

再论土壤条件与桉木结瘤固氮的关系*

刘国凡 邓廷秀

(中国科学院成都分院土壤室)

摘 要

桉木结瘤固氮与土壤理化因素的关系,可用多元二次回归方程表达。最佳数学模式表明:影响固氮量的主要因素是酸度,其次是有效磷与有效钾、 CO_2 与有机质、 CO_2 与有效铝的联合效应。有效磷的不足是固氮的限制因素。共生体的固氮能力在潮土和黄壤(灰岩母质除外)上最强,沙溪庙母质的各种紫色土较高,强钙质土和酸性土则低。

在前一篇报告^[1],我们探讨了四川盆地几种典型紫色土对桉木结瘤固氮的影响,阐明水热条件是影响固氮活性的重要因素。本文进一步讨论土壤理化性质与结瘤固氮的关系。长期以来,人们较多进行单因素实验,而对土壤整体的多因素实验和综合分析研究较少。为了查明综合条件下影响结瘤固氮的主要因素,以及各因素对结瘤固氮的贡献,我们应用多元二次逐步回归分析,通过电脑运算,建立一定的数学模型,以表达它们之间的复杂关系,以便采取有效措施提高共生固氮能力。

一、研究对象和工作方法

采集四川盆地不同岩层的砂页岩母质及其他母质所发育的宜林地土壤36种,进行盆栽实验,每盆栽土5—6斤,每种土2—4次重复,每盆留苗2株。实验管理除浇水保湿外,无其他措施,实验进行16个月,结束时测定植株的结瘤固定量 and 生长量。

土壤理化性质分析共13项,测定方法是^[2]: CaCO_3 ——气量法;pH——电位测定法;有机质——重铬酸钾法;全氮——硫酸铜、硫酸消化法;有效氮——扩散吸收法;全磷—— NaOH 碱熔、钼锑抗比色法;有效磷——碳酸氢钠法;全钾和速效钾——火焰光度法;阳离子交换量——醋酸铵法;颗粒分析——比重计法; CO_2 ——容量法^[3]。结果见表1。

由于土壤中各种成分含量数值的量级差异较大,为了便于比较,将原始数据进行了“规格化”变换^[4],这样就转换成同一量度的相对数值。方法是:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j(\min)}{x_j(\max) - x_j(\min)}$$

x'_{ij} 为变换后的规格化数值; x_{ij} 为实测数值; $x_j(\max)$, $x_j(\min)$ — i 为变量实测值的最大值和最小值。每个变量经变换后的变动范围在0—1之间。固氮活性的检测和固氮量的计算,前文已作过详述,不再重复。

