

油茶—花生间作土壤酶活性与养分的关系

莫晶^{1,2}, 闫文德^{1,2}, 刘曙光^{1,2,3}, 吴小红^{1,2}

(1. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 湖南长沙 410004;
3. 美国地质勘探局地球资源观测与科学研究中心, 南达科他州 苏福尔斯 SD57198)

摘要: 本研究比较了丘陵地区油茶单作、花生单作及油茶-花生间作三种种植模式下五种土壤酶(蔗糖酶、蛋白酶、脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶)活性的差异, 并采用相关分析、通径分析对土壤酶活性和土壤养分的相关性进行了研究, 旨在探讨油茶种植模式对土壤酶活性的影响, 以为油茶生产中培肥和改良土壤提供参考。结果表明, 不同种植模式对土壤酶活性影响明显。与油茶单作相比, 油茶-花生间作显著提高0~10 cm 土层土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶及过氧化氢酶的活性, 以及10~20 cm 土层蔗糖酶活性; 与花生单作相比, 油茶-花生间作显著提高了0~10 cm 土层土壤蛋白酶活性。相关性分析表明土壤酶活性与土壤养分的相关性较高, 特别是脲酶和酸性磷酸酶。通径分析结果表明, 土壤速效磷和速效钾对蔗糖酶产生显著的直接影响, 有机质和速效磷是影响蛋白酶的主导因子, 土壤全氮是影响脲酶的重要因素, 土壤全氮和速效磷是直接影响了酸性磷酸酶的重要因子。综合看来, 与油茶单作相比, 油茶-花生间作模式可以改善土壤质量, 提高土壤酶活性, 对提高土壤肥力有着重要意义。

关键词: 油茶; 间作; 土壤酶活性; 土壤养分

中图分类号: S714

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2017)06-0089-07

Soil enzyme activities and their relations with soil fertility in *Camellia oleifera* peanut intercropping

MO Jing^{1,2}, YAN Wende^{1,2}, LIU Shuguang^{1,2,3}, WU Xiaohong^{1,2}

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. National Engineering Lab for Applied Technology of Forestry and Ecology in Southern China, Changsha 410004, Hunan, China; 3. Earth Resource Observation and Science Center, United States Geological Survey, Sioux Falls SD57198, South Dakota)

Abstract: In order to explore the effect of different cropping patterns of *Camellia oleifera* on enzyme activity, and to afford the reference of fertilization and improving of soil during *C. oleifera* production. This study compared the difference of five soil enzyme activities (sucrose, protease, urease, acid phosphatase and catalase) under three cropping patterns: *C. oleifera* monoculture, peanut monoculture and *C. oleifera* peanut intercropping, and explored the relationships between soil enzyme activities and soil fertility using correlation analysis and path analysis. Compared with *C. oleifera* monoculture, *C. oleifera* peanut intercropping can significantly improve the activities of sucrose, protease, urease and catalase in 0-10cm soil layer and sucrose activity in 10-20 cm soil layer. Compared with peanut monoculture, *C. oleifera* peanut intercropping can significantly improve protease activity in 0-10 cm soil layer. Correlation analysis result indicated that the relationship between soil enzyme and soil fertility were significant, especially for urease and acid phosphatase. The result of path analysis showed that soil rapidly available phosphorus and rapid available potassium have a significant effect for sucrose, soil organic matter and soil rapidly available phosphorus were dominant factors in effecting protease, soil total nitrogen was important for urease and the soil total nitrogen and rapidly available phosphorus may directly affect the acid phosphatase. In conclusion, *C. oleifera* peanut can improve the quality of soil and enzyme activity comparing with *C. oleifera* monoculture, and show significant mean in promoting soil fertility.

Keywords: *Camellia oleifera*; intercropping; soil enzyme activity; soil fertility

油茶 *Camellia oleifera* 又名茶籽树, 为山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 常绿小乔木或灌木, 是

我国特有的木本食用油料树种, 主要分布在我国南方地区^[1]。由于油茶种植前几年树冠扩展较慢,

收稿日期: 2016-11-16

基金项目: 国家科技支撑计划 (2015BAD07B00)

作者简介: 莫晶, 硕士研究生

通讯作者: 闫文德, 教授, 博士生导师; E-mail: csfuyywd@hotmail.com

引文格式: 莫晶, 闫文德, 刘曙光, 等. 油茶-花生间作土壤酶活性与养分的关系 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(6): 89-95.

