

文章编号: 1008-2786-(2016)1-28-10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000097

喀斯特山区无籽刺梨种植基地土壤酶活性 与肥力因子的关系

杨 皓^{1 2} 范明毅¹ 李婕羚^{1 2} 石雪丹¹ 胡继伟^{1 2*}

(1. 贵州师范大学 贵州省山地环境信息系统与生态保护重点实验室 贵州 贵阳 550001;

2. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 土壤酶是土壤的重要组成,与土壤肥力因子密切相关。选择贵州省贵阳市乌当区、安顺市西秀区、黔西南州兴仁县喀斯特山区不同林龄的无籽刺梨种植基地的根系土壤为研究对象,就土壤酶活性与肥力因子之间的关系,对土壤肥力因子对土壤酶活性的影响程度和机理进行探讨。结果表明:随着种植年限的增加,土壤酶活性与土壤肥力因子趋向变好;土壤酶活性与多个土壤肥力因子之间呈现出显著的相关性,可以作为表征土壤肥力的生物指标;由通径分析和决策系数可知,土壤全氮和速效钾含量对过氧化氢酶产生显著的直接正效应,速效钾、水解氮和有机质是影响蔗糖酶的主导因子,水解氮、速效钾和土壤含水量是影响脲酶活性的重要因素。综合来看,无籽刺梨的种植有利于喀斯特山区植被恢复和土壤肥力的提高,可作为生态重建的经济作物之一,而速效钾含量成为影响该地区无籽刺梨种植基地土壤酶活性的一个关键性因子,通径分析的结果和典型相关分析、线性回归分析大体吻合。

关键词: 土壤酶活性;土壤肥力;无籽刺梨;喀斯特;通径分析

中图分类号: S158

文献标志码: A

喀斯特山区由于抗干扰能力弱、环境库容低、稳定性差,呈现出一种脆弱的退化形态,加上生境对植物有较强的选择性,植物特点多具石生性和耐瘠性,恢复与重建当地的植被无疑是喀斯特山区生态修复和重建的关键环节^[1],植被恢复可有效遏制喀斯特山区石漠化加重的趋势,因此,恢复喀斯特山区植被,提高土壤生产力是改善当地土壤质量的有效途径之一^[2]。无籽刺梨(*Rosa sterili* S. D. Shi)亦被称为金刺梨、无子刺梨等,系蔷薇科蔷薇属植物。1985年由贵州省植物园的时圣德先生首次发现,2006年

无籽刺梨果树开始在贵州安顺地区示范推广栽种,2014年贵州省政府批复了支持贵州刺梨产业发展的规划(黔府函[2014]170号)。无籽刺梨为浅根性果树,环境适应力强,产量高,果期也较长,其果实营养丰富,含糖量高,富含多种维生素、氨基酸和微量元素。在植被恢复的过程中,无籽刺梨因其较高的经济效益、社会效益与生态效益,成为贵州石漠化地区生态重建的首选经济作物之一,适宜在喀斯特山区规模化栽种。

土壤酶是土壤的重要组成,其作用主要是在土

收稿日期(Received date): 2015-04-10; 修回日期(Accepted): 2015-05-12。

基金项目(Foundation item): 贵州省科技计划项目(黔科合J字LKS[2013]09号); 贵州师范大学研究生创新基金(研创2014(25)); 贵州师范大学博士基金(301-040505020)。[Supported by the Government of Guizhou Province (Project No. LKS[2013]09), Graduate Student Innovation Fund of Guizhou Normal University (2014(25)), and PhD Fellowship of Guizhou Normal University(301-040505020).]

作者简介(Biography): 杨皓(1989-),男,四川广安人,硕士研究生,研究方向为喀斯特地区生态修复与区域经济。[Yang Hao (1989-), male, born in Guangan, Sichuan province, master candidate, research in ecological remediation and regional economic of karst area.] E-mail: yanghaosc1989@foxmail.com

* 通信作者(Corresponding author): 胡继伟(1963-),男,安徽安庆人,博士,教授,主要从事环境分析研究工作。[Hu Jiwei (1963-), male, born in Anqing, Anhui province, doctor, professor. the major fields are environmental analysis and research.] E-mail: jiwei@ya-hoo.com

壤颗粒、作物根系和微生物细胞表面发生的土壤层内的自然界物质循环,与环境有高度的同一性,酶促作用使土壤具有同生物体相似的组织代谢能力^[3]。有研究表明,有接近 90% 的土壤酶活性可能与植物根系的分泌物有关^[4],酶活性的高低与土壤肥力因子以及土壤熟化度有关,并能反映土壤养分转化能力的强弱^[5-6],土壤酶与肥力因子之间的关系一直是各类土壤环境研究的热点问题。影响作物品质的土壤酶主要有脲酶、蔗糖酶与过氧化氢酶等,酶活性随着种植年限的增加呈不同的变化趋势,这些酶活性的变化直接影响土壤营养的转化及作物对营养的吸收,进而影响作物生长和有效化学物质的形成^[7-8]。目前有关土壤酶活性的研究主要集中于土壤酶活性的来源和性质、酶活性对土壤质量的影响以及微生物与酶活性的关系等方面^[9],较少针对特定区域的土壤酶与土壤肥力因子的综合研究,特别是对不同林龄的无籽刺梨基地的根系土壤酶活性与土壤养分之间关系的研究。因此,本研究以贵州喀斯特山区不同林龄的无籽刺梨种植基地的根系土壤为研究对象,分析其土壤酶活性与土壤肥力因子的关系,探讨植被恢复过程中土壤酶与土壤肥力因子的变化和关系,旨在喀斯特山区造林过程中的树种选择和土地利用及生态修复提供科学依据和参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵州是我国碳酸盐岩分布面积最大,喀斯特最为发育的省份之一,也是全球三大连片喀斯特发育的东亚片区的中心区域^[10],其土壤质量易受成土环境和外部干扰的影响。根据种植年限的不同,选择贵州喀斯特山区不同林龄的无籽刺梨种植基地作为研究区,包括贵阳市乌当区、安顺市西秀区和黔西南州兴仁县。研究区均位于贵州中西部无籽刺梨规模种植区,出露岩性为石灰岩,属于喀斯特高原与丘陵