以土壤各因素的规格化数据为自变量,以结瘤量、固氮活性和固氮量分别作为因变量,进行回归分

* 兰凌同志参加部分工作。唐时嘉、王光明、李同阳等同志曾给予帮助,在此一并致谢。

表 1 土壤
Table 1 Soil physical

土 壤 Soil	地点 Locality	代号 Code	CaCO ₃ (%)	pH	粘粒 <0.01 mm(%) Clay	CO ₂ (mg/g)	有机质 (%) O. M.
			x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
自流井组钙质紫色土	云县	自-1	13.72	8.0	48.93	0.2445	0.63
飞仙关组中性紫色土	长宁	飞-2	0.05	6.6	25.46	0.1347	0.59
巴东组碱性紫色土	云阳	巴-3	0.78	8.2	38.04	0.1940	1.13
沙溪庙组酸性紫色土	长宁	沙-1	0	5.0	50.55	0.1216	1.23
沙溪庙组微酸性紫色土	江津	沙-2	0.02	5.7	24.01	0.1766	1.34
沙溪庙组中性紫色土	内江	沙-3	0.01	6.7	28.52	0.2786	1.02
沙溪庙组钙质紫色土	内江	沙-4	1.97	8.0	38.98	0.2202	0.88
沙溪庙组碱性紫色土	江安	沙-5	0.45	8.1	41.34	0.4980	2.03
沙溪庙组碱性紫色土	江津	沙-6	0	8.1	41.31	0.2189	1.01
沙溪庙组中性紫色土	内江	沙-7	0.01	7.8	45.03	0.2078	1.06
遂宁组钙质紫色土	江津	遂-1	4.71	8.3	44.54	0.1746	0.80
遂宁组钙质紫色土	遂宁	遂-2	14.01	8.3	49.48	0.0967	0.44
遂宁组钙质紫色土	遂宁	遂-3	12.17	8.0	45.73	0.2393	0.69
遂宁组钙质紫色土	井研	遂-4	12.54	8.3	47.50	0.2238	1.04
蓬萊镇组钙质紫色土	乐至	蓬-1	8.32	8.1	26.38	0.3601	1.94
蓬萊镇组钙质紫色土	盐亭	蓬-2	9.18	8.2	27.90	0.2224	1.01
蓬萊镇组钙质紫色土	盐亭	蓬-3	4.18	8.0	31.86	0.2184	1.53
蓬萊镇组钙质紫色土	盐亭	蓬-4	12.58	8.3	57.39	0.1525	0.46
蓬萊镇组钙质紫色土	蓬溪	蓬-5	6.72	8.1	53.34	0.2738	0.90
蓬萊镇组钙质紫色土	仁寿	蓬-6	3.89	8.2	64.25	0.2597	0.85
城城岩群钙质紫色土	简阳	城-1	1.72	8.0	27.83	0.3400	1.34
城城岩群钙质紫色土	梓潼	城-2	13.15	8.2	56.12	0.2188	1.23
城城岩群钙质紫色土	梓潼	城-3	7.58	8.4	52.9	0.0866	0.35
夹关组酸性紫色土	乐山	夹-1	0	4.8	28.73	0.0569	0.69
夹关组酸性紫色土	宜宾	夹-2	0	5.1	44.05	0.1979	1.20
夹关组酸性紫色土	云县	夹-3	0.04	5.2	53.72	0.0937	0.26
灌口组中性紫色土	峨眉	灌-4	0	7.3	35.30	0.2941	1.68
全新统中性潮土	蒲江	潮-1	0	7.0	27.94	0.2528	1.24
全新统钙质潮土	金堂	潮-2	2.66	8.2	17.57	0.1019	1.34
嘉陵江灰岩钙质黄壤	峨眉	黄-1	1.54	8.0	68.75	0.3193	1.66
嘉陵江灰岩钙质黄壤	云阳	黄-2	1.40	8.1	69.51	0.3099	1.75
城城岩群中性黄壤	金堂	黄-3	0	7.1	68.96	0.2298	0.93
雅安期酸性黄壤	蒲江	黄-4	0	5.5	57.57	0.1869	1.09
雅安期微酸性黄壤	蒲江	黄-5	0.03	6.2	43.86	0.3151	1.58
雅安期微酸性黄壤	眉山	黄-6	0	5.8	53.01	0.1548	1.02
云南微酸性红壤	勐腊	红-1	0.40	5.6	34.80	0.2589	2.33

* x₃...x₅: 张洪仪等测定; x₁: 杨德芬等测定。

析。首先用一元线性和非线性回归拟合, 选择最佳方程。在此基础上选择其作用显著的几项因子, 用多元二次逐步回归法作综合分析(因为有些土壤因素与结瘤固氮是非线性的)。由于是在单因素分析基础上所作的选择, 一般不致遗漏起主要作用的因素。

