

沼气发酵残留物对红富士苹果园土壤酶活性的影响

许卫娜¹, 邱凌¹, 杨宝平², 聂俊峰², 王俊鹏²

(1. 西北农林科技大学 农业部沼气产品质检中心西北工作站, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 干旱半干旱农业研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对于干旱地区的红富士苹果园土壤中施沼肥定位试验施肥后收获期土壤主要土壤酶种类及活性进行分析结果表明: 施沼肥土壤中主要存在脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶等4种土壤酶, 它们的酶活性存在差异, 施工程沼肥果园中除蔗糖酶外其余酶活性均高于施户用沼肥果园。对土壤酶和土壤养分进行相关分析、通径分析、主成分分析结果表明, 施户用沼肥果园的脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶和施工程沼肥果园的蔗糖酶都可以作为土壤肥力的指标, 且酶活性大小受到土壤化学性质和其它酶活性影响。土壤主成分分析能较为客观地评价土壤肥力水平。

关键词: 土壤酶; 沼气发酵残留物; 土壤养分; 黑垆土

中图分类号: S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)06-0183-06

长期以来, 土壤理化性质一直被作为表征土壤质量的指标, 特别是土壤有机质, 被看作是反映土壤质量的一个综合指标, 但有机质的变化比较缓慢, 难以反映土壤遭受干扰时的各种短期的、微小的变化^[1]。土壤酶是由微生物、动植物活体分泌及由动植物残体、遗骸分解释放于土壤中一类具有催化能力的生物活性物质, 根据作用原理可以分为水解酶类、氧化还原酶类、转移酶类、裂合酶类4大类。土壤酶作为土壤的主要组成部分, 其活性与土壤理化性质之间具有较好的关联性, 在土壤生态系统扰动后存在显著的长期与短期效应。近年来, 随着化肥和农药等农用化学品的大量应用及有机肥用量的不断减少, 土壤肥力退化及土壤环境问题日益突出, 直接威胁到了农产品的安全生产。本研究拟以示范基地红富士苹果为材料, 以施用化肥为对照, 分析不同肥料配比条件对苹果园土壤4种酶活性和养分含量的变化特征, 试图探讨施肥对苹果产量的影响, 以期从土壤酶学的角度初步阐明苹果的施肥增产作用机理, 为苹果的合理施肥提供依据, 进而促进苹果高产、优质、高效, 为苹果栽培技术体系的建立和完善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

供试土样分别采自西北农林科技大学在陕西省

富县羊泉镇西里村和洛川县京兆乡南善村课题组建立的生态果园示范点0.353公顷的试验地。富县和洛川试验地各设四个处理, 随机区组排列, 重复三次。即: 处理Ⅰ: 纯化肥(CK); 处理Ⅱ: 纯沼肥; 处理Ⅲ: 沼肥: 化肥=1:1; 处理Ⅳ: 沼肥: 化肥=1:4。每个试验小区6株果树, 面积60 m²。参试果树为树龄7 a以上的红富士苹果树, 果园未施用其它农家肥, 化肥比常年用量少三分之一, 每棵树的用量基本相等, 其它管理措施(灌溉、除草、修剪、防治病虫、喷药、套袋、采收等)一致。参试沼渣、沼液分别取自正常产气的户用沼气池和工程沼气池, 发酵原料为猪粪尿。富县羊泉镇西里村的生态果园以施户用沼气池的沼肥为肥料; 洛川县京兆乡南善村生态果园以工程沼气池的沼肥为肥料。土壤为粘黑垆土, 质地轻壤, 土地平整, 肥力均匀, 园貌整齐, 树势健壮。两果园气象条件见表1, 耕层0~20 cm土壤的主要理化性状见表2。

1.2 研究方法

1.2.1 土样采集与测试方法 在苹果成熟后(2006年10月15~18日)分别取苹果树根系周围土壤, 均为0~20 cm耕层土壤。每个处理随机取5个点, 剔除石砾和植物残根等杂物, 混合制样, 装袋后带回西北农林科技大学农业部旱区节水重点开放实验室, 样品经风干后过1 mm筛备用, 用于测定土壤酶^[2~5]和土壤理化性状。