地貌,也属于国家科技部划定的石漠化工程治理县市,气候类型属亚热带高原季风湿润气候,四季分明,无严寒和酷暑。研究区种植基地的选择考虑到了无籽刺梨的种植年限的不同——兴仁县(1~2 a)、乌当区(3~4 a)和西秀区(8~9 a);其次,选择的研究区长势较好并初具规模和示范效应,考虑到了无籽刺梨的原产地(兴仁县)、人工种植的较早产地(西秀区)和近年发展较好的产地(乌当区)代表贵州喀斯特山区主要种植基地的一般情况,具体情况见表 1。

1.2 样品采集

2014 年 11 月中旬在选定的采样地,依照相关采样方法^[11]根据采样地面积、地形、果树的长势等特点,运用 GPS 定位每个采样点的位置,采用“S”形布点方法分别采集各研究区果树根系的表层土壤(0~20 cm)并编号,混合均匀后,按四分法各取 1 kg 带回实验室自然风干,在室内剔除石粒、植物残根等杂质后,研磨过至 0.15 mm 的土壤筛后保存备用^[12]。

1.3 样品分析

土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶的测定参考关松荫编制的《土壤酶及其研究法》^[13],测定土壤含水量采用烘干法,测定土壤 pH 值采用玻璃电极法(水土比为 5:1),测定有机质含量采用重铬酸钾氧化-外加加热法,测定土壤全氮采用半微量凯氏定氮法,土壤全钾的测定采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法,土壤全磷的测定采用 ClO₄-H₂SO₄法-钼锑抗比色法,测定土壤水解氮、速效磷、速效钾分别采用碱性扩散法、HCl-H₂SO₄双酸浸提法、乙酸铵浸提-火焰光度法,土壤锌、铁、铜、锰的有效态测定采用 DTPA 浸提-电感耦合等离子体发射光谱法测定。样品的测定均做平行测定和空白试验。

1.4 数据分析

首先,对数据的正态性进行 Kolmogorov-Smirnov 检验,然后,利用 Excel 2003、AMOS 和 SPSS 19.0 对土壤酶活性和肥力因子进行描述性分析、典型相关分析、线性回归分析和通径分析。

表 1 无籽刺梨种植基地自然地理概况
Tab. 1 Geographical characteristics of *Rosa sterilis* S. D. Shi planting bases

研究区	经纬度	海拔	年均温	年降雨量	植被土壤区
Study area	Latitude and longitude	Altitude/m	Annual mean temperature /℃	Annual precipitation/mm	Vegetation and soil region
兴仁县 Xingren	26°29'N, 105°29'E	1 430	15.2	1 315	中亚热带常绿阔叶林红、黄壤地带
乌当区 Wudang	26°45'N, 106°58'E	1 090	15.0	1 178	中亚热带常绿阔叶林红、黄壤地带
西秀区 Xixiu	26°14'N, 105°58'E	1 370	14.8	1 356	中亚热带常绿阔叶林红、黄壤地带

2 结果与分析

2.1 不同林龄的无籽刺梨种植基地土壤养分基本情况

由表 2 可知,喀斯特山区不同年限无籽刺梨种植基地的土壤含水量(soil water content ,SWC) 差异较小,分别为 24.43%、24.10% 和 25.27%,土壤水分含量偏低(矿质土壤水分含量为 25% ~ 60%^[14]) 结果与已有文献得出的结论类似^[15],这可能是由于喀斯特基质岩体具有较高的裂隙与渗透性,随着种植年限的增加,土壤含水量大体上也缓慢增加,说明植被有调蓄水分的作用。种植年限的增加能促进土壤含水率的增加。土壤酸碱度影响土壤营养转换、酶活性和养分的有效性以及作物的生长^[16],研究区的 pH 值均高于贵州省的土壤背景值(均值 6.2),但呈现出一种随着种植年限的增加,土壤 pH 也相应下降的趋势,土壤 pH 值下降可能是由于基地的果树管理与施氮肥、有机肥所致。但根据果园的土壤酸碱度分级^[17],种植基地土壤并未达到明显酸化的程度,分别处于中性、中性与微酸性等级,可能是由于在石灰岩发育的土壤含有较多的碳酸钙,对植物根系产生的酸有中和作用,酸化程度不明显。

土壤有机质(organic matter ,OM) 能促进土壤团聚体的形成,改善土壤物理结构,是土壤肥力的重要指标^[18]。研究区土壤在 3 ~ 4 a 出现均值的最高值,在总体上呈现出一种先上升后缓慢下降的趋势。根据全国第二次土壤普查标准^[19],三地的土壤有机质含量达到 2 级或以上水平,总体上十分丰富,但兴仁县的有机质含量平均水平低于贵州省第二次土壤普查结果(均值 38.7 g/kg)^[20],研究区有机质含量较高,这可能与当地农户施肥和管理有关。

三个种植基地内土壤氮素总体上较丰富,全氮(total nitrogen ,TN) 与水解氮(hydrolyzable nitrogen ,HN) 含量在果树生长到 3 ~ 4 a 达到最大值,呈中上及以上水平,与贵州省旱地土壤耕层全氮含量平均水平较吻合(均值 1.71 g/kg)^[21],兴仁县个别样点存在缺氮情况。

三地土壤全磷(total phosphorus ,TP) 与速效磷(available phosphorus ,AP) 含量较低,存在着缺磷问题,其中兴仁县和乌当区的磷素平均水平均在缺乏与极缺乏状态,特别是种植年限在 4 a 以下的基地,

