢的分解,并且 7 a 生花椒的根系最发达,植物的根系对土壤中的有毒物质有一定的吸附作用,减少过氧化氢在土

壤中的积累量。而 13 a 生花椒开始衰败,农户加强了花椒林土壤的管理,增加了施肥量,可能促进了过氧化氢酶的活性。乔木林过氧化氢酶的活性也较高,因为在乔木林中存在大量的常绿阔叶树,根系都比较发达,并且扎根较深,林间还有一定的灌丛,有深根性植物也有浅根的植物,土壤的解毒能力最强。耕地略低于乔木林,荒地中过氧化氢酶的活性最低,因为荒地上只有零星的草丛,植物的根系不发达,对土壤缺乏一定的净化能力,会导致土壤中有毒物质大量积累,反过来又会影响土壤中植物的生长。而 5 a, 10 a, 14 a 生花椒林中过氧化氢酶的活性低于乔木林和耕地,比荒地中的活性高,说明花椒林土壤的解毒能力比较差,目前的管理措施使土壤中过氧化氢酶活性减弱,解毒能力降低,大量有毒物质在土壤中积累。2 a 生花椒林过氧化氢酶活性最低,因为 2 a 生花椒根系较少,根系的活动能力最弱,过氧化氢酶活性最低。相关性分析表明,土壤过氧化氢酶活性与土壤中 P、K 素的含量以及有效性有关。说明过氧化氢酶能够酶促土壤中 P、K 素的分解,有利于植物的吸收利用。在贵州喀斯特严重的缺磷少钾地区,过氧化氢酶的活性尤其重要。

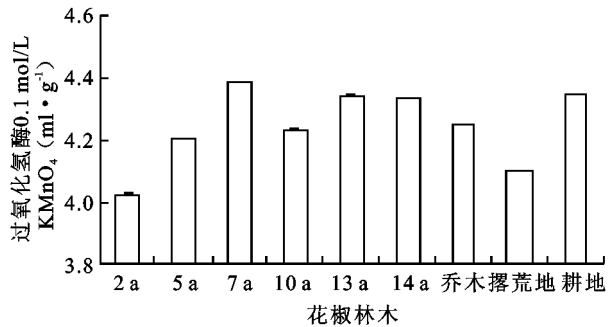


图 6 土壤过氧化氢酶活性

2.3.4 多酚氧化酶 多酚氧化酶参与土壤有机组分中芳香族化合物的转化作用,是腐殖化的一种媒介,是土壤氧化还原酶中了解最多的一种酶。多酚氧化酶专一性很强,它的活性高则会阻碍有机质矿化过程中产生的酚类中间产物进一步合成腐殖质,其结果是导致了酚类化合物的积累^[13],多酚氧化酶的活性能在一定程度上反映土壤的腐殖化进程,多酚氧化酶活性大小变化为乔木林、14 a 花椒林> 耕地> 5 a, 7 a, 10 a, 13 a 花椒林> 荒地> 2 a 生花椒林,乔木林中多酚氧化酶活性最高,多酚氧化酶是促进土壤有机物腐殖化的一种酶类,乔木林中植被最好,覆盖度好,温度比其他的利用方式下要高,有利于土壤微生物的活动,多酚氧化酶活性高,腐殖化作用强。花椒林各样地中多酚氧化酶活性都低于乔木林,说明花椒林的腐殖化能力低于乔木林。除 2 a

生花椒林中多酚氧化酶活性低于荒地外,其余都介于荒地与耕地中。因为荒地中枯落物少,微生物少,腐殖化能力最弱,酶活性最低。2 a 生花椒林多酚氧化酶活性最低,因为 2 a 生花椒林中所有枯落物都被清理出林外,转化成腐殖质的量少,腐殖化作用最低。而荒地最不利于土壤中微生物的活动,因此多酚氧化酶活性较低。花椒林中多酚氧化酶的活性低于乔木林和耕地,说明花椒林地中土壤的腐殖化能力低于乔木林和耕地。相关性分析(张其水等, 1989)说明土壤多酚氧化酶的活性影响着土壤中养分含量以及土壤的通气状况,对土壤质量有明显的影响作用。