收稿日期: 2007-04-10

基金项目: 科技部公益性基金项目“沼液沼渣安全指标监测与评价”(05DIB3J030); 农业部农村能源科技项目“以沼气为纽带的生态果园技术与经济评价”(2005-30); 西北农林科技大学推广专家支持计划项目(2007-4)

作者简介: 许卫娜(1980—), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 从事废弃物处理利用与农村能源开发等研究。E-mail: nana8165@163.com。
***通讯作者:** 邱凌(1957—), 男, 教授, 博导, 副理事长, 主要从事生物能源与生态农业研究与教学工作。E-mail: ql2871@126.com。

表 1 果园气象条件

Table 1 The meteorological condition of some orchards

地点 Location	海拔 Elevation (m)	年均降水量 Average annual precipitation (mm)	无霜期 Frost-free period (d)	日照时数 Daily light time (h)	≥10℃的有效积温 Effective temperature ≥10℃
富县 Fuxian	1100	560	160	2157.4~2574.9	3756.6
洛川 Luochuan	1072	622	167	2193.8~2308.2	3007

表 2 耕层土壤的主要理化性状

Table 2 Physical and chemical properties of soil in plough layer

地点 Location	有机质 O·M· (g/kg)	全氮 Tot·N (g/kg)	全磷 Tot·P (g/kg)	全钾 Tot·K (g/kg)	碱解氮 Alkal·N (mg/kg)	速效磷 Avail·P (mg/kg)	速效钾 Avail·K (mg/kg)	pH 值
富县 Fuxian	11.5	0.126	0.085	0.356	65	5.7	98	8.1
洛川 Luochuan	11.2	0.082	0.031	0.282	46.1	4.8	118.8	7.8

土壤脲酶活性用奈氏比色法,以 NH₃-N mg/(g·48h·37℃)为单位;磷酸酶活性用磷酸苯二钠法,以酚 mg/(g·24h·37℃)为单位;过氧化氢酶用 KMnO₄ 滴定法,以 KMnO₄ ml/(g·24h·37℃)为单位;蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以葡萄糖 mg/(g·48h·37℃)为单位。

土壤基本理化性状采用常规分析法测定^[6]。有机质,用重铬酸钾容量法;全 N,用全自动凯氏定氮仪;全 P,用高氯酸-硫酸-钼锑抗比色法;全 K,用原子吸收火焰光度法;碱解氮,用碱解扩散硼酸吸收法;速效 P,用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效 K,用醋酸铵-火焰光度计法;pH 值,用酸度计法。

1.2.2 统计分析 统计分析采用 spss13.0 软件进

行。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤酶活性的影响

土壤酶是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的重要生物指标,催化土壤中所进行的一切生物学和化学过程,是土壤生态系统代谢的重要动力,能快速对土壤的管理变化作出反应,因此研究土壤酶活性能够在较短时期内鉴别出土壤管理措施的利弊,被建议作为土壤质量潜在的指示因子^[7,8]。2006 年 10 月 26~30 日对各处理分别随机取样进行测定。分别对施户用和工程沼肥的 4 种处理 4 种土壤酶的影响进行方差分析,结果见表 3。

表 3 施肥对土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of application of fertilizer on soil enzyme activity

处理 Processing		脲酶 Urease (NH ₃ -N mg/g)	磷酸酶 Phosphatase (酚 mg/g)	过氧化氢酶 Catalase (KMnO ₄ ml/g)	蔗糖酶 Invertase (葡萄糖 mg/g)
户用沼肥 Household	I	0.137bB	0.231bA	7.765aA	1.715cB
	II	0.188aA	0.616aA	6.851bB	1.876aA
	III	0.187aA	0.711aA	7.140bAB	1.821abAB
	IV	0.135bB	0.520aA	7.746aA	1.773bAB
工程沼肥 Project	I	0.185aA	1.194aA	7.457aA	1.516cC
	II	0.186aA	0.665bB	7.335bB	1.724abAB
	III	0.188aA	0.906aA	6.859cC	1.864aA
	IV	0.183aA	1.068aA	7.380abAB	1.624bB

注:小写字母($p<0.05$);大写字母($p<0.01$)。 Note:Small letter ($p<0.05$); Capital letter ($p<0.01$).