林地内有一定的空间, 因此, 在油茶新造林前期可以利用林地内的空间种植作物来提高土地资源的利用率, 增加经济收益。研究表明, 在油茶林下种植农作物不仅可以提高土地的经济效益, 还有助于提高土壤肥力和土壤质量, 改善油茶生长环境, 促进油茶生长结实^[2]。

油茶林下间作的农作物种类繁多, 包括花生、大豆、绿豆、红薯、豇豆、早稻、绿肥、油菜、辣椒等^[3-4], 现有的文献主要集中于研究不同油茶农作物间作模式对油茶生长生理特性和土壤理化性质的影响, 而有关油茶与农作物间作对土壤酶活性的影响以及土壤酶活性与土壤养分关系的研究还少有报道。土壤养分是土壤中含有植物生长代谢所需要的营养物质, 是反映土壤肥力的基础指标^[5]。土壤酶是具有催化活性的蛋白质, 具有生物催化剂之称, 它能促进有机体中的化学反应, 是土壤生物学活性的总体现^[6]。土壤酶既参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环, 又是植物营养元素的活性库^[7-8], 在生态系统物质循环和能量流动中发挥着重要的作用, 是土壤肥力评价的一个重要指标。因此, 本研究通过分析油茶单作、花生单作、油茶 - 花生间作三种种植模式的土壤酶活性差异, 并采用相关分析和通径分析研究土壤酶活性与土壤养分之间的关系, 探讨不同种植模式对土壤酶活性的影响, 旨在为油茶复合经营土壤管理提供科学的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验样地概况

试验地位于湖南省长沙市林业科学院试验林场 (113°01'30"E, 28°06'40"N), 试验地属低丘岗地貌, 海拔 50 ~ 108 m, 属亚热带季风湿润气候。年平均气温为 17.5℃, 极端最高温度 42.7℃, 极端最低温度 -10.4℃。年平均降水量 1 378 mm, 年均相对湿度 81%, 年日照 1 814.8 h, 全年无霜期 275 d。

1.2 试验设计

供试油茶林为 2010 年所造, 油茶株行距为 4 m×3 m, 种植品种为湘林 4 号。试验设置油茶单作、花生单作和油茶 - 花生间作 3 种植模式, 每种种植模式设置 3 个重复。油茶单作模式设置: 选择长势较一致的连片油茶 3 行, 每行 3 株为一个小区, 重复 3 次, 油茶株间不间作花生; 花生

单作模式设置: 在油茶林旁边空地按照穴距行距 0.25 m×0.1 m 种植花生, 每个小区 48 m², 重复 3 次; 油茶 - 花生间作模式设置: 选择长势较一致的连片油茶 3 行, 每行 3 株为一个小区, 重复 3 次, 于 2016 年 4 月在油茶株间间作花生。花生与油茶植株的间距为 1 m, 花生穴距 0.25 m, 株距 0.1 m, 花生品种为市场购买的适合湖南地区种植的品种。三种种植模式均使用“旺亿农”有机肥进行一次性施入, 锄草、打药等其他田间管理措施均一致。

1.3 土壤样品采集及测定方法

1.3.1 土壤样品采集

土壤样品于 2016 年 7 月采集。分别在油茶单作、花生单作及油茶 - 花生间作模式内以蛇形布置 5 个采样点, 采用土钻分层采集 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土壤样品后, 将各样点相同层次土壤混合, 取样时避开施肥区。现场采用四分法弃去多余的样品, 保留 1 kg 土壤样品装于自封袋中, 写好标签, 带回实验室。将取回的土样摊放在实验室, 除去土壤中可见的动、植物残体及石块等, 让其自然风干。风干后土样分为两份, 一份过 1 mm 筛混匀后置于常温保存, 用于土壤酶活性的测定。另一份土样过 0.25 mm 筛后供土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷及速效钾的测定。

1.3.2 测定方法

土壤酶活性测定: 土壤酶活性均采用比色法进行测定。蔗糖酶活性的测定采用 3, 5- 二硝基水杨酸比色法^[9], 单位以 1 g 土壤恒温培养 (37℃) 24 小时内分解蔗糖释放出的葡萄糖毫克数表示; 蛋白酶活性的测定采用茚三酮比色法^[9], 单位以 1 g 土壤在 37℃ 恒温培养箱中培养 24 h 后的氨基氮的毫克数表示; 酸性磷酸酶活性的测定采用磷酸苯二钠比色法^[9], 单位以 1 g 土壤释放的酚的毫克数表示; 脲酶活性的测定采用苯酚钠 - 次氯酸钠比色法^[9], 单位以 1 g 土壤在 37℃ 恒温培养箱中培养 24 h 释放出的铵态氮毫克数表示; 过氧化氢酶活性的采用高锰酸钾滴定法^[9], 单位以 20 min 内 1 g 土壤分解的过氧化氢的毫克数表示。