表 2 研究区土壤肥力指标的描述性分析

Tab. 2 Descriptive analysis for soil fertility of study areas

研究区 Study area	项目 Project	样点数 Sample number	范围 Range	均值 Mean	变异系数 Coefficient of variation /%
兴仁县 Xingren	SWC	15	14.34 ~ 38.54	24.43	33.45
	pH	15	5.72 ~ 7.20	6.83	6.42
	OM	15	8.95 ~ 51.75	32.30	48.23
	TN	15	0.41 ~ 2.40	1.34	47.51
	TP	15	0.16 ~ 0.40	0.29	24.77
	TK	15	0.51 ~ 4.75	2.30	60.54
	HN	15	34.37 ~ 257.71	88.83	72.97
	AP	15	3.31 ~ 8.04	4.94	9.47
	AK	15	9.53 ~ 65.62	29.02	71.41
	Available Zn	15	0.13 ~ 1.17	0.52	61.14
	Available Fe	15	1.44 ~ 20.15	8.15	77.67
	Available Cu	15	0.21 ~ 1.10	0.62	43.92
乌当区 Wudang	Available Mn	15	2.57 ~ 20.68	8.42	70.53
	SWC	13	18.75 ~ 30.90	24.10	20.46
	pH	13	6.24 ~ 7.35	6.64	5.82
	OM	13	36.66 ~ 61.98	50.84	19.00
	TN	13	1.50 ~ 2.73	2.06	21.43
	TP	13	0.02 ~ 0.35	0.25	38.53
	TK	13	0.63 ~ 8.76	4.90	47.51
	HN	13	87.20 ~ 191.93	126.19	24.58
	AP	13	3.18 ~ 8.56	4.95	30.87
	AK	13	22.51 ~ 117.82	55.13	51.34
	Available Zn	13	0.28 ~ 1.49	1.06	36.77
	Available Fe	13	3.19 ~ 26.51	16.18	46.27
西秀区 Xixiu	Available Cu	13	0.57 ~ 0.98	0.76	20.62
	Available Mn	13	4.05 ~ 39.92	26.80	41.49
	SWC	15	21.02 ~ 30.13	25.27	10.26
	pH	15	6.12 ~ 6.84	6.38	3.26
	OM	15	34.30 ~ 65.00	48.57	24.98
	TN	15	0.60 ~ 2.83	1.78	31.33
	TP	15	0.13 ~ 0.75	0.44	45.57
	TK	15	2.55 ~ 8.86	5.27	43.42
	HN	15	67.02 ~ 214.48	116.30	36.60
	AP	15	8.12 ~ 35.39	19.25	18.70
	AK	15	70.81 ~ 139.26	105.76	20.14
	Available Zn	15	0.41 ~ 3.23	1.38	65.22
	Available Fe	15	6.15 ~ 22.28	11.89	35.92
	Available Cu	15	0.67 ~ 3.02	1.54	41.24
	Available Mn	15	4.23 ~ 34.41	9.18	88.25

注: 土壤含水量的单位为%, 有机质、全氮、全磷和全钾的单位为 g/kg, 水解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效铁、有效铜和有效锰的单位为 mg/kg(SWC of the unit is %, OM, TN, TP and TK of the unit is g/kg, HN, AP, AK, available Zn, Fe, Cu and Mn of the unit is mg/kg.)。

全磷和速效磷含量呈较低水平,应注意补施磷肥。

三地土壤钾素水平(total potassium, TK; available potassium, AK)除了西秀区情况稍好以外,其余各点同磷素一样较缺乏,种植年限在4 a以下的两基地同样存在缺钾问题,且处于全国第二次土壤普查的极缺乏水平。究其原因,喀斯特山区的黄壤或者黄壤与石灰性混合土壤是中国最贫钾的土壤之一,土壤闭结,再加上研究区喜作物间种套作,作物需钾量大,而土壤供钾能力严重不足。果树生长必需的微量元素Zn、Fe、Cu、Mn(Available Zn、Fe、Cu and Mn)等维持了作物正常的生理生化功能,对果实品质和产量等有很大的影响^[22]。

根据研究结果,研究区的土壤微量元素变幅较大,变异系数也较大,参照土壤微量元素分级标准^[23],兴仁县的1~2 a林的微量元素含量较缺乏,处于较低水平,但随着种植年限的增加,微量元素含量也随之增加,但平均含量的差异已不十分明显,说明微量元素的变化在种植初期可能由于农户施肥的影响快速增加,经过一段种植年限后又呈现一种稳定状态。

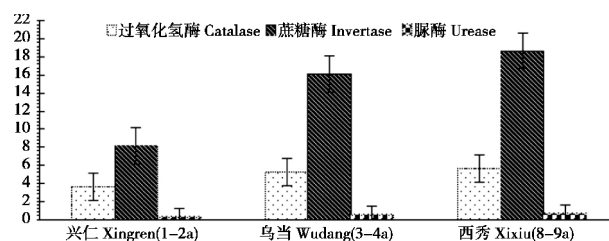
2.2 不同林龄的无籽刺梨种植基地根系土壤酶活性的差异性

许多研究结果表明,土壤酶参与了其中重要的土壤生化过程,其活性与土壤的肥力因子、土壤生物数量和土壤环境条件都存在着相互联系^[24]。脲酶(Urease)是氮素循环的关键酶类,其活性在某些方面反映了土壤供氮能力与水平^[13];蔗糖酶(Invertase)来自植物根系和微生物,参与土壤物质循环,对增加土壤中易溶性养分物质含量起着重要作用^[24];过氧化氢酶(Catalase)可将过氧化氢分解为水和氧气,减轻土壤中过氧化氢的毒害作用并促进有机质的分解^[25]。