脲酶是土壤氮循环的一种关键性酶,因此脲酶活性与土壤供 N 能力有密切的关系,对施入土壤氮的利用率影响很大。从不同施肥处理来看,施户用沼肥果园脲酶的活性,处理Ⅳ<处理Ⅱ<处理Ⅲ<

处理Ⅱ;施工程沼肥果园脲酶活性无差异。但在各处理中,其变化趋势与全氮的变化基本相同。

磷酸酶可加速有机磷的脱磷速度,积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用。施户用沼肥

果园磷酸酶活性之间无差异;施工程沼肥果园磷酸酶活性:处理Ⅱ<处理Ⅲ<处理Ⅳ<处理Ⅰ,说明肥料中氮含量对磷酸酶的活性影响显著。

过氧化氢酶参与生物的呼吸代谢,同时可以解除在呼吸过程中产生的对活细胞有害的过氧化氢,它可以表示土壤氧化过程的强度^[5,9]。从表 3 可以看出,各处理的过氧化氢酶活性低于对照。施沼肥增加土壤有机质含量,但却降低了土壤过氧化氢酶活性。从不同施肥处理来看,过氧化氢酶的活性:(户用)处理Ⅱ<处理Ⅲ<处理Ⅳ<处理Ⅰ;(工程)处理Ⅲ<处理Ⅱ<处理Ⅳ<处理Ⅰ。

蔗糖酶又名转化酶,它对增加土壤中易溶性营养物质起着重要的作用,是土壤中参与 C 循环的一种重要的酶,被广泛用于表征土壤中生物化学过程

的动向与强度。从表 3 可以看出,蔗糖酶的活性:(户用)处理Ⅰ<处理Ⅳ<处理Ⅲ<处理Ⅱ;(工程)处理Ⅰ<处理Ⅳ<处理Ⅱ<处理Ⅲ。各处理之间差异显著。

2.2 不同土壤酶活性之间的相关性

土壤是个多酶体系,各种酶促反应既是专性的,而又是相互联系的。从表 4 可看出,施户用沼肥的四种土壤酶之间相关性都未达到显著相关,但过氧化氢酶和脲酶之间存在着显著相关性;施工程沼肥的四种土壤酶之间相关性都未达到显著相关。这表明土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶和蔗糖酶在进行酶促反应时,不仅具有自身的专一特性,还存在着一些共性,有着共性关系的酶类在总体活性程度上反映着土壤肥力水平的高低^[10]。

表 4 土壤酶之间活性相关系数
Table 4 The correlation coefficient of soil enzyme activity

酶 类 Enzyme		脲 酶 U rease	磷酸酶 Phosphatase	过氧化氢酶 Catalase	蔗糖酶 Invertase
户用沼肥 Household	脲酶 U rease	1.000	—	—	—
	磷酸酶 Phosphatase	0.783	1.000	—	—
	过氧化氢酶 Catalase	−0.968 *	−0.735	1.000	—
	蔗糖酶 Invertase	0.875	0.833	−0.943	1.000
工程沼肥 Project	脲酶 U rease	1.000	—	—	—
	磷酸酶 Phosphatase	−0.470	1.000	—	—
	过氧化氢酶 Catalase	−0.807	0.316	1.000	—
	蔗糖酶 Invertase	0.761	−0.664	−0.911	1.000

注: * 相关显著($p<0.05$); * * 相关极显著($p<0.01$) ($n=4$, 双尾检测)。
Note: * Pertinence salience ($p<0.05$); * * Pertinence best salience($p<0.01$) ($n=4$, double cauda check survey) .

