

橡胶人工林地土壤酶活性与有效态微量元素关系研究^{*}

吴炳孙^{1,2} 吴 敏^{1,3} 韦家少^{1,3}
何 鹏^{1,3} 余贵连^{1,2} 张焱华^{1,2}

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所 海南儋州 571737; 2. 海南大学农学院;
3. 农业部橡胶树生物学重点开放实验室)

摘要 文章以海南省儋州市南部植胶区各农场橡胶人工林地为研究对象,运用典型相关分析研究了橡胶人工林地土壤酶活性和土壤微量元素含量关系。结果表明,土壤有效锰与土壤过氧化氢酶活性的关系最大;土壤有效锌、有效铜与土壤脲酶、多酚氧化酶活性关系密切。各橡胶人工林样点,在典型变量排序图上以不同成土母岩聚集。

关键词 橡胶人工林地 有效态微量元素 土壤酶 典型相关分析

中图分类号: S714.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-4427(2009)01-0001-06

Studies on the Relationships between the Soil Enzyme Activities and Available Microelement in Rubber Plantation

Wu Bingsun^{1,2} Wu Min^{1,3} Wei Jiashao^{1,3}
He Peng^{1,3} She Guilian^{1,2} Zhang Yanhua^{1,2}

(1. Rubber Research Institute, CATAS, Danzhou, Hainan, 571737; 2. College of Agronomy, HNU;
3. Key Laboratory of Rubber Biology, Ministry of Agriculture)

Abstract In farm rubber plantations of the west of Danzhou, Hainan province, canonical correlation analysis was applied to the research of relation between soil enzyme activities and soil available microelement. The results showed that among the test elements, only available Mn, Zn and Cu affected enzyme activity. The available Mn had great relation with the activity of soil peroxidase, both available Zn and Cu were closely related with the activities of soil urease and polyphenol oxidase. The samples of rubber plantations were conglomeration by different soil mother rock in graph of canonical variables ordination.

Key words rubber plantations soil, available microelement, soil enzyme, canonical correlation analysis

土壤酶是一种生物催化剂,它参与土壤系统中诸多重要代谢过程,即土壤发生与发育、土壤肥力的形成、土壤净化等。土壤酶活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的强度和方向。土壤酶活性易受环境中物理、化学和生物的影响。有研究表明,土壤酶活性与土壤养分、理化性质、微生物、重金属、微量元素等有显著相关^[1-5]。

^{*} 基金项目:科技部科研院所社会公益研究专项(2004DIB3J075),科技部科研院所社会公益研究专项(nyhyzx07-033-6)。

第一作者简介:吴炳孙(1983-),男,植物营养专业硕士研究生,E-mail:wubingsu11@163.com。

通讯作者简介:吴敏(1976-),女,助理研究员,主要从事土壤资源管理与植物营养方面的研究。

橡胶是我国热带地区的主要经济作物之一,它具有优异的材质和独特的经济价值。国内外对橡胶人工林土壤进行了大量的研究,主要集中在橡胶林土壤理化性质^[6-7]、土壤肥力^[8-10]、土壤酶活性^[1,11]等方面,而对橡胶林土壤酶活性与微量元素关系的研究尚未见报道。典型相关分析是研究两组变量之间相关系数的一种统计方法,能揭示两组为数很多的变量之间的线性相关关系,更深刻地反映两组随机变量之间的相关情况。笔者以海南省儋州市南部植胶区橡胶林土壤为研究对象,运用典型相关分析方法研究土壤酶活性和土壤有效态微量元素(Cu、Fe、Mn、Zn)之间的关系,有助于我们进一步掌握橡胶林土壤肥力的调控原理与技术。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

研究地位于海南省儋州市南部区域,地理位置 N19°24'~19°32', E109°36'~109°43'。儋州市地势由东南向西北倾斜,由平原、丘陵、山地3部分构成,南部主要是山地和丘陵地带。成土母质较复杂,有玄武岩、片麻岩、花岗岩、砂页岩、浅海沉积物、河流冲积物等。土壤以砖红壤土为主。年日照平均时数2 072 h,常年平均气温23.2℃,7月平均气温27.5℃,极端最高气温为40℃。1月份平均气温16.9℃,极端最低气温0.4℃。年平均降雨量为1 915 mm,5月至10月为降雨量集中期,属热带季风气候区,冬春雨量稀少,夏秋雨水充沛。