由图1可知,喀斯特山区不同林龄的三个无籽刺梨种植基地根系土壤的酶活性的大小关系为:西秀(8~9 a) > 乌当(3~4 a) > 兴仁(1~2 a),变化趋势相同,随着时间的增加有递增的趋势,但不同酶活性的递增趋势差异较大。特别是蔗糖酶活性随着种植年限的增加,其增加趋势较另外2种酶明显,说明随着种植年限的增加,特别是栽培初期,良好的抚育管理和肥料的使用所带来的土壤条件的改变,更能反映人为因素对该地区土壤熟化的影响,其根系分泌物和凋落物等刺激了蔗糖酶的活性,随着种植年限的逐年增加,土壤的pH值从6.8降至6.3,土

壤酶活性也随之增加,这也与王涵^[26]等人的研究结论一致:土壤酸化能够激活蔗糖酶。有研究发现不同林龄的柠条林土壤蔗糖酶、脲酶活性总体也表现为中龄林高于幼龄林^[27],此研究结论也印证了本文的观点,其原因可能为,随着种植年限的增加,土壤中凋落物增多,凋落物的分解致使土壤pH值下降,且随种植年限的增加,较高的郁闭度可以增加截流降水,从而致使土壤pH值降低,进而刺激土壤蔗糖酶、脲酶活性^[28]。而过氧化氢酶的变化则是由于土壤酸碱度改变了用于结合或催化的氨基酸功能基团的空间结构,干扰了其对pH的敏感性来影响过氧化氢酶活性。

喀斯特山区植被恢复是一个复杂的过程,研究发现不同酶类随种植年限的变化,表现出一定的规律,表明种植年限的增加能有效促进土壤中营养物质的循环和代谢,无籽刺梨非常适合作为喀斯特山区生态修复的树种去种植,而土壤酶活性除了受到土壤肥力因子等的影响外,还与种植年限有关。



过氧化氢酶单位为0.1 mol/L KMnO_4 ml/(g · 20 min),蔗糖酶单位为Glucose mg/(g · 24 h),脲酶单位为 $\text{NH}_3 - \text{N}$ mg/(g · 24 h)。Catalase of the unit is 0.1 mol/L KMnO_4 ml/(g · 20 min), Invertase of the unit is Glucose mg/(g · 24 h), Urease of the unit is $\text{NH}_3 - \text{N}$ mg/(g · 24 h)。

图1 三个研究区的土壤酶活性的变化趋势

Fig. 1 Variation trend of soil enzyme activities for the three study areas

2.3 无籽刺梨种植基地根系土壤肥力因子相关性分析

由表3可知,土壤酶活性之间相互存在着极显著正相关关系,表明植被恢复的程度与土壤中的多糖的转化以及与氮素的转化之间关系密切并相互影响,酶专一地作用于某一种基质,反映与土壤酶相关的有机化合物的转化进程,而酶的共性关系则在一定程度上反映土壤肥力水平^[29],其中某种酶与基质结合后产生一种或多种信息物质,这些信息物质可以激活其他酶的活性^[30]。土壤含水量、全氮、有机质、全钾、水解氮和速效钾与过氧化氢酶的相关系数

较高,与有机质之间相关系数达 0.708,说明过氧化氢酶活性与有机质含量高低有关。

蔗糖酶与土壤有机质、全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷、速效钾之间存在着极显著的正相关关系,与有效铜存在显著相关,特别是和有机质、全氮、水解氮之间相关系数较高,说明蔗糖酶对增加土壤中易溶物质有重要作用,在土壤 C、N 转化过程中作用很大,与文献结论相符^[31]。

脲酶与有机质、全氮、全磷、水解氮、速效磷、速效钾和有效铜之间呈极显著正相关,与全钾和有效锌之间存在显著的正相关,脲酶能促进尿素的水解,所产生的氨是高等植物的直接氮源,其活性同人工土壤中 N、K 等的转化有关^[32]。

因此,土壤酶活性与土壤肥力因子相关性较高,说明土壤酶对土壤肥力的形成与积累有重要影响,可作为评价该地区土壤肥力的生物指标。

2.4 无籽刺梨种植基地根系土壤酶活性与肥力因子途径分析

将土壤酶活性(过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶)作为因变量与土壤各肥力因子(土壤含水量、pH、有机质、全氮、全磷、全钾、水解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效铁、有效铜和有效锰)作为自变量,开展途径分析^[33],从所有可供选择的自变量中逐步地选择加入或删除某个自变量,直到建立最优的回归方程为止(表 4)。根据决定系数 R^2 ,三种酶活性分别为 0.789、0.806 和 0.818,则剩余因子分别为 0.459 3、0.440 5 和 0.426 6,数值较大,说明对土壤酶活性的影响不仅仅局限于所选取的 13 种土壤肥力因子,还有一些影响较大的因素未被考虑,有待进一步研究。

总体来看,影响三种酶活性的主要因子是速效

钾,除此之外,氮素(包括全氮和水解氮)对土壤酶活性的影响也较大。

由表 5 可知,土壤全氮和速效钾含量的直接途径系数为 0.743 和 0.376,系数较大,其通过其他因素对过氧化氢酶的间接途径系数较小,表明土壤全氮和速效钾对过氧化氢酶活性具有强烈的正效应,土壤酶以结合态或游离态的形式,参与土壤有机质的分解与合成及氮、磷、钾等物质循环^[34]。而各因子的决策系数大小反映了影响程度的强弱,全氮、速效钾对过氧化氢酶活性的决策系数分别为 0.552 和 0.141,共同作用系数为 0.025,结果为正值,说明土壤中过氧化氢酶活性起决定作用的理化因子是全氮、速效钾。

由表 6 可知,土壤有机质、速效钾和水解氮的直接途径系数分别为 0.223、0.479 和 0.716,三者对土壤蔗糖酶的直接影响较其他土壤因子显著。有机质含量虽然与土壤蔗糖酶存在较小的直接途径系数,但通过速效钾和水解氮的间接途径系数较大,因此相关性显著,土壤养分对土壤蔗糖酶活性的决策系数的大小关系为:速效钾>水解氮>有机质,速效钾对蔗糖酶的直接途径系数较大,因而其对蔗糖酶活性的决策系数值(0.229)相对其他肥力因子较大,对蔗糖酶活性起着决定性作用。由表 7 可知,水解氮、速效钾和土壤含水量对土壤脲酶的直接途径系数较大,分别为 0.677、0.571 和 -0.266,前两者对脲酶活性的直接作用为正,土壤含水量对脲酶活性的影响为负,由决策系数可知,土壤水解氮和速效钾是影响研究区脲酶活性的主导因素,同时土壤含水量亦对其有直接影响。

