

# 运用典型相关分析对农田栽参和林下参 土壤养分和酶活性的研究

孙 海, 张亚玉, 宋晓霞

(中国农业科学院 特产研究所, 吉林 吉林 132109)

**摘要:** 为了解农田栽参和林下参土壤中起主要作用的养分和关键土壤酶以及二者关系, 准确评价两种生产模式下人参土壤肥力状况, 对不同年生农田栽参和林下参的土壤养分和土壤酶进行典型相关分析。结果表明: 两种主要生产模式下起主要作用的综合养分指标和综合酶活性指标不同, 并确定两种土壤中微量元素和酶活性之间的作用机制。农田栽参土壤第一典型相关变量中以有机质、全 N、全 P、速效 P 和有效 K 含量, 微量元素 Zn 与磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性显著相关, 二者累计贡献率达 74.2%, 其中磷酸酶影响土壤中 P 的形态, 蔗糖酶影响有机质转化及速效 NPK 的有效性, 过氧化氢酶能够加速土壤有机质分解转化, 土壤中 Zn 的含量对上述酶活性有一定的促进作用; 土壤中 Cu 影响过氧化氢酶活性; 在林下参土壤第一典型相关变量中有机质、全 P、速效 K 及 Fe 含量与磷酸酶、脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性高低关系最大, 累计贡献率达 58.0%, Fe 对 4 种酶活性呈抑制作用, 与农田栽参不同的是, 林下参中微量元素 Mn 和 Cu 的含量对蔗糖酶活性起促进作用; 沿着根系向下生长方向, 土壤养分和酶活性逐渐降低, 垂直分层明显; 将土壤酶作为人参土壤肥力评价指标, 结合土壤养分指标可以准确评价人参土壤肥力并指导农田栽参土壤改良。

**关键词:** 农田栽参; 林下参; 土壤养分; 土壤酶活性; 典型相关分析

**中图分类号:** S151.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)增刊-0242-07

## Study on the Soil Nutrients and Enzyme Activity of Cultivate Ginseng Soil in the Farmland and Wild Ginseng Soil under Forest by Canonical Correlation Analysis

SUN Hai, ZHANG Ya-yu, SONG Xiao-xia

(Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agriculture  
Sciences, Jilin 132109, China)

**Abstract** The relation between soil nutrient contents and soil enzyme activities of different years ginseng soil in Leshan cultivated farmland and ginseng soil under the forest in the Yanjiang county was studied by canonical correlations analysis to investigate its key soil enzyme activity, nutrients and the either relationship for ginseng soil fertility. The results showed that it was disparate that the importance of major nutrients and enzyme was in ginseng soil fertility and the mechanism between trace element and enzyme between the two kinds soil and in the cultivated farmland. The contents of organic matter and total nitrogen, total phosphorus, available phosphorus and available kalium, Zn had great relation with phosphatase activity, invertase activity and catalase activity and the Cumulative was 74.2%, while phosphatase activity influenced the phosphorus forms, invertase activity played an important between the transformation of organic matter and the contents and forms of nitrogen, phosphorus and kalium, Catalase activity accelerated decomposition transformation of organic matter. Only Zn content affected enzyme activity promoting the activity of phosphatase, invertase, catalase at some extent, the nutrient Cu had an effect on the catalase activity. The first canonical correlation index in the ginseng soil under forest, the contents of organic matter, total phosphorus, available kalium and Fe content had great relation with soil phosphatase activity, invertase activity, urease activity and catalase activity and the

收稿日期: 2010-10-10

基金项目: 吉林省科技厅项目 (20080905, 20090573)

作者简介: 孙海 (1983-), 男, 内蒙古化德人, 硕士, 研究实习员, 主要从事药用植物营养生理研究。

通讯作者: 张亚玉 (1968-), 女, 研究员, 主要从事药用植物营养生理与培肥研究。

Cumulative was 58.0%, however Fe content had an inhibiting effect with four kinds soil enzyme at some extent, the content of Mn and Cu had an activated effect on the invertase activity. With the ginseng growth years added, integral soil nutrient factor and integral soil enzyme decreased along ginseng root system growing direction. "Integral soil enzyme factor" can be used as a biological index of soil fertility which together with soil nutrients must be considered when the soil of cultivate ginseng soil fertility was evaluated or improved.