1.2 供试材料

在儋州市南部植胶区域各个农场橡胶人工林林地中设立标准地。在每个标准地沿“S”形曲线随机取布16个点,分别在0~20、20~40和40~60 cm土层深度上采集土样。每一标准地面积为667 m²,均为第一代胶园,概况详见表1。

表1 试验区标准样地概况

标准地	海拔(m)	土壤类型	地形	橡胶品系	母岩	前作
西联农场1号、2号	135	强育湿润富铁土	碎原	PR107	花岗岩	荒山
芙蓉田农场1号、2号	119	酸性湿润锥形土	碎原	PR107	花岗岩	荒山
西庆农场	117	铁质湿润锥形土	谷地	PR107	片麻岩	荒山
八一农场1号、2号	150	粘化湿润富铁土	平原	PR107	片麻岩	荒山
和庆	151	粘化湿润富铁土	碎原	PR107	片麻岩	荒山
兰洋农场1号、2号	134	铝质湿润锥形土	碎原	PR107	砂页岩	荒山

1.3 研究方法

1.3.1 土壤酶活性分析 过氧化氢酶用KMnO₄滴定法,酶活性以每克土20 min后消耗0.1 mol/L KMnO₄的毫升数表示^[12];转化酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,酶活性以24 h后1 g土中葡萄糖的毫升数表示^[12];脲酶活性用靛酚蓝比色法测定,酶活性以3 h后1 000 g土中NH₃-N的毫克数表示^[12];多酚氧化酶用邻苯三酚比色法测定,酶活性以每100 g土2 h内生成的没食子素的毫克数表示^[13];磷酸酶用磷酸苯二钠比色法测定,酶活性以24 h后1 g土中酚的毫克数表示^[14]。

1.3.2 土壤微量元素分析 土壤有效铜、有效铁、有效锌和有效锰测定采用盐酸浸提—ICP-AES法^[15]。

1.3.3 数据分析方法 采用典型相关分析(Canonical Correlation Analysis)。它是一种研究两组变量间相关关系的多元分析方法,用来找出土壤有效微量元素 P 个线性组合函数和土壤酶的 Q 个线性组合函数:

$$U = a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_pX_p \cdots \cdots (1)$$

$$V = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \cdots + b_qY_q \cdots \cdots (2)$$

式中 $a_1, a_2, \cdots, a_p$ 和 $b_1, b_2, \cdots, b_q$ 是待定系数,使得 U 和 V 间具有最大相关系数,即“典型相关系数”(canonical correlation coefficient),用来度量两个线性函数间的联系强度。

典型相关分析提示了“两组”指标间的内部联系,更深刻地反映了两组随机变量之间的线性相关情况。综合变量对间的典型相关程度不同,就形成了不同的典型变量对。在实际中,只需着重研究相关关系较大的几对典型变量,因为它们反映了两组变量相互关系的绝大部分信息,而这两组指标的内容可以不同^[16-18]。因此本次分析以土壤有效微量元素为“一组”指标,土壤酶为“一组”指标,运用Statistical Analysis System 9.0

(SAS)辅助处理数据,典型变量排序图由 Excel 完成。

2 结果与讨论

表2列出了土壤微量元素和土壤酶的特征值,记土壤微量元素指标的数据为 $X(4 \times 30)$,土壤酶活性指标的数据为 $Y(5 \times 30)$ 。典型分析是选2个变量 U 和 $V(U$ 为土壤微量元素典型变量, V 为土壤酶典型变量)来描述变量 X 和 Y 之间的关系。