表 3 研究区土壤酶活性与土壤肥力因子的相关系数
Tab. 3 Coefficients of correlation between soil enzyme activities and fertility factors

项目 Project	Catalase	Invertase	Urease	项目 Project	Catalase	Invertase	Urease
Catalase	1	0.848 **	0.739 **	TK	0.493 * *	0.494 **	0.419 *
Invertase	0.848 **	1	0.894 **	HN	0.695 **	0.716 **	0.704 **
Urease	0.739 **	0.894 **	1	AP	0.367	0.484 **	0.620 **
SWC	0.395 *	0.293	0.194	AK	0.542 **	0.694 **	0.689 **
pH	0.267	0.282	0.273	Available Zn	0.299	0.365	0.401 *
OM	0.708 **	0.731 **	0.633 **	Available Fe	0.250	0.288	0.263
TN	0.743 **	0.678 **	0.502 **	Available Cu	0.364	0.428 *	0.573 **
TP	0.296	0.476 **	0.576 **	Available Mn	0.264	0.280	0.171

注: *、* * 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平上显著、极显著(* and * * indicated 0.05 and 0.01 significant levels respectively.)。

表 4 土壤酶关于土壤肥力因子的逐步回归方程模拟

Tab. 4 Stepwise regression analysis for soil fertility factors and soil enzyme activities

逐步回归方程 Stepwise regression equation	F 值	P 值	R ²
Catalase = 1.378 + 1.508 TN + 0.013 AK	28.855	<0.01	0.789
Invertase = -0.661 + 0.094 OM + 0.075 AK + 0.055 HN	34.687	<0.01	0.806
Urease = 0.13 + 0.003 HN + 0.003 AK -1.041 SWC	37.392	<0.01	0.818

表 5 土壤过氧化氢酶与土壤肥力因子的通径系数

Tab. 5 Path coefficient of soil catalase and fertility factors

因子 Factors	直接通径系数 Coefficient of direct path	间接通径系数 Coefficient of indirect path		决策系数 Coefficient of determination	
		TN	AK	TN	AK
TN	0.743	-	0.034	0.552	0.025
AK	0.376	0.067	-	-	0.141

表 6 土壤蔗糖酶与土壤肥力因子的通径系数

Tab. 6 Path coefficient of soil invertase and fertility factors

因子 Factors	直接通径系数 Coefficient of direct path	间接通径系数 Coefficient of indirect path			决策系数 Coefficient of determination		
		OM	AK	HN	OM	AK	HN
OM	0.223	-	0.211	0.297	0.050	0.047	0.066
AK	0.479	0.098	-	0.117	-	0.229	0.056
HN	0.434	0.153	0.129	-	-	-	0.188

表 7 土壤脲酶与土壤肥力因子的通径系数

Tab. 7 Path coefficient of soil urease and fertility factors

因子 Factors	直接通径系数 Coefficient of direct path	间接通径系数 Coefficient of indirect path			决策系数 Coefficient of determination		
		HN	AK	SWC	HN	AK	SWC
HN	0.677	-	0.154	-0.127	0.458	0.104	-0.086
AK	0.571	0.183	-	-0.064	-	0.326	-0.037
SWC	-0.266	0.323	0.138	-	-	-	0.071

3 结论与讨论

土壤肥力水平在很大程度上受土壤酶的影响,与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系,肥力水平较高的土壤酶活性往往高于肥力水平较低的^[35]。选取喀斯特山区不同林龄的三个典型种植基地为研究对象,对其土壤肥力因子和酶活性的分析表明,土壤肥力因子和酶活性随着种植年限的增加,土壤酸碱度趋于刺梨生长适宜的微酸性环境

(5.5~6.5)^[36],土壤养分总体质量趋于改善。这是因为,由于种植年限增加,改善了水热条件、通气状况和腐殖质状况,不仅有利于微生物的生长和繁殖,而且为微生物的生长提供了充分的营养源,这就使得土壤酶活性随着时间增加而增加,主要是因为土壤环境条件改善^[37]。

典型相关分析表明,土壤酶与土壤多个肥力因子之间存在显著的相关性,而三种酶两两之间也存在着极显著的相关性。除了过氧化氢酶与全磷、速效磷之间的相关性较弱之外,三种酶活性与有机质、

全氮、水解氮、全磷、速效磷、全钾和速效钾存在着显著的正相关关系,显示出土壤酶在土壤环境改善的过程中的重要作用,这与文献中得出的结论一致:土壤酶活性和土壤氮、磷、钾、有机质等密切相关^[38],特别是有机质与三种酶的相关系数较高,分别达到了0.708、0.731、0.633,说明土壤酶活性依赖于有机质的存在,当有机质含量增加时,酶积极参与其转化分解过程,活性提高^[39],同时,证明土壤酶活性可以作为表征该地区土壤肥力水平和评判土壤生物活性的一种手段。

通径分析表明,不同肥力因子对酶活性的影响有所差异。速效钾对研究区的土壤酶活性存在着较大的直接正效应,这可能是因为喀斯特山区石灰岩基质上发育的黄壤或石灰土,本身就较缺钾,而土壤中的钾多以成土母质中的矿物质的缓慢释放且钾易溶于水,再加上石灰岩构造裂隙发育,土壤中的钾素易受西南地区的集中降水而下渗和流失。这与何腾兵等人对贵州喀斯特山区土壤总体表现为缺钾的结论吻合^[40]。钾素是植物生长的必要元素之一,它具有激活多种酶的活性,提高光合速率、提高物质合成、增强作物抗逆性等功能,同时对于植物光合作用的产物——碳水化合物的运移和储存有重要作用^[41]。根据全国第二次土壤普查养分分级标准^[19],兴仁县的速效钾水平处于极缺水平($< 30 \text{ mg/kg}$),乌当区和西秀区的速效钾水平处于适量状态($50 \sim 150 \text{ mg/kg}$),与喀斯特山区土壤缺钾的实际情况相符合^[40]。