**Key words** Cultivate ginseng soil in farmland; With ginseng soil under forest; Soil nutrient; Soil enzyme activity; Canonical correlation analysis

人参 (*Panax ginseng* C. A. Mey) 属五加科多年生草本植物, 是吉林省特色优势中药材, 人参及其产品被视为我国中药行业的经济增长点, 为满足市场需求, 每年人工栽培人参 3 500 万  $m^{2[1, 2]}$ 。而农田栽参是目前人参产业的主要发展模式, 但存在病害重、品质差等问题<sup>[3-5]</sup>, 而林下参护育过程中具有病害轻、产品品质佳, 能在同一地点护育多年而不感病, 同时避免伐林栽参与林争地的矛盾<sup>[6]</sup>, 填补市场对高品质人参需求的空白, 但林下参护育年限长、适宜的护育林地有限限制其进一步发展扩大, 目前, 农田栽参和林下参是人参的两种主要生产方式。

人参品质优劣与其生长过程中土壤条件有着很大关系<sup>[7-9]</sup>, 土壤酶在土壤生态系统的物质循环和能量流动中起着重要的作用, 催化土壤中的所有生化反应, 其活性大小可以揭示土壤肥力状况<sup>[10, 11]</sup>。土壤养分是指土壤提供植物生活所必需的营养元素, 是评价土壤自然肥力的重要因素之一。土壤酶为生物催化剂, 能够参与土壤生态系统中诸多代谢过程, 包括土壤发生与发育、土壤肥力的形成、土壤净化等<sup>[12]</sup>。土壤酶活性是土壤生物性能的一种最稳定和最敏感的指标, 将土壤酶活性视为土壤肥力的生物活性指标早有应用, 而人参土壤肥力研究相对滞后, 将土壤酶活性作为人参土壤肥力评价指标对于客观认识和评价两种生产模式下人参土壤肥力状况至关重要。而土壤中微量元素是土壤酶的激活剂或抑制剂, 对土壤酶活性起调节作用<sup>[13-15]</sup>。前人对农田栽参地土壤养分进行了相应研究, 但缺乏系统性, 对其生长区酶活性及两者的相关研究尚属空白。据此, 本研究运用典型相关分析方法对两种人参土壤酶活性和养分指标进行筛选并引进新的“综合土壤酶活性”指标和“综合土壤养分”指标进行客观分析, 以期找出两种生产模式下人参土壤综合养分和酶活性指标, 评价二者肥力状况为农田栽参土壤改良提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤及采集方法

供试土壤样品采自吉林省长春市乐山镇农田栽

参种植基地, 采样区属于东北嫩江平原, 东经  $125^{\circ}20'$ , 北纬  $43^{\circ}30'$ , 海拔 241 m, 年降雨量 586 mm, 无霜期 151 d, 昼夜温差大, 冬季温度低, 年平均气温  $4.6^{\circ}C$ 。采样时间为 2007 年 8 月上旬, 为人参红果期, 采集地土壤类型为白浆土。结合人参生长的特殊性采用多点取样法采集土样: 芦头以上部分为表层土, 芦头以下参根周边的土壤为根层土, 参体下部的为底层土。

林下参土样采自人参之乡的抚松县露水河镇吴杰林下参基地, 采集地位于东经  $127^{\circ}46'$ , 北纬  $42^{\circ}48'$ , 海拔 520 m, 是野山参适宜生长的地域。采集按照表层、根层和底层三层进行采集土样, 将芦头以上土层定为表层, 将芦头到将整个参挖出, 边挖参边取土, 这部分为根层土壤及参根生长的下层即底层土壤, 采集时间选择在人参红果期进行。

### 1.2 分析方法

1.2.1 土壤酶活性分析 土壤脲酶采用靛酚比色法, 脲酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中  $NH_4^+-N$  的质量 (mg) 表示; 土壤碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法, 磷酸酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中释放的酚的质量 (mg) 表示; 蔗糖酶采用 3, 5-二硝基水杨酸, 以 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖的质量 (mg) 表示; 过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法, 以 20 min 后 1 g 土壤消耗的 0.1 mol/L 高锰酸钾 mL 数表示, 方法参照关松荫<sup>[16]</sup>编著的土壤酶及其研究法。