表2 用于典型分析的土壤酶活性及土壤有效微量元素特征值

样地	土层 (cm)	序 号	有效锰 X_1 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铁 X_2 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铜 X_3 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效锌 X_4 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	过氧化 氢酶 Y_1	转化酶 Y_2	脲酶 Y_3	多酚氧 化酶 Y_4	酸性磷 酸酶 Y_5
西联 1号	0~20	1	104.01	132.31	2.92	6.67	0.26	10.68	43.14	20.39	1371.06
	20~40	2	65.84	66.35	2.04	11.49	0.15	2.79	18.83	12.95	1218.72
	40~60	3	71.93	81.97	1.60	6.52	0.15	0.08	4.81	5.23	788.21
西联 2号	0~20	4	47.61	38.73	1.75	7.06	0.14	5.20	48.00	15.98	1033.74
	20~40	5	50.81	21.34	1.62	3.53	0.11	0.94	7.46	11.02	817.84
	40~60	6	49.19	52.82	1.09	4.00	0.10	1.08	8.86	13.77	922.76
芙蓉田 1号	0~20	7	109.70	13.17	0.15	2.81	0.16	5.16	10.31	38.36	1811.94
	20~40	8	89.59	18.09	0.09	1.95	0.15	1.42	13.13	47.65	1310.09
	40~60	9	96.42	91.84	0.28	3.57	0.19	0.27	8.00	5.16	776.26
芙蓉田 2号	0~20	10	81.00	9.37	0.12	2.96	0.11	4.08	11.25	42.73	1394.61
	20~40	11	85.58	29.80	0.44	3.05	0.11	1.62	18.39	64.86	864.52
	40~60	12	99.13	138.53	0.38	5.95	0.08	0.43	15.44	24.90	578.74
西庆	0~20	13	47.33	35.58	0.29	156.96	0.08	6.65	32.49	19.62	2156.86
	20~40	14	38.95	19.37	0.25	56.81	0.07	2.96	17.31	16.22	1123.04
	40~60	15	37.98	16.32	0.30	59.32	0.07	4.70	41.12	23.86	767.96
八一 1号	0~20	16	14.95	21.69	0.57	1.98	0.03	1.64	16.17	23.61	1337.48
	20~40	17	10.88	18.65	0.62	1.87	0.07	0.63	7.83	21.97	850.50
	40~60	18	14.15	15.41	0.93	2.18	0.05	0.60	4.90	13.77	445.21
八一 2号	0~20	19	10.57	27.46	0.48	1.52	0.06	2.02	19.00	32.08	1331.22
	20~40	20	9.41	25.95	0.72	1.51	0.04	0.63	13.13	29.62	906.69
	40~60	21	11.05	32.35	0.84	1.95	0.03	0.41	19.03	12.91	582.19
和庆	0~20	22	7.97	51.95	0.95	17.66	0.04	2.87	26.43	9.81	1954.77
	20~40	23	10.88	25.44	1.03	21.78	0.03	2.84	6.76	13.19	931.77
	40~60	24	12.14	13.59	0.88	19.61	0.03	1.81	4.88	11.80	762.80
兰洋 1号	0~20	25	22.36	53.91	0.24	1.02	0.05	6.49	19.41	13.78	1473.35
	20~40	26	25.09	103.05	0.30	1.74	0.05	2.78	16.63	27.97	1099.89
	40~60	27	11.30	34.54	0.26	2.44	0.05	2.26	12.38	19.86	806.98
兰洋 2号	0~20	28	56.45	38.02	0.13	2.16	0.08	9.06	11.18	16.68	1349.63
	20~40	29	32.57	27.93	0.11	2.05	0.06	4.46	14.38	11.75	1328.37
	40~60	30	17.71	18.71	0.11	8.09	0.04	0.66	6.67	14.34	588.88

注:表2中的过氧化氢酶活性以每克土20 min后消耗的0.1 mol/L KMnO_4 的毫升数表示;多酚氧化酶活性以每100 g土2 h内生成的没食子素的毫克数表示;脲酶活性以3 h后1 000 g土中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示;磷酸酶活性以24 h后1 g土中酚的毫克数表示。转化酶活性以24 h后1 g土中葡萄糖的毫升数表示。