根据通径分析,全氮的直接通径系数和决策系数最大,对土壤过氧化氢酶活性的影响也最大,说明全氮和速效钾对过氧化氢酶活性有较强的直接作用,是影响过氧化氢酶活性的主要因素,其结论与刘瑞丰等人对商洛地区土壤过氧化氢酶与土壤养分关系的研究结论一致^[42]。

土壤肥力因子对蔗糖酶活性影响的直接作用较大的有:速效钾、水解氮和有机质,有机质通过速效钾和水解氮的间接作用对蔗糖酶的影响较大,其表现上的相关性也主要来自间接作用,洪常青等人的研究也显示出同样的结果^[43]。

水解氮、速效钾、土壤含水量对土壤脲酶的直接作用系数(按绝对值大小)排序为水解氮 $>$ 速效钾 $>$ 土壤含水量,这与廖铁军等人的研究结论类似^[44],而土壤含水量的直接通径系数和间接通径系数都较大,对土壤脲酶主要是通过水解氮和速效钾

的间接作用,并且中和了其负的直接影响,因此在土壤含水量与脲酶的关系上表现为无相关性。处于生长期的植物,土壤的脲酶活性随着时间增长逐渐升高,但上升幅度较小。当水分饱和时,土壤脲酶的活性高于一般含水量时的脲酶活性^[45],而本研究的结果也与此结论吻合(土壤含水量变化不大)。对比典型相关或线性回归分析,通径分析能更全面分析变量间的直接与间接相关关系,对土壤酶活性与肥力因子之间的关系进行更客观、全面的解释,使变量间的影响过程更加明确^[9]。

综上所述,喀斯特山区无籽刺梨种植基地表层土壤随着种植年限的增加,土壤环境趋于改善,土壤酶活性也随之增加,无籽刺梨的种植有利于喀斯特山区的植被恢复和土壤肥力的提高。通过分析可以知道,影响无籽刺梨种植基地土壤过氧化氢酶的主要因子是土壤全氮,其次是土壤速效钾含量;影响土壤蔗糖酶活性的主要因子是速效钾、水解氮和有机质;而影响土壤脲酶活性的主要因子包括水解氮、速效钾和土壤含水量,典型相关分析、线性回归分析和通径分析的结果大体吻合。研究结果发现,速效钾含量是影响喀斯特山区无籽刺梨种植基地土壤酶活性的一个关键性因子,可根据实际情况有针对性的补施钾肥,能有效改善土壤环境,提高土壤肥力。

参考文献 (References)

- [1] 宋同清,彭晚霞,曾馥平,等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 597-604 [Song Tongqing, Peng Wanjia, Zeng Fuping, et al. Vegetation succession rule and regeneration strategies in disturbed karst area, northwest Guangxi [J]. Mountain Research 2008 26(5): 597-604]
- [2] 罗海波,宋光煜,何腾兵,等. 贵州喀斯特山区石漠化治理过程中土壤质量特性研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 112-115 [Luo Haibo, Song Guangyu, He Tengbing, et al. Effect of soil properties during controlling karst rocky desertification process in Guizhou province [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(6): 112-115]
- [3] 张咏梅,周国逸,吴宁. 土壤酶学的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(1): 83-90 [Zhang Yongmei, Zhou Guoyi, Wu Ning. A review of studies on soil enzymology [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(1): 83-90]
- [4] Gramss G, Voigt K D, Kirsche B. Oxidoreductase enzymes liberated by plant roots and their effects on soil humic material [J]. Chemosphere, 1999, 38: 1481-1494
- [5] Asmar F, Eiland F, Nielsen N E. Interrelationship between extracellular enzyme activity, ATP content, total counts of bacteria and CO_2 evolution [J]. Biology and Fertility of Soils, 1992, 14(4): 288-292