多元逐步回归的基本思想和实施步骤, 在有关数量统计书上都有阐述^[4]。我们所用方程的一般式

理化性质*

and chemical property

全N (%) Total	有效N (ppm) Available	有效P (ppm) Available	全P(P ₂ O ₅) (%) Total	全K (K ₂ O) (ppm) Total	有效K (ppm) Available	代换量 (me/100g) CEC	有效 Mo (ppm) Available
x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
0.052	47	4.6	0.197	2.14	84.7	22.32	0.123
0.027	24	6.8	0.269	2.17	87.9	30.03	0.150
0.057	41	5.7	0.154	2.40	100.6	14.47	0.180
0.065	66	4.6	0.048	1.60	90.0	16.88	0.065
0.065	68	13.0	0.108	1.44	99.0	15.79	0.108
0.047	63	1.7	0.094	1.74	42.5	13.68	0.085
0.051	25	3.2	0.164	1.19	98.5	24.03	0.140
0.094	88	5.2	0.165	1.89	137.7	20.56	0.110
0.052	46	7.9	0.167	2.02	111.4	20.67	0.085
0.065	72	4.4	0.132	1.83	72.2	23.43	0.095
0.063	37	2.9	0.151	2.28	118.8	25.39	0.058
0.033	21	2.5	0.164	2.15	122.5	24.34	0.078
0.059	41	4.4	0.152	2.28	113.4	25.80	0.113
0.070	27	3.0	0.154	2.22	71.5	17.04	0.073
0.084	80	3.3	0.128	1.57	38.8	14.75	0.058
0.043	49	2.0	0.117	1.70	43.8	16.02	0.045
0.076	35	3.5	0.084	1.94	48.6	16.90	0.048
0.026	23	1.4	0.139	2.23	113.8	23.23	0.058
0.062	50	3.4	0.148	2.13	116.9	24.62	0.155
0.059	56	5.5	0.162	2.35	77.2	20.86	0.063
0.068	42	4.0	0.086	1.59	75.6	21.08	0.050
0.071	46	1.7	0.138	2.18	84.1	20.39	0.150
0.020	20	2.2	0.133	2.14	33.7	19.39	0.055
0.032	23	2.0	0.025	1.11	21.1	8.40	0.038
0.072	57	2.0	0.045	2.16	105.7	16.42	0.083
0.022	64	2.2	0.195	1.75	50.6	25.75	0.100
0.075	52	2.8	0.053	1.67	65.0	17.93	0.073
0.087	48	13.0	0.143	1.30	45.7	9.29	0.103
0.060	14	4.0	0.149	1.39	34.0	4.35	0.078
0.119	48	2.8	0.154	2.98	167.9	24.1	0.440
0.170	72	2.2	0.118	1.46	125.8	28.35	0.130
0.052	32	6.2	0.055	1.17	104.7	24.39	0.078
0.071	31	8.2	0.081	1.14	47.5	11.63	0.175
0.071	54	12.2	0.090	0.99	48.4	8.51	0.225
0.068	59	3.4	0.055	1.13	85.3	19.28	0.273
0.115	59	5.2	0.083	1.68	157.6	15.18	0.073

为:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1^2 + b_4x_1x_2 + b_5x_2^2 + \dots$$

各因子 x_1, \dots, x_m 对 y 作用的大小, 用偏回归平方和衡量。逐步回归进行到引入方程的变量均达到显著水平, 不在方程中的变量均不显著, 此方程为“最佳方程”。各变量 F 值的大小, 作为衡量各自变量对 y

值所作出的贡献。值大的作用大,为主要因素,反之为次要因素。

根据实验的要求,参考有关的资料^[1],编制了计算机程序。

二、实验结果

(一) 不同土壤的结瘤量

结瘤量见表 2, 实验说明, 结瘤与土壤类型和成土母质有一定关系。在潮土和黄壤(灰岩母质者除外)上结瘤量最高;沙溪庙母质的紫色土亦易于结瘤;城墙岩群和夹关组母质的紫色土结瘤少;有的土壤母质相同(如蓬莱镇组),而结瘤量差异较大,这是受土壤内部性质不同所影响。Bond G. 认为结瘤与土中内生菌存在情况有关。对此,前文已作过讨论。是否还有其他因素影响结瘤呢?为探讨结瘤与13个土壤理化因子的关系,作了一元线性和非线性回归分析,其中10个因素达到了极显著和显著水平,它们的排序是:有效磷(x_8)^{**}; pH(x_2)^{**}; CaCO_3 (x_1)^{**}; 有机质(x_9)^{**}; CO_2 (x_4)^{**}; 全氮(x_6)^{**}; 有效钾(x_{11})^{*}; 有效铝(x_{13})^{*}; 全钾(x_{10})^{*}; 全磷(x_7)^{*}。(**表示 $P < 0.01$, *表示 $P < 0.05$, 下同)。在此基础上,选择其中前八个因素用多元二次方程拟合,结果如下:

表 2 不同土壤中桤木的结瘤量(单位:克/盆,鲜重)

Table 2 Nodulation amount of the alder in different soils (Unit: g/pot, fresh weight)

土 壤 Soil	结 瘤 量 Nodulation amount	土 壤 Soil	结 瘤 量 Nodulation amount	土 壤 Soil	结 瘤 量 Nodulation amount
自-1	0.035	遂-3	0.102	夹-2	0.693
飞-2	1.378	遂-4	0.860	夹-3	0
巴-3	1.543	蓬-1	0.098	灌-4	1.079
沙-1	0.335	蓬-2	0.035	潮-1	3.311
沙-2	2.314	蓬-3	0.020	潮-2	1.042
沙-3	1.083	蓬-4	0.050	黄-1	0.042
沙-4	1.126	蓬-5	0.708	黄-2	0.823
沙-5	1.956	蓬-6	1.778	黄-3	2.455
沙-6	2.501	城-1	0.653	黄-4	1.644
沙-7	0.673	城-2	0.660	黄-5	1.806
遂-1	1.130	城-3	0.068	黄-6	1.294
遂-2	0.070	夹-1	0	红-1	1.042

$$\begin{aligned} \hat{y} = & -16.2852x_1 + 18.4573x_1x_2 - 2.8425x_1x_{11} - 1.2606x_2^2 \\ & - 7.0507x_2x_4 + 1.6170x_2x_9 + 2.7412x_2x_8 + 4.4169x_2x_{11} \\ & + 7.2767x_4 - 3.0334x_4x_9 + 3.2818x_4x_{11} - 7.8495x_4x_{13} \\ & + 1.6577x_8 - 3.7001x_8x_{13} - 2.8706x_{11} + 2.8529x_{13} - 0.2280 \end{aligned}$$