表3 典型变量的显著性检验

典型变量	典型相关系数	特征值	特征值差	典型贡献率	累积贡献	自由度	似然率	F 值	P 值
1	0.9347	6.9152	5.6940	0.8218	0.8218	20	0.0445	5.4900	<0.0001
2	0.7415	1.2212	0.9441	0.1451	0.9669	12	0.3521	2.3600	0.0151
3	0.4658	0.2771	0.2761	0.0329	0.9999	6	0.7822	1.0000	0.4356
4	0.0327	0.0011		0.0001	1.0000	2	0.9989	0.0100	0.9872

土壤微量元素和土壤酶 2 组变量的 2 对典型变量似然率卡方检验均达显著性水平(表 3),均具有一定的意义。极大典型相关系数、次典型相关系数分别占典型贡献率的 82.18% 和 14.51%。结合土壤微量元素和土壤酶的典型变量,根据各变量的标准化系数(表 4),第 1 对典型变量线性结合模型为:

$$U_1 = 0.9562X_1 - 0.1475X_2 + 0.3322X_3 - 0.1147X_4$$
$$V_1 = 0.9911Y_1 - 0.0552Y_2 - 0.1503Y_3 + 0.1906Y_4 - 0.1010Y_5$$

第 2 对典型变量线性结合模型为:

$$U_2 = -0.3992X_1 + 0.4628X_2 + 0.6746X_3 + 0.5424X_4$$
$$V_2 = 0.1525Y_1 - 0.2124Y_2 + 0.7710Y_3 - 0.7594Y_4 + 0.0566Y_5$$

SAS 软件按标准化系数线性结合模型公式计算样地原始得分,即得到第 1、2 典型变量排序图(图 1 ~ 2)。

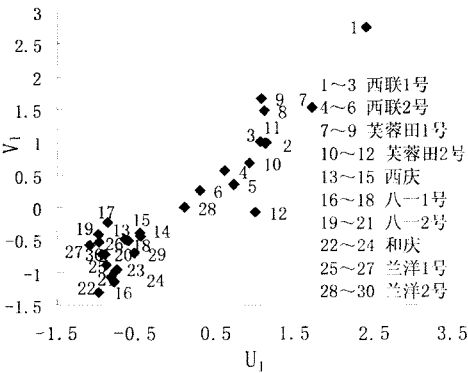


图1 第1对典型变量排序

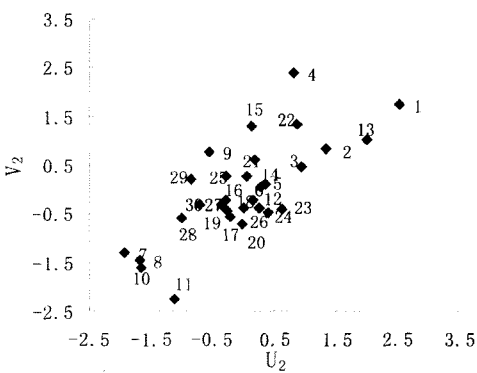


图2 第2对典型变量排序

根据上述结果,对第 1、2 对典型变量分析其生物学意义如下:由表 3 可见,第 1 对典型变量的相关系数为 0.934 7,特征值占总特征值的 82.18%,似然率卡方检验值为 <0.000 1,达极显著水平,也就是说土壤有效微量元素第 1 典型变量(U_1)与土壤酶第 1 典型变量(V_1)的关系十分密切,而第 1 土壤有效微量元素综合因子中起主要作用的是 X_1 ,即土壤有效锰;第 1 土壤酶综合因子起主要作用的是 Y_1 ,即土壤过氧化氢酶。过氧化氢广泛存在于土壤中,它是由生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化反应的结果产生的,对土壤和生物都有毒害作用。同时,在土壤中,过氧化氢酶能促进过氧化氢对各种化合物的氧化,催化对生物体有毒的过氧化氢的分解,可反映土壤中总的呼吸强度,并与微生物数量有关,是表征土壤微生物强度的重要酶类。从典型变量的相关性来看,过氧化氢酶与有效锰相关性最大,在一定程度上表明过氧化氢酶与胶园土壤锰的转化存在相关性,也可能锰是过氧化氢酶的激活剂,促进过氧化氢酶活性。