2.3 土壤酶与土壤理化性状的关系分析

2.3.1 相关分析 将各处理土壤酶活性与土壤养分含量进行相关性分析。结果表明(表 5),施户用沼肥的脲酶活性与有机质、全氮、速效钾呈显著相关,过氧化氢酶活性不仅与全氮、速效钾呈极显著相关,而且与有机质、速效磷呈显著相关,蔗糖酶活性与有机质呈显著相关,磷酸酶活性与土壤化学性质之间无明显相关;施工程沼肥的脲酶活性与全磷、全钾呈显著相关,过氧化氢酶活性与速效钾呈显著相关,蔗糖酶活性与碱解氮、速效钾呈显著相关,磷酸酶活性土壤化学性质之间无明显相关。

从表 5 可以看出,施户用沼肥果园的有机质和过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性的相关性均达到显著相关;施工程沼肥果园有机质和四种酶活性间均未达到显著相关。土壤有机质对土壤理化性质影响

却很大,能增强土壤孔隙度、通气性和结构性,有显著的缓冲作用和持水力,它的阳离子交换能力很强,含有大量的植物营养元素,是微生物的营养源和能源;微生物、土壤酶和矿物质等可以固定在有机物质上。有机质对酶的保护作用,有时可以促进酶促反应,有时也减缓或阻止酶促反应^[11]。脲酶是参与氮循环的关键酶,其最终产物为氨和二氧化碳,为高等植物提供了氮源,本研究施户用沼肥果园也证明了脲酶与土壤中的全氮呈显著相关。氮肥是制约土壤生产力的关键因素,因此土壤的氮素水平直接影响土壤的肥力状况,从而影响酶的活性。磷酸酶活性与土壤磷素之间的相关性未达到显著性。这可能是因为土壤酶促作用还受到包括气候因子、土壤其它性质在内的诸因子的影响。

表 5 土壤酶活性与土壤理化性状之间的相关系数

Table 5 The correlation coefficient between soil enzyme activities and physical and chemical properties

项 目 Item		有机质 O·M·	全氮 Tot· N	全磷 Tot· P	全钾 Tot· K	碱解氮 Alkal· N	速效磷 Avail· P	速效钾 Avail· K	pH 值
户用沼肥 Household	脲酶 U rease	0.954 *	0.966 *	0.818	0.130	0.109	0.902	0.984 *	−0.832
	磷酸酶 Phosphatase	−0.852	0.654	0.524	0.713	−0.366	0.635	0.757	−0.317
	过氧化氢酶 Catalase	−0.979 *	−0.991 **	−0.934	−0.057	−0.301	−0.980 *	−0.997 **	0.789
	蔗糖酶 Invertase	0.979 *	0.890	0.900	0.291	0.209	0.938	0.932	−0.540
工程沼肥 Project	脲酶 U rease	0.570	0.947	0.957 *	−0.960 *	0.855	0.858	0.833	−0.882
	磷酸酶 Phosphatase	−0.923	−0.645	−0.236	0.510	−0.652	−0.833	−0.546	0.825
	过氧化氢酶 Catalase	−0.614	−0.881	−0.884	0.610	−0.924	−0.753	−0.967 *	0.724
	蔗糖酶 Invertase	0.885	0.924	0.733	−0.605	0.987 *	0.911	0.982 *	−0.875

注: * 相关显著($p<0.05$); ** 相关极显著($p<0.01$)($n=4$, 双尾检测)
Note: * Pertinence salience ($p<0.05$); ** Pertinence best salience ($p<0.01$) ($n=4$, double cauda check survey).

2.3.2 回归分析 土壤养分之间存在着相互制约、相互促进的复杂关系,这种关系单纯从测定结果的简单相关分析说明是不够的,多元回归比简单相关分析可提供更多的信息。将脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性与土壤养分含量进行逐步回归,得到六个最优回归方程:(户用) $U=0.045+0.001X_7$, $C=9.18-0.009X_7$, $I=1.415-0.080X_1$; (工程) $U=0.203-0.002X_4$, $C=7.782-0.001X_7$, $I=1.218+0.008X_5$; 其中, U 、 P 、 C 和 I 分别为脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶的活性, $X_1\sim X_8$ 分别为有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、pH 值的含量。进一步通径分析表明(表 6)各土壤养分含量对酶活性影响力及作用方式不同。施户用沼肥:速效钾直接影响脲酶、过氧化氢酶的活性,蔗糖酶活性直接受有机质影响,养分对磷酸酶活性没有直接影响;施工程沼肥:全钾直接影响脲酶的活性,速效钾直接影响过氧化氢酶的活性,蔗糖酶的活性直接受碱解氮的影响,养分对磷酸酶没有直接影响。施户用沼肥的三种酶剩余通径系数分别为 0.126、0.071 和 0.202,施工程沼肥的三种酶剩余通径系数分别为 0.281、0.253 和 0.158,表明分析误差较小,在所选变量范围内最优回归方程可准确反映土壤酶活性与土壤养分含量的关系。