1.2.2 土壤养分元素分析 全碳和全氮用德国产元素分析仪 Vario EL III 测定, 土壤有机质使用元素分析仪测定全碳含量乘以系数 1.724; 土壤碱解氮用培养皿扩散法测定; 土壤速效磷用碳酸氢钠浸提-比色法测定; 土壤速效 K 测定用乙酸铵浸提-火焰光度法测定; 土壤 pH 采用 2.5:1 的水土比, 用雷磁 pH S-3c 型 pH 计测定, 土壤全磷用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定; 土壤全钾用氢氧化钠熔融-火焰光度法测定<sup>[17]</sup>; 用 Excel2003 和 SAS6.0 软件进行数据处理。土壤微量元素采用王水-高氯酸消煮, CP-OES 法测定, 测定仪器为美国瓦里安中国公司的 Vista PRO ICP。

1.2.3 数据分析方法 典型相关分析 (Canonical

correlation analysis)常用来研究两组变量之间相关关系的一种多元分析方法。找出表征土壤养分含量的  $m$  个线性组合和表征土壤酶的  $n$  个线性组合:

$$U_1 = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_m \dots\dots\dots (1)$$

$$V_1 = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_nY_n \dots\dots\dots (2)$$

其中  $a_1, a_2, \dots, a_n$  是典型变量  $X$  的待定系数和  $b_1, b_2, \dots, b_n$  是典型变量  $Y$  的待定系数, 使得  $U$  和  $V$  之间具有最大相关系数, 这个相关系数就是“典型

表 1 农田栽参土壤养分含量与土壤酶活性的典型相关分析

Tab 1 Soil nutrients and enzyme activity of cultivated ginseng in the farm land by canonical correlation analysis						
	土壤养分典型相关变量			土壤酶典型相关变量		
	Soil nutrients canonical variate			Soil enzyme canonical variate		
	1	2	3	1	2	3
特征值 Eigenvalue	28.324	7.029	1.992	28.324	7.029	1.992
累计贡献率 Cumulative	0.742	0.926	0.978	0.742	0.926	0.978
相关系数 $a_1$ Coefficient	0.620	-0.110	-0.107			
$a_2$	0.687	-0.073	-0.074			
$a_3$	0.812	0.203	-0.032			
$a_4$	0.103	-0.011	-0.454			
$a_5$	0.504	0.441	0.307			
$a_6$	0.753	0.139	-0.139			
$a_7$	0.883	-0.066	-0.187			
$a_8$	0.009	0.343	-0.126			
$a_9$	-0.085	-0.066	0.114			
$a_{10}$	0.266	0.509	0.01			
$a_{11}$	0.659	0.095	-0.495			
$b_1$				0.885	-0.453	0.07
$b_2$				0.951	-0.222	0.156
$b_3$				-0.505	-0.817	0.221
$b_4$				0.871	-0.111	0.478

2 结果与分析

2.1 农田栽参典型相关分析

试验测得的主要养分含量及土壤酶活性见表 1, 按照典型相关分析的方法, 将农田栽参土壤养分含量指标记作  $X(11 \times 24)$ , 将土壤酶活性指标记为  $Y(4 \times 24)$ 。而典型相关分析则是利用两个变量  $U$  和  $V(U$  为土壤养分典型变量,  $V$  为土壤酶活性典型变量)来描述变量  $X$  和  $Y$  之间的关系。 $X_1, X_2 \dots X_{11}$  依次分别为有机质、全 N、全 P、全 K、碱解 N、速效 P、有效 K 及 Fe、Mn、Cu 和 Zn,  $Y_1, Y_2, Y_3$  和  $Y_4$  分别为磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶。

经 SAS 6.0 对农田栽参土壤养分和酶活性数据统计分析, 得到  $X$  变量样本的相关阵,  $Y$  变量样本的相关阵, 以及  $X$  变量和  $Y$  变量样本的联合相关阵, 最后得到需求特征根的非负定阵, 其非零特征根 Eigenvalue 分别为 28.324、7.029、1.992、0.817。取前三对典型变量来描述, 则有累计贡献率为:  $37.345 / 38.162 \times 100 = 97.86\%$ 。表 2 中土壤养分变量典型相关系数  $U_1, U_2, U_3$  和土壤酶活性变量典型相关系