总相关系数 $R = 0.9769$; 总 F 值 = 24.8158; 估计标准误 $S(e) = 0.2511$; 剩余自由度 $D.F = 19$ 。 F 值较大的变量为:

$$\begin{aligned} F_{x_1} &= 19.1618, F_{x_1 x_2} = 22.5771, F_{x_2 x_4} = 18.8869, \\ F_{x_2 x_8} &= 10.7721, F_{x_2 x_{11}} = 10.9329, F_{x_4} = 34.8760, \end{aligned}$$

表 3 不同土壤中柾木的固氮活性(单位: $\mu\text{ mol/克}\cdot\text{时}$)Table 3 Nitrogen-fixing activity of the alder in different soils (Unit: $\mu\text{ mol/g}\cdot\text{h}$)

土 壤 Soil	固氮活性 N_2 -fixing activity	土 壤 Soil	固氮活性 N_2 -fixing activity	土 壤 Soil	固氮活性 N_2 -fixing activity
自-1	2.000	遂-3	22.811	夹-2	12.551
飞-2	11.575	遂-4	3.524	夹-3	0
飞-3	7.090	蓬-1	0.905	灌-4	4.176
沙-1	7.125	蓬-2	2.000	潮-1	7.531
沙-2	1.779	蓬-3	2.000	潮-2	11.129
沙-3	9.579	蓬-4	2.000	黄-1	2.000
沙-4	10.007	蓬-5	4.098	黄-2	6.823
沙-5	8.671	蓬-6	5.418	黄-3	8.859
沙-6	3.774	城-1	17.982	黄-4	8.005
沙-7	9.743	城-2	2.000	黄-5	6.335
遂-1	8.804	城-3	2.000	黄-6	10.432
遂-2	2.000	夹-1	0	红-1	13.644

$$F_{x_4x_{13}} = 23.2607, F_{x_{11}} = 11.6427, F_{x_{13}} = 11.3503$$

方程相关系数很高, F 检验说明, 某些土壤因素与结瘤关系是很显著的。对结瘤起主要作用的是 CO_2 ; 其次是 CO_2 与有效钼的配合; CaCO_3 , 以及它与酸度的配合。 CO_2 的含量表征土壤的呼吸作用强度, 主要是微生物生命活动的结果, 一定程度反映了有机残体的分解强度。 CO_2 含量的增加, 可能反映根瘤放线菌和它的伴随生物量较多^[8], 为植株感染创造了条件。钼是固氮酶的组成部分, 也是影响结瘤的重要因素, 有效钼与 CO_2 的联合效应超过了钼的单独作用。 CaCO_3 以及它与酸度的配合, 关系到土壤中多种营养元素的有效性, 影响植株的感染和根瘤量的增加。 Ca^{++} 在中性环境可增加根瘤菌的数量, 并有助于寄生细胞壁对根菌的吸附^[10]。方程表明, 酸度是影响结瘤的重要因素之一, 也反映柾木根瘤菌对酸碱生境的要求。

(二) 不同土壤的根瘤固氮活性

由表 3 看出, 各种土壤上根瘤的活性变异均较大, 不同土壤和母质类型间没有明显的规律性。而土壤理化因素与固氮活性的线性和非线性简单相关表明, 有八项因素达到极显著和显著水平。排列次序为: $\text{CO}_2(x_4)**$; 有机质 (x_5)**; 有效钾 (x_{11})**; 全磷 (x_7)**; 全氮 (x_6)**; $\text{pH}(x_2)**$; 有效钼 (x_{13})*; 有效磷 (x_8)*。将此八个因素配合多元二次方程, 结果如下:

$$\hat{y} = 23.1022x_4 - 43.2949x_4x_5 - 14.1752x_8^2 + 36.4872x_8x_9 + 2.4826$$

$$R = 0.4950, F \text{ 值} = 2.5155, S(e) = 4.7551$$

变量值如下:

$$F_{x_4} = 8.5429, F_{x_4x_5} = 7.3657, F_{x_8} = 5.9076, F_{x_8x_9} = 7.1989$$

方程表明, 土壤 CO_2 含量, 有效磷和全磷以及它们的配合, 对固氮活性的影响达到了显著水平。固氮活性 (Y) 对于 $\text{CO}_2(x)$ 的回归是指数曲线关系, 即 $y = 5.6557e^{-0.0617/x}$ 可见, 固氮活性随 CO_2 含量增加而增高。土壤 CO_2 的释放为植物光合作用提供能源, 从