2.3.3 主成分分析 主成分分析是一种采取降维,将多个指标化为少数几个综合指标的统计分析方法。这些综合指标尽可能地反映了原来变量的信息量,而且彼此之间互不相关^[13]。为了进一步论证土壤酶是土壤肥力的一个重要指标,将土壤酶与土壤

中的主要肥力因子作了主成分分析。

表 6 土壤主要养分因子对土壤酶活性的通径系数

Table 6 The path coefficient of principal nutrient factors affecting soil enzyme activities

酶类 Enzyme		户用沼肥 Household		工程沼肥 Project	
脲酶 U rease	X_7	$X_7 \rightarrow U$	$X_{总} \rightarrow U$	$X_4 \rightarrow U$	$X_{总} \rightarrow U$
		1.686	0.126	−1.201	0.281
过氧化氢酶 Catalase	X_7	$X_7 \rightarrow C$	$X_{总} \rightarrow C$	$X_7 \rightarrow C$	$X_{总} \rightarrow C$
		−0.993	0.071	−0.728	0.253
蔗糖酶 Invertase	X_1	$X_1 \rightarrow I$	$X_{总} \rightarrow I$	$X_5 \rightarrow I$	$X_{总} \rightarrow I$
		−0.979	0.202	0.962	0.158

表 7 土壤主成分特征根

Table 7 Principal component eigenvalues of the soils tested

项 目 Item		第一主成分 1st principal component	第二主成分 2nd principal component
户用沼肥 Household	特征根 Eigenvalues	8.851	2.521
	方差贡献率(%)	73.762	21.012
	Proportion of variance		
	累积方差贡献率(%)	73.762	94.774
工程沼肥 Project	Proportion of cumulative variance		
	特征根 Eigenvalues	9.849	1.381
	方差贡献率(%)	82.071	11.505
	Proportion of variance		
	累积方差贡献率(%)	82.071	93.576
	Proportion of cumulative variance		

注:特征根指的是累积方差贡献。
Note: Eigenvalues is the cumulative variance.

表 8 土壤主成分特征向量

Table 8 Principal component eigenvectors of tested soil

测定项目 Analysis items		第一主成分 1st principal component	载荷-1(%) loading capacity-1	第二主成分 2nd principal component	载荷-2(%) loading capacity-2
户用沼肥 Household	脲酶 Urease	0.3250	0.93509	0.0661	0.01103
	磷酸酶 Phosphatase	0.2491	0.54908	0.4232	0.45158
	过氧化氢酶 Catalase	-0.3361	1.00000	0.0050	0.00006
	蔗糖酶 Invertase	0.3186	0.89870	0.1190	0.03572
	有机质 O·M·	0.3297	0.96236	0.1165	0.03423
	全氮 Tot·N	0.3324	0.97812	-0.0718	0.01300
	全磷 Tot·P	0.3139	0.87236	-0.1619	0.06605
	全钾 Tot·K	0.0225	0.00449	0.6197	0.96826
	碱解氮 Avai·N	0.0998	0.08821	-0.5561	0.77969
	速效磷 Avai·P	0.3297	0.96236	-0.0882	0.01960
	速效钾 Avai·K	0.3351	0.99401	0.0183	0.00084
	pH 值	-0.2622	0.60840	0.2362	0.14063
工程沼肥 Project	脲酶 Urease	0.2919	0.83906	0.2680	0.09923
	磷酸酶 Phosphatase	-0.2215	0.48303	0.5872	0.47610
	过氧化氢酶 Catalase	-0.2785	0.76388	-0.2655	0.09734
	蔗糖酶 Invertase	0.3018	0.89681	-0.0842	0.00980
	有机质 O·M·	0.2670	0.70224	-0.4519	0.28196
	全氮 Tot·N	0.3174	0.99202	0.0681	0.00640
	全磷 Tot·P	0.2699	0.71741	0.4493	0.27878
	全钾 Tot·K	-0.2635	0.68393	-0.2076	0.05954
	碱解氮 Avai·N	0.3135	0.96826	-0.0068	0.00006
	速效磷 Avai·P	0.3107	0.95063	-0.1651	0.03764
	速效钾 Avai·K	0.3043	0.91203	0.0740	0.00757
	pH 值	-0.3084	0.93702	0.1396	0.02690