数(Canonical correlation coefficient)”, 用来表征两个线性函数之间的密切程度。典型相关分析揭示了两组指标之间存在的联系, 每组指标内容可以不同, 本研究以人参土壤养分指标和土壤酶活性指标作为研究对象, 运用 SAS 6.0 进行典型相关分析, 找出两种主要生产模式下人参土壤养分和土壤酶活性之间的相关关系。

数  $V_1, V_2, V_3$ , 即它们的第 1、2、3 特征根对应的特征向量(表 2)。

由表 1 中特征向量值可得“综合土壤养分”和“综合土壤酶”的两对典型变量, 第一对典型变量为:

$$U_1 = 0.620X_1 + 0.687X_2 + 0.812X_3 + 0.103X_4 + 0.504X_5 + 0.753X_6 + 0.883X_7 + 0.009X_8 - 0.085X_9 + 0.266X_{10} + 0.659X_{11}$$

$$V_1 = 0.885Y_1 + 0.951Y_2 + 0.871Y_3 - 0.505Y_4$$

第二对典型变量为:

$$U_2 = -0.110X_1 - 0.073X_2 + 0.203X_3 - 0.011X_4 + 0.441X_5 + 0.139X_6 - 0.066X_7 + 0.343X_8 - 0.066X_9 + 0.509X_{10} + 0.095X_{11}$$

$$V_2 = -0.453Y_1 - 0.222Y_2 - 0.111Y_3 - 0.817Y_4$$

第三对典型变量为:

$$U_3 = -0.107X_1 - 0.074X_2 - 0.032X_3 - 0.454X_4 + 0.307X_5 - 0.139X_6 - 0.187X_7 - 0.126X_8 + 0.114X_9 + 0.010X_{10} - 0.495X_{11}$$

$$V_3 = 0.070Y_1 + 0.156Y_2 + 0.478Y_3 + 0.221Y_4$$

表 2 多变量的统计值和近似的 F 值

Tab 2 Multivariate statistics and F approximations					
统计 Statistics	有效值 Effective value	F 值 F value	自由度 1 DF1	自由度 2 DF2	Pr> F
W i k s' lambda	0. 000 8	4. 539 2	44	36. 386 3	0. 000 1
p i l h i s trace	2. 956 8	3. 091 9	44	48	0. 000 1
H otelling- l aw ley trace	38. 162	6. 504 9	44	30	0. 000 1
R oy' s greatest root	28. 323 8	30. 898 7	11	12	0. 000 1

由表 1 特征相关数据可知, 农田栽参第一典型变量相关系数为 0. 982 8, F 检验也进一步说明了第一典型相关变量在  $P < 0. 01$  的水平下达到极显著相关, 而多变量多种统计中 W i k s' lambda 值均达到了极显著相关, 表明农田栽参土壤养分含量第一典型变量  $U_1$  和土壤酶活性第一典型变量  $V_1$  的关系密切联系, 而土壤养分综合因子中起主要作用的是  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_{11}$  因素, 即土壤中有有机质、土壤全 N、全 P 含量、碱解 N、速效 P、有效 K 以及土壤中  $Zn$ , 第一典型变量土壤酶活性综合因子中起主要作用的是  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_4$  因素, 即土壤磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性。由此可知, 农田栽参土壤磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性与土壤中有有机质、NPK 及  $Zn$  含量高低关系最大, 即它们之间密切相关。结果表明磷酸酶活性与 P 的转化及有效 K 密切相关, 土壤中磷酸酶活性的高低与有机磷的转化与积累有密切联系。