土壤养分测定: 土壤有机质采用水合热重铬酸钾氧化法; 全氮用半微量凯氏定氮法; 全磷用王水酸溶钼锑抗比色法; 全钾用王水酸溶火焰光度计法; 速效氮用蒸馏法; 速效磷用双酸浸提分光光度比色法; 速效钾用醋酸铵浸提火焰光度计法。

1.4 数据分析

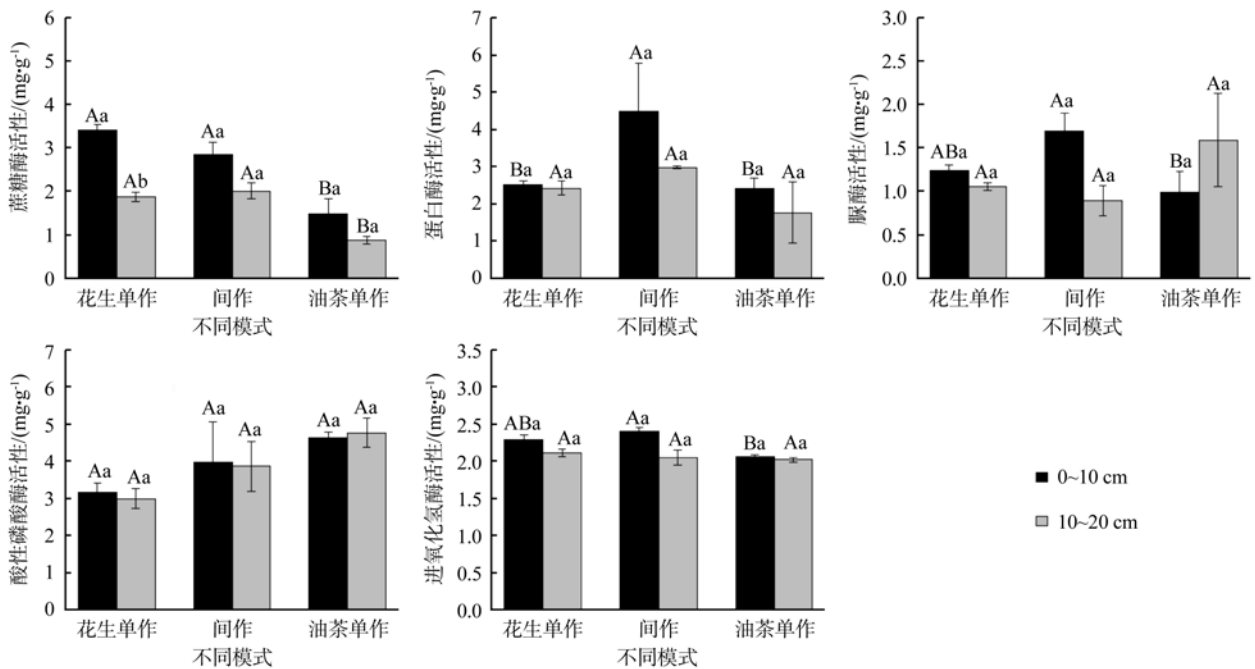
采用 R (3.3.1) 软件对实验数据进行统计分析。不同种植模式间的差异显著性采用单因素方差分析 (One-way Anova) 检验 ($P < 0.05$ 表示存在显著性差异), 不同土层之间土壤酶活性差异显著性采用 Tukey's HSD 检验 ($P < 0.05$ 表示存在显著性差异); 相关性分析采用 Pearson 统计方法进行分析; 采用 R 软件中的 sem 包进行通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式对土壤酶活性的影响

土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶、酸性磷酸酶和过氧化氢酶广泛存在于土壤中, 在土壤有机化合物和动植物残体等的分解转化方面发挥着重要的作用。由图 1 可知, 油茶单作、花生单作和油茶-花生间作 3 种植模式 5 种土壤酶活性表现出不同程度差异。对于 0~10 cm 土壤, 油茶-花生间作模式中土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶及过氧