注:载荷-1、2 分别指各主成分上承载的各因子的方差百分率。

Note: Loading capacity-1 and 2 are the percentage of variance in principal component of different factors respectively.

从表 7 看出,施户用沼肥的第一主成分的方差贡献率最大,为 73.762%,加上第二主成分方差贡献率 21.012%,其累积方差贡献率为 94.774%(大于 85%),因此前二个主成分能基本反应土壤肥力系统的变异信息。施工程沼肥的第一主成分的方差贡献率最大,为 82.071%,加上第二主成分方差贡献率 11.505%,其累积方差贡献率为 93.576%(大于 85%),因此前二个主成分能基本反应土壤肥力系统的变异信息。

再将土壤主成分进行分权计算,并计算出各因子在各主成分上的载荷:

载荷=(特征向量×特征根^{1/2})²由表 8 可看出,施户用沼肥果园的第一主成分主要综合了脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、有机质、全氮、全磷、速效磷和速效钾的变异信息,第二主成分则综合了磷酸酶、全钾和碱解氮的变异信息;施工程沼肥果园的第一主成分主要综合了蔗糖酶、全氮、碱解氮、速效磷、速效

钾和 pH 值的变异信息,第二主成分则综合了磷酸酶、有机质和全磷的变异信息。第一主成分的累积方差贡献率最大,因此对土壤肥力起着主要作用,从分权系数来看,施户用沼肥果园的脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶都在第一主成分内,施工程沼肥果园的蔗糖酶都在第一主成分内,因此足以证明这种酶类可反应土壤肥力水平的高低。

分别利用表 8 中户用、工程沼肥形成的两个主成分方程,再结合方差贡献率,可得到综合评分模型:

$$Y_{\text{户用}} = 0.2676 X_1 + 0.2877 X_2 - 0.2605 X_3 + 0.2744 X_4 + 0.2824 X_5 + 0.2428 X_6 + 0.2084 X_7 + 0.1549 X_8 - 0.0456 X_9 + 0.2371 X_{10} + 0.2649 X_{11} - 0.1517 X_{12};$$

$$Y_{\text{工程}} = 0.2672 X_1 - 0.1334 X_2 - 0.2856 X_3 + 0.2726 X_4 + 0.2016 X_5 + 0.2825 X_6 + 0.2728 X_7 - 0.2243 X_8 + 0.2834 X_9 + 0.2533 X_{10} + 0.2873 X_{11} -$$

0.19117 X₁₂。

综合评分模型中每个指标所对应的系数即每个指标的权重,变量从 X₁ 到 X₁₂ 分别代表脲酶活性、磷酸酶活性、过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、pH 值,利用此模型可较为客观地评价土壤肥力水平。

3 讨 论

1) 不同施肥处理条件下土壤酶活性存在着明显的差异。各施肥处理的脲酶活性(处理Ⅳ除外)均比对照高,各处理的过氧化氢酶活性低于对照,施户用沼肥的过氧化氢酶和脲酶之间存在着显著相关性;施工程沼肥的四种土壤酶之间相关性都未达到显著相关性。