- [6] Dick R P, Myrold D D, Kerle E A, et al. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 42(2): 512–516
- [7] 张新慧, 张恩和, 郎多勇. 不同茬口对当归根际土壤酶活性及其产量和品质的影响 [J]. 中草药, 2011, 42(11): 2322–2325 [Zhang Xinhui, Zhang Enhe, Lang Duoyong. Effect of different cropping rotations on enzyme activities in rhizosphere soil and production quality of *Angelica sinensis* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2011, 42(11): 2322–2325]
- [8] 王艳茹, 郭巧生, 邵清松等. 土壤因子对药用白菊花活性成分含量影响研究 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(6): 676–681 [Wang Yanru, Guo Qiaosheng, Shao Qingsong, et al. Effects of soil factors on active component content of *Chrysanthemum morifolium* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2010, 35(6): 676–681]
- [9] 吴雪, 贡璐, 冉启洋等. 阿拉尔垦区土壤理化因子与酶活性的途径分析 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 48–55 [Wu Xue, Gong Lu, Ran Qiyang, et al. Path analysis of soil physicochemical properties and enzymatic activities in the Aler reclamation area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 48–55]
- [10] 苏维词, 朱文孝. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性分析 [J]. 山地学报, 2000, 18(5): 429–434 [Su Weici, Zhu Wenxiao. The eco-environmental fragility in karst mountain regions of Guizhou Province [J]. Mountain Research, 2000, 18(5): 429–434]
- [11] 中国环境监测总站, 南京市环境监测中心站. HJ/T166–2004. 土壤环境监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. [China Environmental Monitoring Station, Nanjing Environment Monitoring station. HJ/T166–2004. Technical specification for soil environmental monitoring [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.]
- [12] Yang Hao, Hu Jiwei, Huang Xianfei, et al. Risk assessment of heavy metals pollution for *Rosa sterilis* and soil from planting bases located in karst areas of Guizhou province [J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 700: 475–481
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986. [Guan Songyin. Soil enzyme and its research methods [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.]
- [14] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. [Shao Ming-an, Wang Quanjiu, Huang Mingbin. Soil physics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.]
- [15] 雷丽, 程星, 蔡雄飞. 贵州喀斯特山区土壤含水量时空分布与植物生长关系研究 [J]. 贵州科学, 2009, 27(2): 50–54 [Lei Li, Cheng Xing, Cai Xiongfei. The space-time distribution of water content of desertification soil and their relationship with plant growth in karst rocky Guizhou [J]. Guizhou Science, 2009, 27(2): 50–54]
- [16] 杜静静. 不同种植年限果园土壤理化性质与酶活性研究 [D]. 临汾: 山西师范大学, 2013. [Du Jingjing. Research on Soil physicochemical properties and activities of soil enzyme in apple orchards with different planting years [D]. Linfen: Shanxi Normal University, 2013.]
- [17] 郭平, 谢忠雷, 李军等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价 [J]. 地理科学, 2005, 25(1): 108–112 [Guo Ping, Xie Zhonglei, Li Jun, et al. Specificity of heavy metal pollution and the ecological hazard in urban soils of Changchun city [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(1): 108–112]
- [18] 武瑞平, 李华, 曹鹏. 风化煤施用对复垦土壤理化性质酶活性及植被恢复的影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1855–1861 [Wu Ruiping, Li Hua, Cao Peng. Amelioration of weathered coal on soil physical, chemical properties and enzyme activities with vegetation restoration [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(9): 1855–1861]
- [19] 全国土壤普查办公室. 全国第二次土壤普查暂行技术规程 [M]. 北京: 农业出版社, 1979. [National Soil Survey Office. The second soil survey procedure of provisional rules [M]. Beijing: Agriculture Press, 1979.]
- [20] 金蕾, 何腾兵, 袁成军等. 基于土壤肥力状况的贵州省安顺市西秀区耕地管理策略 [J]. 天津农业科学, 2011, 17(2): 21–24 [Jin Lei, He Tengbing, Yuan Chengjun, et al. Cultivated land management strategy based on soil fertility—a case study of Xixiu district of Anshun city in Guizhou province [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2011, 17(2): 21–24]
- [21] “贵州省旱坡地土壤改良与综合发展”课题组. 贵州旱地土壤有机质和氮素状况及供氮能力研究 [G]//中国土壤学会. 中国土壤学会第九次全国代表大会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 44–47 [Research Group of “Improvement and Comprehensive Development for Upland Soil in Guizhou Province”. Study on the status of organic matter and nitrogen and soil nitrogen supplying capacity in dryland of Guizhou [G]. Soil Science Society of China, the Proceedings of the 9th National Congress for Soil Science Society of China. Beijing: China Environmental Science Press, 1999: 44–47]
- [22] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价 [J]. 土壤, 2004, 36(4): 438–441 [Tao Xiaoqi. Evaluation of microelement contents of tobacco soils in southwest Sichuan [J]. Soils, 2004, 36(4): 438–441]
- [23] 沈善敏. 中国土壤肥力 [M]. 北京: 农业出版社, 1998. [Shen Shanmin. China's soil fertility [M]. Beijing: Agriculture Press, 1998.]
- [24] 何广琼, 黄承标, 曹继钊等. 桂西北干热河谷区马尾松人工林土壤理化特性 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1610–1613 [He Guangqiong, Huang Chengbiao, Cao Jizhao, et al. Study on soil physical and chemical characteristics of *Pinus massoniana* plantations in dry-hot valley of the northwest of Guangxi [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(3): 1610–1613]
- [25] 向平, 和文祥, 杨静等. 渭北旱塬苹果园土壤酶特征研究 [J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 621–630 [Xiang Ping, He Wenxiang, Yang Jing, et al. Characteristics of enzyme activities in apple orchard soil in Weibei arid region [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(4): 621–630]
- [26] 王涵, 王果, 黄颖颖等. pH 变化对酸性土壤酶活性的影响 [J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2401–2406 [Wang Han, Wang Guo, Huang Yingying, et al. The effects of pH change on the activities of enzymes in an acid soil [J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2401–2406]
- [27] 余雕, 吴发启, 宋娟丽. 柠条林地土壤酶活性特征研究 [J]. 干