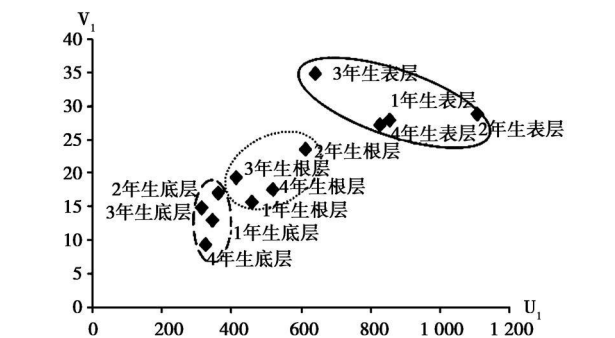


图 1 第一典型变量排序图

Fig 1 First canonical variable ordination picture

同样, 由表 1 可知第二典型变量相关系数达 0. 935 7, F 检验也表明了第二典型相关变量达到极显著相关 ( $P < 0. 01$ )。即农田栽参土壤养分含量中的第二典型变量  $U_2$  对土壤酶活性变量的第二典型变量  $V_2$  显著相关, 而第二养分综合因子含量中起主要作用的是  $X_5$  和  $X_{10}$  因素, 即土壤中碱解 N 和  $Cu$  的含量; 第二土壤酶活性综合因子起主要作用的是  $Y_4$  因素, 即过氧化氢酶活性。由此表明: 碱解氮含量的高低与过氧化氢酶活性密切相关, 且  $Cu$  含量对参地过氧化氢酶活性有抑制作用。

把 1~ 4 年生农田栽参土壤养分及酶活性原始

数据第一典型相关变量中, 将所得综合土壤养分和综合土壤酶数据进行排序, 得到农田栽参土壤第一典型变量排序图。图 1 即为“综合土壤养分含量”和“综合土壤酶活性”的排序结果, 典型变量明显积聚在三个区域, 从图的右上方开始向左下方依次为人参生长的表层、根层和底层土壤, 表明顺着人参根系生长方向土壤养分和酶活性呈逐渐下降趋势。

2 2 林下参典型相关分析

经 SAS 6. 0 对农田栽参土壤养分和土壤酶活性数据统计分析, 得到  $X$  变量样本的相关阵,  $Y$  变量样本的相关阵, 以及  $X$  变量和  $Y$  变量样本的联合相关阵, 最后得到需求特征根的非负定阵, 其非零特征根 Eigenvalues 分别为 10. 591, 4. 658, 2. 040, 0. 980。取前三对典型变量来描述, 则有累计贡献率为:  $17. 289/18. 269 \times 100 = 94. 64\%$ 。表 2 中土壤养分含量变量典型相关系数  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$  和土壤酶活性变量典型相关系数  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ , 即它们的第 1、2、3 特征根对应的特征向量 (表 3)。

由表 2 特征向量可得“综合土壤养分”和“综合土壤酶活性”的三对典型相关变量, 第一对典型相关变量:

$$U_1 = 0. 545X_1 + 0. 363X_2 - 0. 737X_3 - 0. 125X_4 + 0. 454X_5 + 0. 321X_6 + 0. 536X_7 - 0. 575X_8 - 0. 061X_9 + 0. 180X_{10} - 0. 055X_{11}$$

$$V_1 = 0. 734Y_1 + 1. 612Y_2 + 0. 754Y_3 + 0. 904Y_4$$

第二对典型变量为:

$$U_2 = - 0. 019X_1 + 0. 171X_2 - 0. 055X_3 - 0. 263X_4 + 0. 267X_5 - 0. 170X_6 - 0. 226X_7 + 0. 233X_8 - 0. 711X_9 + 0. 460X_{10} - 0. 318X_{11}$$

$$V_2 = 0. 268Y_1 + 0. 599Y_2 - 0. 381Y_3 + 0. 236Y_4$$

第三对典型变量为:

$$U_3 = - 0. 069X_1 + 0. 040X_2 + 0. 043X_3 + 0. 424X_4 + 0. 128X_5 + 0. 186X_6 + 0. 557X_7 + 0. 214X_8 + 0. 017X_9 + 0. 230X_{10} - 0. 153X_{11}$$

$$V_3 = 0. 611Y_1 - 0. 210Y_2 - 0. 012Y_3 - 0. 086Y_4$$

由表 3 特征相关数据可知, 林下参第一典型变量相关系数为 0. 955 9, F 检验也表明了第一典型相关变量达到极显著相关 ( $P < 0. 01$ ), 多变量多种统计中 W i k s' lambda 值均达到了极显著相关。也就