2) 施工程沼肥的苹果园大多数土壤酶活性高于施户用沼肥的苹果园,主要是因为工程沼肥未发酵完全,里面存在大量的微生物,而土壤微生物数量直接影响土壤的生物化学活性及土壤养分的组成与转化,是果树地土壤肥力的重要指标之一^[14]。土壤微生物参与土壤的物质循环和能量转化^[15],而土壤酶参与土壤的许多重要的生物化学过程和物质循环^[16],二者一起推动着土壤的代谢过程,影响着果树生长。

3) 土壤酶活性与土壤养分含量的关系

土壤酶在植物—土壤物质交换过程中扮演着重要的角色^[17],研究其活性对于探索植物对土壤的作用过程和机理具有重要作用。土壤酶活性与土壤养分含量的变化,在某种程度上能反映出土壤肥力的变迁,二者存在一定的相关性。相关性分析表明土壤酶活性与土壤养分含量的相关程度很高。施户用沼肥的脲酶活性与有机质、全氮、速效钾呈显著相关,过氧化氢酶活性不仅与全氮、速效钾呈极显著相关,而且与有机质、速效磷呈显著相关,蔗糖酶活性与有机质呈显著相关,磷酸酶活性与土壤化学性质之间无明显相关;施工程沼肥的脲酶活性与全磷、全钾呈显著相关,过氧化氢酶活性与速效钾呈显著相关,蔗糖酶活性与碱解氮、速效钾呈显著相关,磷酸酶活性与土壤化学性质之间无明显相关。

逐步回归与通径分析表明,土壤养分含量对土壤酶活性影响力及作用方式不同。施户用沼肥:速效钾直接影响脲酶、过氧化氢酶的活性,蔗糖酶活性直接受有机质影响,养分对磷酸酶活性没有直接影响;施工程沼肥:全钾直接影响脲酶的活性,速效钾直接影响过氧化氢酶的活性,蔗糖酶的活性直接受

碱解氮的影响,养分对磷酸酶没有直接影响。

通过主成分分析,可以建立综合评价模型。本试验得到的综合得分模型为:

$$Y_{\text{户用}} = 0.2676 X_1 + 0.2877 X_2 - 0.2605 X_3 + 0.2744 X_4 + 0.2824 X_5 + 0.2428 X_6 + 0.2084 X_7 + 0.1549 X_8 - 0.0456 X_9 + 0.2371 X_{10} + 0.2649 X_{11} - 0.1517 X_{12};$$

$$Y_{\text{工程}} = 0.2672 X_1 - 0.1334 X_2 - 0.2856 X_3 + 0.2726 X_4 + 0.2016 X_5 + 0.2825 X_6 + 0.2728 X_7 - 0.2243 X_8 + 0.2834 X_9 + 0.2533 X_{10} + 0.2873 X_{11} - 0.19117 X_{12};$$

能较为客观地评价土壤肥力水平。

4 结 论

1) 对于干旱地区的红富士苹果地土壤主要的脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶等 4 种土壤酶进行分析,发现它们在土壤中的分布数量存在差异,催化基质也各不相同,在它们的综合作用下推动着土壤肥力的变化。

2) 除处理Ⅲ以外,施户用沼肥的果园蔗糖酶高于施工程沼肥的果园,处理Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ的蔗糖酶活性为 1.715、1.876、1.773 mg/g,比施工程沼肥的果园高 13.1%、8.8%、9.2%。

致谢:本研究得到西北农林科技大学农业部旱区节水重点开放实验室贾志宽教授、博导的悉心指导,特此致谢!

参 考 文 献:

[1] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter:carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Aust J Soil Res, 1992, 30:195—207.

[2] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[3] 郑洪元,张德生.土壤动态生物化学研究法[M].北京:科学出版社,1982.

[4] 哈兹耶夫.土壤酶活性[M].北京:科学出版社,1980.

[5] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987.

[6] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2005.

[7] Lal R. Soil quality changes under continuous cropping for seventeen seasons of an alfisol in Western Nigeria[J]. Land Degrad Develop, 1998, 9(3):259—274.