化氢酶活性分别比油茶单作模式提高了 92.00%、85.68%、71.07%、16.68%, 且差异达显著性差异水平 ($P < 0.05$), 但油茶-花生间作模式中土壤酸性磷酸酶活性比油茶单作模式降低了百分比 14.49%。对于 10~20 cm 土壤, 与油茶单作相比, 油茶-花生间作模式提高了蔗糖酶、蛋白酶和过氧化氢酶的活性, 但降低了脲酶和酸性磷酸酶的活性。与花生单作模式相比, 在 0~10 cm 土层, 油茶-花生间作模式中土壤蛋白酶、脲酶、酸性磷酸酶及过氧化氢酶活性分别提高了 77.81%、37.25%、25.08%、5.07%, 且对于蛋白酶达显著性差异水平 ($P < 0.05$), 但蔗糖酶的活性降低了 16.93%。在 10~20 cm 土层, 油茶-花生间作模式中的蔗糖酶、蛋白酶、酸性磷酸酶活性高于花生单作模式, 但脲酶和过氧化氢酶的活性有所降低。此外, 分析结果还表明, 在 3 种植模式中, 土壤酶活性均随着土壤深度的增加而呈现出垂直递减的趋势, 除花生单作模式的蔗糖酶外, 其他模式的土壤酶活性在 0~10 cm 及 10~20 cm 并未表现出显著差异。



不同大写字母表示不同种植模式间差异显著 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示不同土层间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 不同种植模式下土壤的酶活性

Fig.1 Soil enzymes activities under different cropping patterns

2.2 土壤酶活性与土壤养分之间的相关分析

2.2.1 相关分析

将不同种植模式土壤酶活性与土壤养分含量进行 Pearson 相关分析得到表 1。可以看出, 土壤蔗糖酶活性与速效氮存在显著负相关关系 ($P <$

0.05), 与其他土壤养分相关性弱; 蛋白酶活性与有机质和速效磷存在极显著正相关 ($P < 0.01$) 和显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与全氮、全磷、全钾、速效氮和速效钾相关性弱; 脲酶活性与有机质和全氮存在极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与速效磷和速效钾呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与其

表 1 土壤酶活性与土壤养分的相关性[†]
Table 1 Coefficient between soil enzyme activities and the soil nutrient contents

	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾
蔗糖酶	0.132 7	0.031 0	-0.188 2	-0.149 2	-0.275 2*	-0.205 9	0.140 6
蛋白酶	0.496 5**	0.211 6	0.242 5	0.161 4	-0.178 5	0.452 4*	0.214 5
脲酶	0.446 9**	0.532 2**	0.180 0	-0.025 4	0.201 7	0.263 5*	0.354 7*
酸性磷酸酶	0.505 7**	0.694 2**	0.281 4*	0.147 5	0.172 2	0.417 1**	0.358 1**
过氧化氢酶	0.271 5	0.337 6*	0.226 6	0.257 5	0.009 1	0.214 7	0.290 0*

† *表示 $P=0.05$ 水平上相关性显著; **表示 $P=0.01$ 水平上相关性显著。

他土壤养分指标相关性不显著; 酸性磷酸酶活性与有机质、全氮、速效磷及速效钾均存在极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 与全磷存在显著正相关关系 ($P < 0.05$), 但与全钾和速效氮相关性弱; 过氧化氢酶活性与全氮和速效钾存在显著正相关关系 ($P < 0.05$), 与其他土壤养分相关性弱。这说明土壤酶活性和土壤养分含量之间存在相互影响、相互作用的关系。

2.2.2 通径分析

通径分析是标准化的多元线性分析, 可以通过对自变量与因变量之间表面直接相关性的分解, 来研究自变量对因变量的直接重要性和间接重要性。经数据标准化处理后的土壤蔗糖酶活性 (Y_1)、蛋白酶活性 (Y_2)、脲酶活性 (Y_3)、酸性磷酸酶活性 (Y_4)、过氧化氢酶活性 (Y_5) 与土壤养分因子的多元线性回归方程为:

$$Y_1=0.435 0X_1-0.331 8X_2-0.062 7X_3+0.118 9X_4-0.351 5X_5-0.766 9X_6+0.624 0X_7。 \quad (1)$$

$$Y_2=0.601 4X_1-0.153 4X_2-0.2497X_3+0.024 7X_4-0.198 6X_5+0.637 3X_6+0.208 1X_7。 \quad (2)$$

$$Y_3=-0.055 1X_1+0.444 0X_2-0.033 0X_3-0.235 1X_4+0.124 6X_5+0.3367X_6+0.0548X_7。 \quad (3)$$

$$Y_4=-0.191 5X_1+0.827 7X_2-0.120 7X_3-0.030 5X_4+0.090 1X_5+0.631 7X_6-0.284 1X_7。 \quad (4)$$

$$Y_5=0.082 7X_1+0.297 5X_2+0.078 0X_3+0.335 9X_4-0.053 7X_5-0.222 3X_6+0.077 7X_7。 \quad (5)$$