是说林下参土壤养分第一典型变量  $U_1$  和土壤酶活性第一典型变量  $V_1$  的关系密切,而土壤养分综合因子中起主要作用的是  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  因素,即土壤中有有机质、全 P 有效 K 及 Fe 含量;第一典型变量土壤酶活性综合因子中起主要作用的是  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 、 $Y_4$  因素,即土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶活性。由此表明,农田栽参土壤中有有机质、全 P、速效 K 及 Fe 含量高低与土壤磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶活性关系最大,即他们之间密切相关。与农田栽参不同的是林下参土壤的第一“综合酶活性指

标”中,所选择的四种酶活性都起主要作用,其中尤以脲酶活性最强,其次为过氧化氢酶、蔗糖酶和磷酸酶活性。脲酶活性显著影响林下参土壤中速效 P,林下参土壤中全 P 含量较高,但是速效 P 含量却不高,脲酶活性通过调节碱解氮的含量,进而改变土壤中酸碱度,增加土壤中速效 P 含量,但其活性受土壤中微量元素 Mn 和 Cu 的调节,对脲酶活性有正效应。分析表明土壤过氧化氢酶活性与碱解 N 和速效 P 呈正相关,与有机质、全 N 和全 K 呈负相关。

表 3 林下参土壤养分和土壤酶的典型相关分析特征值

	土壤养分典型相关变量			土壤酶典型相关变量		
	Soil nutrients canonical variate			Soil enzyme canonical variate		
	1	2	3	1	2	3
特征值 Eigenvalue	10.591	4.658	2.040	10.591	4.658	2.040
累计贡献率 Cumulative	0.580	0.835	0.946	0.580	0.835	0.946
相关系数 $a_i$ Coefficient						
$a_1$	0.545 4	0.018 5	-0.069 0			
$a_2$	0.363 2	0.171 3	0.039 7			
$a_3$	-0.736 8	-0.054 5	0.043 3			
$a_4$	-0.125 1	-0.263 4	0.423 8			
$a_5$	0.453 5	0.267 3	0.127 7			
$a_6$	0.320 8	-0.169 9	0.185 9			
$a_7$	0.535 9	-0.225 5	0.557 4			
$a_8$	-0.574 6	0.233 2	0.214 0			
$a_9$	-0.061 0	0.711 4	0.016 6			
$a_{10}$	0.180 0	0.460 4	0.230 1			
$a_{11}$	-0.055 1	-0.317 7	-0.152 8			
$b_1$				0.734 0	0.268 3	0.611 2
$b_2$				1.612 1	0.598 6	-0.209 9
$b_3$				0.754 2	-0.381 3	-0.011 8
$b_4$				0.903 6	0.235 8	-0.086 0

表 4 多变量的统计值和近似的 F 值

统计 Statistics	有效值 Effective value	F 值 F value	自由度 1 DF1	自由度 2 DF2	Pr> F
Wilks' lambda	0.002 5	5.086 3	44	59.340 75	0.000 1
Pillai's trace	2.903 0	4.330 3	44	72	0.000 1
Hotelling-Lawley trace	18.268 8	5.605 2	44	54	0.000 1
Roy's greatest root	10.590 9	17.330 6	11	18	0.000 1

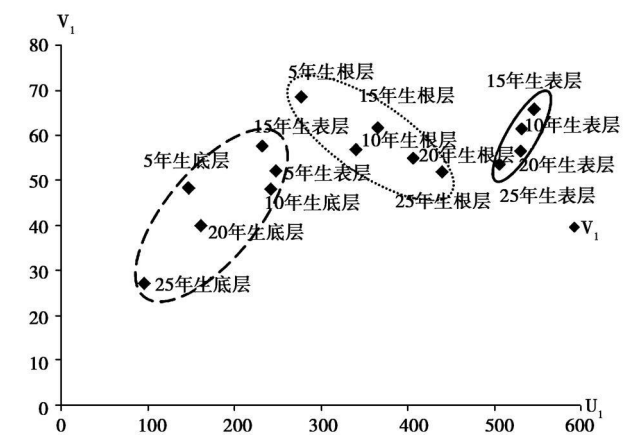


图 2 第一典型变量排序图

同样,由表 3 可知第二典型变量相关系数达 0.823 3, F 检验也表明了第二典型相关变量达到极显著相关 ( $P < 0.01$ )。即农田栽参土壤养分中的第二典型变量  $U_2$  对土壤酶活性变量的第二典型变量  $V_2$  显著相关,而第二养分含量综合因子含量中起主要作用的是  $X_5$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$  因素,即土壤中碱解 N 含量、Mn 和 Cu 的含量;第二土壤酶活性综合因子起主要作用的是  $Y_2$  因素,即土壤蔗糖酶活性。由此认为:碱解氮含量的高低与土壤蔗糖酶活性密切相关,且土壤中 Mn 和 Cu 元素含量对参地蔗糖酶活性有促进作用。