- 旱地区农业研究, 2009, 27(2): 240 - 243 [Se Diao, Wu Faqi, Song Juanli. Characters of soil enzyme activities of Caragana Korshinskii Kom. forest land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(2): 240 - 243]
- [28] 罗飞. 酸雨区不同林龄杉木人工林土壤酶活性季节动态[D]. 福州: 福建农林大学, 2014. [Luo Fei. Seasonal dynamics of the soil enzyme activities under Cunninghamia Lanceolata plantations with different tree ages in acid rain area[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.]
- [29] 关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏, 等. 我国主要土壤剖面酶活性状况[J]. 土壤学报, 1984, 21(4): 368 - 381 [Guan Songyin, Shen Guiqin, Meng Zhaopeng, et al. Enzyme activities in main soils in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 1984, 21(4): 368 - 381]
- [30] 武术, 林先贵, 尹睿, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对添加麦秸条件下稻田土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 32 - 36 [Wu Shu, Lin Xiangui, Yin Rui, et al. Effect of atmospheric CO₂ enhancement on activity of soil enzymes in paddy field incorporated with wheat straw[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2008, 24(4): 32 - 36]
- [31] 吕春花, 郑粉莉, 安韶山. 子午岭地区植被演替过程中土壤养分及酶活性特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 227 - 232 [Lv Chunhua, Zheng Fenli, An Shaoshan. The characteristics of soil enzyme activities and nutrients during vegetation succession[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(2): 227 - 232]
- [32] 蒋跃利. 宁南山区植被恢复对土壤氮素矿化和酶活性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014. [Jiang Yueli. Effect of vegetation restoration on soil nitrogen mineralization and enzyme activities in mountainous area of southern Ningxia, northwest China[D]. Yanglin: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014.]
- [33] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4 - 6 [Du Jiaju, Chen Zhiwei. Using the SPSS method to realize path analysis of linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4 - 6]
- [34] 张焱华, 吴敏, 何鹏, 等. 土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11139 - 11142 [Zhang Yanhua, Wu Min, He Peng, et al. Research advance of the relationship between soil enzyme activity and soil fertility[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(34): 11139 - 11142]
- [35] 李丹, 何腾兵, 刘丛强, 等. 喀斯特山区土壤酶活性研究回顾与展望研究[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(2): 87 - 90 [Li Dan, He Tengbing, Liu Congqiang, et al. Review and prospect on soil enzyme activity in karst mountain area[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(2): 87 - 90]
- [36] 樊卫国, 安华明, 刘国琴. 刺梨的生物学特性与栽培技术[J]. 林业科技开发, 2004, 18(4): 45 - 48 [Fan Weiguo, An Huaming, Liu Guoqin. Biological characteristics and cultivation techniques of Rosa roxburghii Tratt[J]. China Forestry Science and Technology, 2004, 18(4): 45 - 48]
- [37] 陈蓓, 张仁陟. 免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 634 - 638 [Chen Pei, Zhang Rense. Effects of no-tillage and mulch on soil microbial quantity and composition[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2004, 39(6): 634 - 638]
- [38] 鱼海霞, 何忠俊, 洪常青. 玉龙雪山土壤酶活性特征及其与土壤养分的关系[J]. 云南农业大学学报, 2013, 28(5): 668 - 675 [Yu Haixia, He Zhongjun, Hong Changqing. Soil enzyme activity and its relationship with soil nutrient in the Yulong Snow Mountain[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2013, 28(5): 668 - 675]
- [39] 安韶山, 黄懿梅, 刘梦云. 宁南山区土壤酶活性特征及其与肥力因子的关系[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 55 - 58 [An Shaoshan, Huang Yimei, Liu Mengyun. Characteristics of soil enzyme activities and their relationships with soil properties in southern Ningxia Loess hilly region[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 55 - 58]
- [40] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨[J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 28 - 34 [He Tengbing. Status of soil and water loss and counter measures of ecological agriculture construction in Guizhou karst mountainous region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(5): 28 - 34]
- [41] 徐晓燕. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 489 - 492 [Xu Xiaoyan. Research progress in transformation of soil potassium in relation to potash application[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(5): 489 - 492]
- [42] 刘瑞丰, 李新平, 李素俭, 等. 商洛地区土壤蔗糖酶及过氧化氢酶与土壤养分的关系研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 182 - 186 [Liu Ruifeng, Li Xiping, Li Sujian, et al. Research on relationship between soil invertase, catalase and soil nutrient in the area of Shangluo[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(5): 182 - 186]
- [43] 洪常青, 何忠俊, 鱼海霞. 三江并流区暗棕壤酶活性特征研究[J]. 云南农业大学学报, 2013, 28(6): 857 - 864 [Hong Changqing, He Zhongjun, Yu Haixia. Studies on enzyme activities characteristics of dark-brown soil in the three parallel rivers area[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2013, 28(6): 857 - 864]
- [44] 廖铁军, 黄云. 紫色土脲酶活性与土壤营养的研究[J]. 西南农业大学学报, 1995, 17(1): 72 - 75 [Liao Tiejun, Huang Yun. Studies on relationship between urease activity and soil nutrient factors in purple soil[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1995, 17(1): 72 - 75]
- [45] 杜琳倩, 何钢, 王静, 等. 水淹胁迫下新型氧肥对土壤脲酶活性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(4): 66 - 69 [Du Linqian, He Gang, Wang Jing, et al. Effect of new oxygen fertilizer on soil urease activity in waterlogging stress[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(4): 66 - 69]

Relationship between Soil Enzyme Activities and Fertility Factors from *Rosa sterilis* S. D. Shi Planting Bases Located in Karst Mountain Region

YANG Hao^{1 2}, FAN Mingyi¹, LI Jiuling^{1 2}, SHI Xuedan¹, HU Jiwei^{1 2}

(1. Guizhou Provincial Key Laboratory of Information System of Mountainous Areas and Protection of Ecological Environment ,
Guizhou Normal University , Guiyang 550001 , Guizhou , China;

2. Institute of South China Karst , Guizhou Normal University , Guiyang 550001 , Guizhou , China)

Abstract: Soil enzymes are significant composition that is closely related to soil fertility factors. And the root-soil of planting bases with different ages of *Rosa sterilis* S. D. Shi was selected to study the relationship between the soil enzyme activities and fertility factors in karst mountainous region of Guizhou Province ,China. Fertility factors were also discussed since these have an impact on the effect level and mechanism of soil enzyme activities. The results show that the soil enzyme activities and fertility factors increased with a rise in planting age. Moreover , these selected enzyme activities are significantly correlated to several fertility factors and can assess soil fertility as a biological indicator. Path analysis and determination coefficients showed that the soil total nitrogen and available potassium have positive effects on the activity of catalase. Available potassium , hydrolysable nitrogen and organic matter are the major factors for the activity of invertase , while hydrolysable nitrogen , available potassium and water content are the main factors for the activity of urease. To sum up , the plantation of these fruit trees are beneficial for the vegetation recovery and the improvement of soil fertility in this region , which can be used as the first choice of economic crops for ecological rehabilitation. The lack of available potassium may be a key influencing factor for the three enzyme activities from these planting bases. In addition , the results obtained from the path analysis are generally identical with those from canonical correlation analysis and linear regression analysis.

Key words: soil enzyme activity; soil fertility; *Rosa sterilis* S. D. Shi; karst; path analysis