式中: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 分别是标准化的土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾。方程 (1) ~ (5) 中的系数为直接通径系数, 直接通径系数乘以各土壤养分之间的相关系数即得到表 2 中的间接通径系数。直接通径系数表示各土壤养分因子对酶活性的直接影响, 间接通径系数则是土壤养分因子通过其他养分因子间接对酶活性产生的影响。

由表 2 可以看出, 土壤速效磷、速效钾对土壤蔗糖酶活性的直接通径系数较大, 分别为 -0.766 9、0.624 0, 两者对土壤蔗糖酶活性分别有

较强烈的负效应和正效应, 土壤全磷、全钾对土壤蔗糖酶活性的直接影响力虽然很小 (直接通径系数分别为 -0.062 7、0.118 9), 但二者通过速效磷对蔗糖酶活性的间接通径系数达到了 -0.636 5 和 -0.521 5。可见, 土壤全磷、全钾对蔗糖酶的影响主要体现在间接影响上。土壤有机质及速效磷对土壤蛋白酶的直接通径系数较大, 分别为 0.601 4 和 0.637 3, 表明二者对蛋白酶活性有较强的直接效应, 土壤全氮对蛋白酶的影响主要体现在通过土壤有机质的间接影响上。土壤全氮对脲酶的影响主要是直接影响 (直接通径系数为 0.444 0), 其他养分因子对脲酶的直接、间接通径系数都较小, 对脲酶活性的影响也较小。土壤全氮和速效磷对土壤酸性磷酸酶活性的通径系数较大, 分别为 0.827 7、0.631 7, 全磷对土壤酸性磷酸酶活性的影响主要表现在通过速效磷的间接影响上, 说明全氮和速效磷是影响酸性磷酸酶的主要因素。相对于其他四种酶, 土壤养分因子对过氧化氢酶的直接和间接通径系数都相对较小, 表明土壤养分因子对过氧化氢酶活性的影响较小。

3 讨 论

3.1 不同种植模式下土壤酶活性差异分析

土壤酶直接参与了土壤营养元素的有效化过程, 在一定程度上反映了土壤养分转化的动态, 能够在较短的时间内反映出土壤状况的变化^[10]。蔗糖酶来自植物根系和微生物, 能催化蔗糖水解成葡萄糖和蔗糖, 对土壤的碳、氮循环起到重要的作用^[11]。蛋白酶可以水解蛋白质为肽, 最终形成氨基酸, 加速土壤的氮素循环。脲酶是氮素循环的关键酶类, 能酶促尿素的水解, 水解形成的 NH_3 是植物的氮源之一, 其活性可反映土壤的供氮能力和水平^[12]。磷酸酶是土壤中最活跃的酶类之一, 其能酶促有机磷化合物的水解, 可为植物生长提供所需的速效磷。过氧化氢酶能促进过氧化氢对各种化合物的氧化, 减轻土壤中过氧化氢

表 2 土壤养分对 5 种酶活性的通径系数[†]
 Table 2 Path coefficients between the soil nutrients affecting activities of the five enzymes