将 Q 5、10、15、20、25 年生林下参土壤养分以及土壤酶活性原始数据带入第一典型相关变量中,对

Fig 2 First canonical variable ordination picture

所得综合养分和综合酶活性数据进行排序,即为林下参土壤第一典型变量排序图(表4)。结果与农田栽参类似,典型变量明显积聚在三个区域,从图的右上方开始向左下方依次为人参生长的表层、根层和底层土壤,与农田栽参不同的是不同年生林下参表层和根层土壤酶活性差异较小。

### 3 讨论

两种生产模式下人参土壤起主要作用的养分指标和酶活性指标不同,土壤养分和酶活性之间存在显著的相关关系。在第一典型相关指标中,农田栽参和林下参土壤中磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶与有机质、P、K含量显著相关,这是两种生产模式下人参土壤酶活性和土壤养分表现相一致,表明土壤酶活性对土壤养分转化起着重要作用。不同之处在于,林下参土壤第一综合酶活性指标中脲酶活性与P、K含量呈密切相关,原因是林下参生长在森林环境中,土壤中蕴含丰厚的有机质,酶活性相应也较高,而土壤中脲酶活性直接影响有效N含量<sup>[18]</sup>,土壤中碱解N的含量一定程度上影响着土壤的pH值,进而改变土壤中其他酶活性,特别是土壤中P的形态及含量,而本研究林下参土壤中全P含量较高,但是速效P含量相对较低<sup>[19]</sup>,提高脲酶活性有助于全P向速效P的转化,以保证林下参P素供应,对土壤中P的有效性具有重要作用,这与朱平等<sup>[20]</sup>在参地土壤磷酸酶的研究相吻合。本研究中蔗糖酶和过氧化氢酶活性较高,这是因为森林土壤中有有机质含量较高,连年的枯枝落叶向着腐殖化方向进行,这个过程必然导致土壤中酶活性升高,而蔗糖酶活性与微生物数量以及土壤呼吸强度都有关系,一般情况下土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强,可以作为衡量土壤肥力高低的生物活性指标<sup>[21,22]</sup>,因此,通过土壤酶活性的研究也可客观的反映森林土壤肥力较高。农田栽参中土壤养分含量与脲酶活性并不显著,原因可能是由于农田栽参土壤改良过程主要依靠施肥来实现,一般以施加N肥为主,从而打破了土壤之间这种固有的平衡关系。

两种土壤中起主要作用的微量元素种类不同,微量元素与酶活性作用机制亦有差别。一些微量元素作为酶的辅基存在,成为调节酶活性的重要因素<sup>[23]</sup>,人参的两种土壤中“综合酶活性指标”受到不同微量元素调节,在农田栽参中Zn元素对磷酸酶、蔗糖酶以及过氧化氢酶活性有正效应,即促进作用,这与李跃林等<sup>[24]</sup>在校树人工林的研究相一致,因此,农田栽参土壤中应该适量施加Zn肥以促进

土壤中酶活性,提高土壤生物活性,有助于农田栽参地生物修复。林下参土壤中微量元素对土壤酶活性的影响与农田栽参不同,土壤中四种酶活性受Fe的抑制,具体机制尚不清楚,可能是农田栽参过程中由于施肥、大量农药化肥的施用导致的结果。

农田栽参如同其他农作物一样,存在土壤养分失衡、病害重、品质差等栽参障碍问题,上述问题产生很大程度上和土壤中生物活性物质对土壤的修复功能有密切关系。土壤酶活性和营养元素关系结合起来研究,有助于进一步揭示酶活性机理并明确其生物修复机制。因此,以综合养分“U”值来评价土壤养分供应状况,以综合土壤酶活性“V”评价土壤酶活性,将二者结合起来作为土壤肥力的评价指标,探讨并评价人参土壤肥力状况,对农田栽参土壤改良进行指导。