表 4 土壤有效微量元素和土壤酶典型变量

原始变量	典型变量 I				典型变量 II			
	U_1	r_{u1i}	V_1	r_{v1i}	U_2	r_{u2i}	V_2	r_{v2i}
X_1	0.9562	0.9419		0.8804	-0.3992	-0.1284		-0.0952
X_2	-0.1475	0.4087		0.3820	0.4628	0.4883		0.3621
X_3	0.3322	0.4193		0.3919	0.6746	0.7322		0.5429
X_4	-0.1147	-0.1770		-0.1654	0.5424	0.4219		0.3128
Y_1		0.9081	0.9911	0.9716		0.1660	0.1525	0.2238
Y_2		0.2344	0.0552	0.2508		0.2299	-0.2124	0.3100
Y_3		0.1431	-0.1503	0.1531		0.4881	0.7710	0.6583
Y_4		0.2680	0.1906	0.2867		-0.5064	-0.7594	-0.6829
Y_5		0.0777	-0.1010	0.0831		0.0723	0.0566	0.0976

第2对典型变量的相关系数为0.741 5,似然率卡方检验值为0.015 1,达显著水平,表明第2对典型变量显著相关且有一定的意义。第2土壤有效微量元素综合因子中起主要作用的是 X_3 和 X_4 ,即土壤有效铜和有效锌;第2土壤酶综合因子起主要作用的是 Y_3 和 Y_4 ,即土壤脲酶和多酚氧化酶,表明土壤有效铜、有效锌均对土壤脲酶和多酚氧化酶的活性有正效应,即促进作用较大。微量元素是植物、微生物和酶的激活剂或抑制剂,土壤的微量元素含量可能是决定土壤酶活性的一个重要生态学因素^[19]。微量元素对土壤酶活性的影响,取决于土壤的性质(特别是pH值及移动性微量元素的含量)及不同酶类对微量元素的专有特性,对某些酶起激活作用的微量元素,对另一种酶则可能起抑制作用^[5,20]。而且,同一微量元素的含量不同时,既可以起激活酶的作用,也可以起到抑制酶的作用^[19]。据史长青^[21]的研究表明,稻田土壤脲酶活性与Cu、Zn呈显著负相关。李跃林等^[5]研究表明,桉树人工林土壤锌在一定程度上对脲酶和过氧化氢酶有负效应,即有一定的抑制作用。而本研究橡胶人工林土壤铜、锌均对脲酶有正效应,可见橡胶人工林土壤微量元素与土壤酶的关系是有别于桉树人工林和水稻土的。可能是橡胶人工林的经营耕作方式不同,橡胶树是多年生高大乔木且种植时间长,投产后的橡胶树既要产胶,又要生长,对土壤养分的消耗量大,需要人为大量施肥补充,可能在施肥中带有外源微量元素,另胶园一般是30~40年才更新,时间长形成特定的土壤环境,这有待进一步深化研究论证。

从典型变量排序图1看,西联1号、西联2号,芙蓉田1号和芙蓉田2号等在排序图上方集结,且其成土母岩均是花岗岩;从典型变量排序图1、2看,兰洋1号和兰洋2号在排序图左方集结,且其成土母岩均是砂页岩,说明性质相似的土壤有聚集趋势,这与李跃林等^[5,22]研究结果是一致的。另从典型变量排序图1、2看,图呈现很好的线性关系,对各样地得分作回归分析,拟合方程为 $V_1 = 0.9347U_1$, $R^2 = 0.8737$; $V_2 = 0.7415U_2$, $R^2 = 0.5498$ 。结合橡胶人工林的土壤养分因子,是否可以根据其在排序图上得分聚集情况对胶园土壤性质相似进行初步划分,这有待进一步论证与研究。