因变量	自变量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Y_1	X_1	0.435 0*	-0.242 2	-0.017 0	0.001 2	-0.056 2	-0.322 1	0.330 7
	X_2	0.317 6	-0.331 8*	-0.008 8	-0.005 9	-0.063 3	-0.168 7	0.293 3
	X_3	0.117 5	-0.046 5	-0.062 7*	0.079 7	-0.024 6	-0.636 5	0.386 9
	X_4	0.004 4	0.016 6	-0.042 0	0.118 9*	-0.007 0	-0.521 5	0.280 8
	X_5	0.069 6	-0.059 7	-0.004 4	0.002 4	-0.351 5*	-0.015 3	0.081 1
	X_6	0.182 7	-0.073 0	-0.052 0	0.080 9	-0.007 0	-0.766 9*	0.430 6
	X_7	0.230 6	-0.155 9	-0.038 9	0.049 9	-0.045 7	-0.529 2	0.624 0*
Y_2	X_1	0.601 4*	-0.112 0	-0.067 4	0.002 0	-0.031 8	0.267 7	0.159 8
	X_2	0.639 0	-0.153 4*	-0.035 0	-0.001 2	-0.035 7	0.140 2	0.141 8
	X_3	0.162 4	-0.021 5	-0.249 7*	0.016 5	-0.013 9	0.529 0	0.187 0
	X_4	0.006 0	0.007 7	-0.167 3	0.024 7*	-0.004 0	0.433 4	0.135 7
	X_5	0.096 2	-0.027 6	-0.017 5	0.000 5	-0.198 6*	0.012 7	0.039 2
	X_6	0.252 6	-0.033 7	-0.207 3	0.016 8	-0.004 0	0.637 3*	0.208 1*
	X_7	0.318 7	-0.072 1	-0.154 8	0.010 4	-0.025 8	0.439 7	0.301 6
Y_3	X_1	-0.055 1*	0.324 1	-0.009 0	-0.002 4	0.019 9	0.141 4	0.029 0
	X_2	-0.040 2	0.444 0*	0.004 6	0.011 8	0.022 4	0.074 1	0.025 8
	X_3	-0.014 9	0.062 2	-0.033 1*	-0.157 5	0.008 7	0.279 5	0.034 0
	X_4	-0.000 6	-0.022 2	-0.022 2	-0.235 1*	0.002 5	0.229 0	0.024 7
	X_5	-0.008 8	0.079 9	-0.002 3	-0.004 7	0.124 6*	0.006 7	0.007 1
	X_6	-0.023 1	0.097 7	-0.027 5	-0.159 9	0.002 5	0.336 7*	0.037 8
	X_7	-0.029 2	0.208 7	-0.020 5	-0.098 7	0.016 2	0.232 3	0.054 8*
Y_4	X_1	-0.191 5*	0.604 2	-0.032 6	-0.000 3	0.014 4	0.265 3	-0.150 6
	X_2	-0.139 8	0.827 7*	-0.016 9	0.001 5	0.016 2	0.139 0	0.133 5
	X_3	-0.051 7	0.115 9	-0.120 7*	-0.020 4	0.006 3	0.524 3	-0.176 1
	X_4	-0.001 9	-0.041 4	-0.080 9	-0.030 5*	0.001 8	0.429 6	-0.127 8
	X_5	-0.030 6	0.149 0	-0.008 4	-0.000 6	0.090 1*	0.012 6	-0.036 9
	X_6	-0.080 4	0.182 1	-0.100 2	-0.020 7	0.001 8	0.631 7*	-0.196 0
	X_7	-0.101 5	0.389 0	-0.074 8	-0.012 8	0.011 7	0.435 9	-0.284 1*
Y_5	X_1	0.082 7*	0.060 4	0.015 7	0.003 4	-0.008 6	-0.093 4	0.041 2
	X_2	0.060 4	0.297 5*	0.010 9	-0.016 8	-0.009 7	-0.048 9	0.036 5
	X_3	0.022 3	0.041 7	0.078 0*	0.225 1	-0.003 8	-0.184 5	0.048 2
	X_4	0.000 8	-0.014 9	0.052 3	0.335 9*	-0.001 1	-0.151 2	0.035 0
	X_5	0.013 2	0.053 6	0.005 5	0.006 7	-0.053 7*	-0.004 4	0.010 1
	X_6	0.034 7	0.065 5	0.064 7	0.228 4	-0.001 1	-0.222 3*	0.053 6
	X_7	0.043 8	0.139 8	0.048 4	0.141 1	-0.007 0	-0.153 4	0.077 7*

† * 直接通径系数。

的毒害作用，亦可反映土壤中总的呼吸强度。

合理的间作有利于油茶生长、改善土壤的理化性质^[13]、提高土壤酶活性及土壤微生物的数量和多样性^[3]。贾树海^[14]及田亚玲^[15]等人的研究发现农林间作可提高 0~20 cm 土壤蔗糖酶、脲酶、蛋白酶、酸性磷酸酶及过氧化氢酶的活性。本研究发现，除 0~20 cm 土层脲酶外，油茶-花生间作模式土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶及过氧化氢酶的活性均显著高于油茶单作模式 ($P < 0.05$)，与前人的研究结果一致^[14-15]。油茶-花生间作模式脲