人参的两种主要生产模式下起主要作用的养分指标和酶活性指标不同,土壤中微量元素产生的效应也有差别,“综合土壤养分”和“综合土壤酶活性”相互影响,反映了不同模式下人参土壤肥力的差异所在。将微量元素、土壤主要养分、酶活性及其二者相关关系进行综合考虑,能够更准确评价人参土壤肥力状况。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 2005版增补本. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [2] 曹志强, 金 慧, 宋心东. 参地土壤改良及永续栽参[J]. 人参研究, 2002, 14(1): 29-35.
- [3] 赵 英, 王秀全, 郑毅男, 等. 施用化肥对人参产量性状的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(4): 56-59.
- [4] Kemaghan G, Reeleder R D, Hoke S M T. Quantification of Pythium populations in ginseng soils by culture dependent and real-time PCR methods[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 40(3): 447-455.
- [5] 孟立君, 吴凤芝. 土壤酶研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(5): 622-626.
- [6] 孟庆福. 林下参研究进展[J]. 特产研究, 2009(2): 71-74.
- [7] 刘 翔, 赵 和, 吕凤华, 等. 追施无机氮对人参产量和品质影响的研究[J]. 中草药, 1994, 25(4): 536-560.
- [8] 许永华, 刘晓红, 王 彦. 农田栽参技术要点[J]. 人参研究, 2002, 14(2): 43-44.
- [9] 李 勇, 黄小芳, 丁万隆. 营养元素亏缺对人参根分泌物主成分的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1688-1693.

[ 10] Robert E H, Allan an B C, Hoeppe l R E, *et al*. Hydro-carbon lo rem ed iation[ M ]. Law is, 1994

[ 11] Doeh an P, Haanstra L. Short and long tem effects of heavy metals on urease activity in soils[ J]. Biol Fertil Soils, 1986, 2: 213– 218

[ 12] Liliana G ianfreda, Maria A Rao. Potential of extra c e l l u l a r enzymes in rem ed iation of polluted soils: a review [ J]. Enzyme and M icrob i al Technology, 2004, 35( 4): 339– 354

[ 13] Haanstra L, Doeh an P, Oude v oshaar J H. The use of sigmoidal dose response curves in soil ecotoxiobgical research[ J]. Plant and Soil, 1985, 84: 293– 297.

[ 14] 陈 光, 于 海, 史焕之, 等. 不同供磷水平对人参干物质积累及磷素吸收利用的影响 [ J]. 吉林农业大学学报, 1997, 19(增刊): 63– 66

[ 15] Suan Sirip Ogak ik, Su ginom. Production of Ginseng in Nagano Prefecture[ J]. M em oirs of Facu lty of Agriculture of Kinki University, 1991, 24: 71– 87.

[ 16] 关松荫. 土壤酶及其活性研究法 [ M ]. 北京: 农业出版社, 1986: 273– 339

[ 17] 林大义. 土壤学实验指导 [ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 42– 123.

[ 18] 华建峰, 蒋 倩, 施春健, 等. 脲酶 /硝化抑制剂对土壤脲酶活性、有效态氮及春小麦产量的影响 [ J]. 土壤通报, 2008, 39( 2): 94– 99

[ 19] 孙 海, 张亚玉, 宋晓霞, 等. 林下参根区土壤养分状况研究 [ J]. 安徽农业科学, 2010, 30( 2): 33– 35

[ 20] 朱 平, 孙宏德, 李 军. 参地土壤酶的活性 [ J]. 土壤通报, 1991, 22( 2): 33– 34

[ 21] Jesper Luxhø i, Jakob Magid, Dagn ar Tschertq, *et al*. Dynamics of invertase, xylanase and coupled quality indices of decomposing green and brown plant residues [ J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34( 4): 501– 508

[ 22] Lijuan Yang, Tianlai Li, Fusheng Li, *et al*. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field[ J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116( 1): 21– 26

[ 23] Tabatabai M A. Effects of trace elements on urease activity in soils[ J]. Soil Biology and Biochemistry, 1977, 9( 1): 9– 13

[ 24] 李跃林, 李志辉, 彭少麟, 等. 典范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