3 结论

橡胶树作为一种长期性作物,其生长生产年限长达30年,投产后的橡胶树既要产胶,又要生长,对土壤养分的消耗量大,需大量施肥补充,这使橡胶人工林地的经营耕作方式有别于桉树人工林。其中土壤有效微量元素与土壤酶活性关系的研究有助于探讨橡胶人工林地的土壤质量评价指标选定和酶学诊断可行性等问题。典型相关分析全面分析了土壤有效微量元素和土壤酶活性2组变量的相关性,得出2对典型变量。极大典型相关变量特征值占总特征值的82.12%,达极显著水平。极大典型相关变量的土壤有效微量元素综合因子和土壤酶综合因子典型变量排序图呈现很好的线性特征,可以用来表示儋州市南部植胶区橡胶人工林土壤酶活性和有效微量元素之间的关系。2对典型变量分析表明,有效锰与过氧化氢酶有正相关,有效锌、有效铜与脲酶、多酚氧化酶有正相关,这与李跃林等^[5]研究桉树人工林结果不一致,具体原因还需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 张焱华,何鹏,吴敏,等. 橡胶园土壤酶活性与土壤肥力的关系[J]. 中国农学通报,2007,23(11):375-379.
- [2] 戴伟,陈晓东. 北京低山地区土壤酶活性与土壤理化性质的关系[J]. 河北林果研究,1995,10(1):13-18.
- [3] 陈明,朱建雯,盛建东,等. 塔河中游怪柳灌丛土壤酶活性及微生物数量变化的研究[J]. 西南农业学报,2008,21(1):103-109.
- [4] 董军,栾天罡,蓝崇钰,等. 铅锌矿冶区土壤酶活性特征研究[J]. 生态环境,2005,14(5):668-671.
- [5] 李跃林,彭少麟,李志辉,等. 桉树人工林地土壤酶活性与微量元素含量的关系[J]. 应用生态学报,2003,14(3):345-348.
- [6] 罗雪华,吴小平,王文斌. 砖红壤区橡胶林地土壤硝化作用研究初报[J]. 土壤通报,2006,37(5):928-931.
- [7] 房秋兰,沙丽清. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸[J]. 植物生态学报,2006,30(1):97-103.

- [8] 邓万刚,吴蔚东,罗微,等. 垦殖橡胶对海南热带土壤有机碳的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(8):482-484.
- [9] 何向东,吴小平. 海南垦区胶园肥力演变探研[J]. 热带农业科学,2002,22(1):16-22.
- [10] 王巧环,刘志崑,王甲因. 海南农垦胶园土壤养分现状及平衡施肥[J]. 热带农业科学,1999,10(5):8-14.
- [11] 罗雪华,吴小平,王文斌. 施肥对橡胶人工林土壤脲酶活性的影响[J]. 热带作物学报,2006,27(2):39-44.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社,1987:116-267.
- [13] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986:205-286.
- [14] 赵兰坡,姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报,1986,17(3):138-141.
- [15] 鲁如昆. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [16] 李跃林,李志辉,彭少麟,等. 典型相关分析在桉树人工林地土壤酶活性与营养元素关系研究中的应用[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(5):544-549.
- [17] 崔晓东,侯龙鱼,马风云,等. 黄河三角洲不同土地利用方式土壤养分特征和酶活性及其相关性研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(4):66-69.
- [18] 侯龙鱼,刘艳,马风云,等. 典型相关分析在湿地土壤特征研究中的应用——以黄河三角洲冲积平原湿地土壤为例[J]. 中国水土保持科学,2007,5(6):47-52.
- [19] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社,1987:188-189.
- [20] Kumar V, Singh M. Inhibition of soil urease activity and nitrification with some metallic cations[J]. A ust J Soil Res,1986,24(4):527-532.
- [21] 史长青. 重金属污染对水稻土酶活性的影响[J]. 土壤通报,1995,26(1):34-35.
- [22] 李跃林,彭少麟. 桉树人工林地土壤酶活性与营养元素含量关系研究[J]. 福建林业科技,2002,29(3):6-9.