酶活性显著增加可能与豆科植物花生有关，花生根系根瘤菌具有较好的固氮作用，提高了土壤氮素的含量，而脲酶活性与土壤氮素转化密切相关。此外，花生根系的穿插作用会改变土壤的孔隙度和土壤的通气状况，根系在生长过程中向土壤释放的分泌物也会影响土壤微环境，从而对蔗糖酶、蛋白酶与过氧化氢酶活性产生影响。张萌萌^[16]等人对桑树/苜蓿间作的研究表明间作提高了土壤酸性磷酸酶的活性，而本研究中油茶-花生间作对土壤酸性磷酸酶活性的影响不显著，这可能与作物

种类以及作物生长阶段有关^[17]。研究显示, 酸性磷酸酶的活性受植物腐化分解的影响较大, 而本研究采样时期正值花生旺盛生长阶段, 土壤中可供分解的花生植物残体少, 因而对土壤酸性磷酸酶活性的影响较小。

3.2 土壤酶活性与土壤养分的相关性分析

土壤酶活性与土壤养分之间关系的研究一直是研究的热点问题, 早期许多学者运用简单的相关分析对两者的关系做了相应的研究, 运用相关系数说明两者之间的关系。本研究对土壤酶活性与土壤有机质、全氮、全磷等养分因子的相关关系分析结果表明, 土壤酶活性与养分有着密切的关系, 土壤的肥力水平很大程度上受土壤酶活性的影响。但相关分析结果只反映了土壤养分与土壤酶活性关系的大小, 并不能揭示土壤养分对土壤酶活性的直接和间接影响程度^[18]。因此进一步采用通径分析全面的考察了土壤养分因子与酶活性之间的直接关系与间接关系, 使二者之间的影响过程更为明晰。

通径分析的研究结果表明, 不同土壤养分对酶活性的影响有所差异。土壤速效磷对蛋白酶和酸性磷酸酶存在着直接的正效应, 对蔗糖酶却产生了负效应。这是因为速效磷是土壤中可被植物、动物、微生物吸收的磷组分, 而蛋白酶和酸性磷酸酶酶促反应的底物主要就是来源于土壤植物的根系、残体, 土壤动物及其残骸和微生物的分泌物。全氮是影响脲酶和酸性磷酸酶的重要因素, 对酶活性存在较大的直接正效应, 因为脲酶是一种促进氮有机物的水解酶, 与土壤氮素供应和转化情况密切相关。前人的研究也表明脲酶及酸性磷酸酶活性的变化与土壤氮素状况有关^[19-20]。袁霞等对八角林地土壤酶活性的研究表明土壤有机质与蛋白酶活性显著相关, 与本文研究结果一致。土壤速效钾是影响蔗糖酶的主要因素, 可能是由于本地区的土壤中钾素的亏缺有关^[21], 吴雪^[22]等对阿拉尔垦区土壤理化因子与酶活性关系的研究也表明土壤速效钾与蔗糖酶存在显著相关关系。

本文对 3 种模式的土壤酶活性及其与养分关系进行了分析, 得出油茶 - 花生间作模式对提高土壤酶活性有明显的效果。然而不同作物及不同生长阶段具有不同的生物学特性及生境条件, 今后的研究应增加农作物的种类, 并增加研究时间, 以期筛选出效果更佳的间作模式, 更好的为油茶生产中培肥和改良土壤提供参考依据。

4 结 论

本文得到的主要结论如下:

(1) 油茶 - 花生间作模式 0 ~ 10 cm 土层的土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶及过氧化氢酶的活性显著 ($P < 0.05$) 高于油茶单作模式, 在 10 ~ 20 cm 土层, 油茶 - 花生间作模式的蔗糖酶的活性显著高于油茶单作模式 ($P < 0.05$), 与花生单作相比, 油茶 - 花生间作显著 ($P < 0.05$) 提高了 0 ~ 10 cm 土层土壤蛋白酶的活性。

(2) 三种种植模式的土壤多数酶与土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾呈极显著或显著正相关, 但与全钾没有显著相关性。

(3) 土壤速效磷和速效钾对蔗糖酶产生显著的直接影响, 有机质、速效磷是影响蛋白酶的主导因子, 土壤全氮是影响脲酶的重要因素, 土壤全氮及速效磷可直接影响酸性磷酸酶。

参考文献:

- [1] 陈隆升, 杨小胡, 李志刚, 等. 间种迷迭香对油茶幼林生长及病虫害的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(5): 38-40.
- [2] 曾 静, 彭 秀, 李秀珍. 油茶林地间作研究 [J]. 绿色科技, 2013(2): 51-52.
- [3] 滕维超. 油茶—农作物间作系统生理生态及经济效益评价 [D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [4] 郑 灏, 杨志坚, 冯金玲, 等. 不同林下套种模式对油茶幼林根区土壤化学特性及微生物的影响 [J]. 福建农林大学学报: 自然版, 2015, 44(2): 147-153.
- [5] 王宪奎, 李建贵, 刘隋赞昊, 等. 不同施肥措施对灰枣园土壤速效养分含量的影响 [J]. 经济林研究, 2016, 34(2): 35-40.
- [6] Abdul Kadir Salam, Arata Katayama, Makoto Kimura. Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of West Lampung, South Sumatra, Indonesia [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1998, 44(1): 93-103.
- [7] Badiane N N Y, Chotte J L, Pate E, *et al.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18(3): 229-238.
- [8] Acostamartinez V, Zobeck T M, Gill T E, *et al.* Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 38(4): 216-227.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [10] 杨 瑞, 刘 帅, 王紫泉, 等. 秦岭山脉典型林分土壤酶活性与土壤养分关系的探讨 [J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 1037-1046.
- [11] 李 娟, 林位夫, 周立军. 成龄胶园间作不同姜科作物对土壤养分与土壤酶的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 192-198.

[12] Wei L, Hao H L, Wu W, *et al.* Transgenic Bt rice does not affect enzyme activities and microbial composition in the rhizosphere during crop development[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(2): 475-486.

[13] 彭 秀, 曾 静, 李秀珍. 间作对油茶幼林生长及土壤养分的影响 [J]. *四川林业科技*, 2013, 34(4): 14-17.

[14] 贾树海, 李 明, 邢兆凯, 等. 不同农林复合模式对土壤理化性质及酶活性的影响 [J]. *土壤通报*, 2014, (3): 648-653.

[15] 田亚玲, 曹福亮. 银杏 - 茶间作模式对土壤养分和酶活性的影响 [J]. *林业科技开发*, 2012, 26(5): 41-45.

[16] 张萌萌, 敖 红, 李 鑫, 等. 桑树 / 苜蓿间作对根际土壤酶活性和微生物群落多样性的影响 [J]. *草地学报*, 2015, 23(2): 302-309.

[17] 唐秀梅, 钟瑞春, 蒋 菁, 等. 木薯 / 花生间作对根际土壤微生态的影响 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2015, 34(1): 117-124.

[18] 杨敬天, 苏智先, 胡进耀, 等. 珙桐林土壤有机质与酶活性的通径分析 [J]. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(2): 164-167.

[19] 滕维超, 刘少轩, 曹福亮, 等. 油茶大豆间作对盆栽土壤化学和生物性质的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(2): 24-27.

[20] Soil Acid Phosphomonoesterase Activity to Simulated Nitrogen Deposition in Three Forests of Subtropical China[J]. *Pedosphere*, 2012, 22(5): 698-706.

[21] 罗汉东, 雷先高, 朱丛飞, 等. 不同施钾水平对油茶树体生长和林地养分含量的影响 [J]. *经济林研究*, 2016, 34(2): 1-6.

[22] 吴 雪, 贡 璐, 冉启洋, 等. 阿拉尔垦区土壤理化因子与酶活性的通径分析 [J]. *水土保持研究*, 2013, 20(3): 48-54.

[本文编校: 吴 彬]



(上接第 74 页)

[24] 冯丽娜, 郝爱丽, 路丙社, 等. 灯台树组培快繁技术研究 [J]. *河北林果研究*, 2008, 23(3): 241-244.

[25] 李艳敏, 孟月娥, 赵秀山, 等. 赤霉素对樱花组培苗壮苗及生根的影响: 中国园艺学会 2012 年学术年会 [Z]. 2012.

[26] 许益娟. 茶树组织培养再生体系优化与遗传转化的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[27] 刘均利, 郭洪英, 陈 炙, 等. 麻疯树组培苗的生根及移栽技术研究 [J]. *四川林业科技*, 2011, 32(2): 38-44.

[28] 徐 刚, 陈剑平, 汪一婷, 等. 国内外植物组培技术的差距 [J]. *中国花卉园艺*, 2008(3): 20-22.

[29] 韩 磊, 汪旭东, 吴先军, 等. 植物组织培养技术及其应用研究进展 [J]. *种子*, 2005, 24(1): 38-43.

[30] 陈 容, 张党权, 郑玉娟, 等. 红檫木腋芽高效快繁研究 [J]. *经济林研究*, 2015, 33(4): 96-101.

[本文编校: 吴 彬]