[8] Nanniperip. Bollag JM. Use of Enzymes to detoxify pesticides contaminated soils and water[J]. Environ Qual, 1991, 20:510—517.

[9] 关松荫.土壤酶与土壤肥力的关系[J].土壤肥料,1980,(2):19—21.

not obvious. Compared to the cropland, topsoil organic carbon, total nitrogen, invertase activity, urease activity, and alkaline phosphatase activity increased by 35%~184.6%, 5.7%~157.4%, 89.6%~566%, 32.9%~331.2%, and 0.18%~184.8%, respectively. The responses of topsoil organic carbon and urease activity to vegetation restoration were that in the beginning of vegetation restoration (0~8 years), both of them increased with an increase of vegetation restoration years; during 8~29 years of vegetation restoration, both of them decreased with an increase of vegetation restoration years; after 29 years of vegetation restoration, both of them increased again with an increase of vegetation restoration years. The responses of topsoil total nitrogen, invertase activity, and alkaline phosphatase activity to vegetation restoration were that in the beginning stage of vegetation restoration (0~16 years), three of them increased with an increase of vegetation restoration years; during 16~29 years of vegetation restoration, three of them decreased with an increase of vegetation restoration years, and after 29 years of vegetation restoration, three of them increased again with an increase of vegetation restoration years. Topsoil invertase activity, urease activity, and alkaline phosphatase activity were significantly correlated with soil organic carbon and total nitrogen, but the relationship between topsoil catalase activity and soil organic carbon, and topsoil catalase activity and soil total nitrogen were not significant.

Keywords: Natural vegetation restoration; abandoned land; soil enzymatic activity; response

(上接第 188 页)

- [10] Herrick J E. Soil organisms and rangeland soil hydrologic functions[A]. R T Meurisse. Soil organisms in Pacific Northwest forest and rangeland ecosystems—population functions and applications to management. General Tech. Rep. PNW-GTR-461 [C]. Pacific Northwest Res. Stn., USDA Forest Serv., Portland, OR. 1999. 91—100.
- [11] F Belnap J, D A Gillette. Vulnerability of desert biological crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture and disturbance[J]. J. Arid Environ. 1998, 39, 133—142.
- [12] 关松荫. 我国主要土壤剖面活性状况[J]. 土壤学报, 1984, 21 (4): 368—380.
- [13] 袁志发, 孟德顺. 多元统计分析[M]. 杨凌: 天则出版社, 1993.
- [14] 薛立, 陈红跃, 邝立刚, 等. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 157—159.
- [15] 张萍. 西双版纳次生林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究[J]. 生态学杂志, 1995, 14 (1): 21—26.
- [16] 郑文教, 王良睦, 林鹏. 福建和溪亚热带雨林土壤酶活性的研究[J]. 生态学杂志, 1995, 14 (6): 16—20.
- [17] Diamantidis G, Effosse A, Potier P, et al. Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum* [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32: 919—927.

Effect of biogas residues on soil enzyme activity of red Fuji apple orchards

XU Wei-na¹, QIU ling¹, YANG Bao-ping², NIE Jun-feng², WANG Jun-peng²

(1. The Northwest Station of Biogas Products and Equipment Quality Test Center of the Chinese Ministry of Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Research Center for Agricultural in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The soil enzyme activities were studied after biogas residues applied. The activity of 4 soil enzymes were measured at the ecotypic orchard station of Northwest A & F University, and the result showed that the activity of 4 chief soil enzymes varied, including urease, phosphatase, catalase and sucrase. Except sucrase, the activity of other soil enzymes of biogas residues in household biogas digester was greater than biogas residues in project biogas digester. The effect of urease and catalase activities of biogas residues in household digester on organic matter were significantly positive, the same as that of urease and catalase activities of biogas residues in project digester on organic matter. The results obtained through the correlation, path and principal component analysis showed that that soil urease, catalase and sucrase using biogas residues in household digester and soil sucrase using biogas residues in project digester could all be as a comprehensive index of soil fertility. Soil fertility could be evaluated objectively by principal component analysis.

Keywords: soil enzyme; fertilizer; soil nutrient; black soil