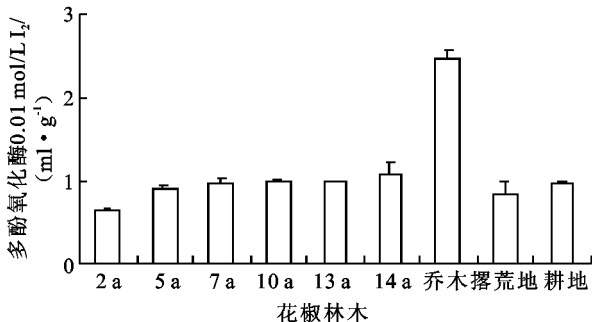


图 7 土壤多酚氧化酶活性

2.4 土壤可氧化有机碳与土壤酶的相关性分析

土壤中蔗糖酶、淀粉酶、多酚氧化酶活性与土壤有机质含量存在显著或者极显著的正相关关系,说明土壤中蔗糖酶、淀粉酶、多酚氧化酶活性可以表示土壤有机质以及氮素的变化情况。而过氧化氢酶的活性与土壤有机质含量相关关系不明显。土壤转化酶即蔗糖酶,能酶促蔗糖分子水解成葡萄糖与果糖,是土壤中参与 C 循环一种重要的酶,被用来表征土壤中生物化学过程的动向与强度。许多研究发现转化酶活性与有机 C、全 N、有效 P 等土壤养分状况有密切的相关关系,转化酶活性是表征土壤生物学活性的指标之一,其产物是植物和微生物的营养源。由于转化酶活性的提高,土壤碳代谢过程加强,消耗的有机物质也会增加,如果土壤中的有机物质不能够得到及时补充,必定会引起土壤有机物的过度消耗,降低土壤肥力水平^[14]。多酚氧化酶是腐殖化的一种介质,与土壤有机质的含量存在极显著的正相关关系。

土壤中可氧化有机碳是土壤有机碳中活性比较高的一部分碳素,活性比较高很容易分解释放,而土壤酶是代表土壤活性的指标,能够酶促土壤中营养物质的分解,有利于植物的吸收利用,所以土壤可氧化有机碳与土壤酶有很大的相关性。从表 2 的相关性分析可以看出土壤酶与土壤中可氧化有机碳的含

量呈显著的正相关关系,土壤中三种活性有机碳的含量与土壤中蔗糖酶、淀粉酶、脲酶、蛋白酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性都存在显著或极显著的正相关关系。过氧化氢酶活性与土壤中各种可氧化有机碳的含量都不存在相关关系。因为土壤中过氧化氢酶活性在土壤中主要起到解毒作用,不能够代表土壤中养分含量的变化,所以不相关。而土壤中其他酶的活性分别代表土壤中 C, N, P, K 的变化情况,因此与各种可氧化有机碳含量呈正相关关系,说明可氧化有机碳能够代表土壤活性的变化,可以作为土壤的生物学指标。

表 2 土壤酶与可氧化有机碳的相关性分析

有机碳	蔗糖酶	淀粉酶	过氧化氢酶	多酚氧化酶
有机质	0.27*	0.49**	0.006	0.68**
1/3 mol/L 有机碳	0.26*	0.53**	-0.05	0.63**
1/6 mol/L 有机碳	0.32**	0.63**	0.09	0.61**
1/30 mol/L 有机碳	0.15	0.49**	0.03	0.47**

注: $r_{0.05}(84)=0.2171$; $r_{0.01}(84)=0.2830$

3 结 论

(1) 1/3 mol/L, 1/6 mol/L, 1/30 mol/L 可氧化有机碳在不同的土地利用方式下含量的大小依次是乔木林> 花椒林> 荒地> 耕地。

(2) 蔗糖酶活性在 7 a, 10 a, 13 a, 14 a 生花椒林中较高, 其次是乔木林, 2 a 生花椒林活性较低, 荒地中蔗糖酶、多酚氧化酶活性最低。2 a 生花椒林中蔗糖酶、过氧化氢酶活性最低。其余为耕地中酶活性最低。花椒林中大部分酶的活性介于荒地与耕地之间。

(3) 相关性分析表明, 三种可氧化有机碳, 有机质与土壤蔗糖酶、淀粉酶、多酚氧化酶之间存在显著或极显著的正相关关系, 过氧化氢酶与可氧化有机碳、有机质相关性不明显。

参考文献:

[1] 龙成昌, 陈训. 花江峡谷地区顶坛花椒生长状况与土壤条件相关分析[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2003, 21(3): 102-104.

[2] Lefory R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic C fractions and ^{13}C natural isotope abundance[J]. Plant and Soil, 1993, 156: 399-402.

[3] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 6-10.

[4] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物碳、氮的演变[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 112-115.

[5] Swerts H. Influence of carbon availability on the production of NO , N_2O , N_2 and CO_2 by soil cores during anaerobic incubation[J]. Plant and Soil, 1996, 181: 145-151.

[6] 严昶升. 土壤肥力研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1988: 277-279.

[7] 吴凤芝, 栾非时, 王东凯, 等. 大棚黄瓜连作对根系活力及其根际土壤酶活性影响的研究[J]. 东北农业大学学报, 1996, 27(3): 255-258.

[8] 陈恩凤. 土壤肥料基础及调控[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[9] 周礼凯, 张志明. 土壤酶活性的测定方法[J]. 土壤通报, 1980(5): 37-38.

[10] 严健汉, 詹重慈. 环境土壤学[M]. 武汉: 华中师范大学, 1985: 154-155.

[11] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 1-304.

[12] 贾继文, 聂俊华, 李絮花, 等. 蔬菜大棚土壤理化性状与土壤酶活性关系的研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(4): 427-432.

[13] 张其水, 俞新妥. 杉木连栽林地混交林土壤酶的分布特征的研究[J]. 福建林学院学报, 1989, 9(3): 256-262.

[14] 闫德仁. 人工林土壤腐殖质特性和土壤酶活性的研究[J]. 林业科技, 1997, 22(5): 110-120.