而提高固氮效率^[6]。至于磷的作用,它是三磷酸腺苷(ATP)的重要成分,固氮过程中 ATP 是能量“贮库”,是固氮的基本条件之一。根瘤组织磷的含量较植株其他部分为高,也说明固氮对磷的需要。

我们注意到这一方程总的相关系数不高,达到显著水平的因子少,其余因素在综合条件下亦不起重要作用,而起重要作用的因素,例如光合作用强度、水热状况等在本实验中尚未引入,使得方程精度较差。

(三) 土壤条件与固氮量的关系

不同土壤中的固氮量见表4。统计分析结果,13项土壤理化因子中,有10项因子与

表4 不同土壤中柽木的固氮量(单位:微克/盆·时)

Table 4 Nitrogen fixation amount of the alder in different soil (Unit: $\mu\text{g}/\text{pot} \cdot \text{h}$)

土壤 Soil	固氮量 N ₂ -fixation amount	土壤 Soil	固氮量 N ₂ -fixation amount	土壤 Soil	固氮量 N-fixation amount
自-1	0.65	遂-3	21.72	夹-2	81.18
飞-2	148.86	遂-4	28.28	夹-3	0
巴-3	101.51	蓬-1	0.83	灌-4	42.05
沙-1	22.28	蓬-2	0.65	潮-1	232.72
沙-2	38.42	蓬-3	0.37	潮-2	108.23
沙-3	96.82	蓬-4	0.93	黄-1	0.78
沙-4	105.16	蓬-5	27.08	黄-2	52.41
沙-5	158.29	蓬-6	89.91	黄-3	202.98
沙-6	88.09	城-1	109.59	黄-4	122.82
沙-7	61.20	城-2	1.12	黄-5	106.78
遂-1	92.85	城-3	0.005	黄-6	125.99
遂-2	1.31	夹-1	0	红-1	132.69

固氮量的关系达到极显著和显著水平。按显著性排序是: $\text{pH}(x_2)^{**}$; $\text{CaCO}_3(x_1)^{**}$; 有效磷(x_8)^{**}; $\text{CO}_2(x_4)^{**}$; 全氮(x_6)^{**}; 有效钾(x_{11})^{**}; 全磷(x_9)^{**}; 有机质(x_5)^{**}; 有效铝(x_{12})^{*}; 全钾(x_{10})^{*}。选其中八项因素用多元二次方程拟合如下:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & -798.8137x_1 + 830.0429x_1x_2 + 22.0105x_1x_5 - 218.4568x_1x_{11} \\ & + 355.7680x_1x_{12} + 589.6509x_2 - 661.6019x_2^2 + 174.9040x_2x_8 \\ & + 674.2132x_4 - 843.2136x_4x_5 + 245.5873x_4x_{11} - 2074.8500x_4x_8 \\ & + 2040.8382x_5x_8 - 539.9845x_6x_{11} + 352.2362x_6 - 122.1549x_6^2 \\ & - 707.0985x_8x_{11} - 180.5392x_{11} + 498.1001x_{11}^2 - 24.9359 \\ & R = 0.9890, F \text{ 值} = 37.7393, S(e) = 13.7963 \end{aligned}$$

剩余自由度 $D.F = 16$

F 值大的变量如下:

$$\begin{aligned} Fx_2 &= 130.8232, Fx_2^2 = 145.9233, Fx_4 = 57.1700 \\ Fx_4x_5 &= 93.5184, Fx_4x_{11} = 85.6054, Fx_5x_{11} = 63.3909, \\ Fx_6x_8 &= 25.5529, Fx_8 = 37.7830, Fx_8x_{11} = 118.0085, \end{aligned}$$

$$F x_{11}^2 = 57.6251$$

本方程对影响结瘤固氮的因素作了综合优选,较全面地反映了土壤理化因素与根瘤固氮的关系。方程表明,影响固氮量的主要因素是酸度,其次是有效磷与有效钾配合,CO₂与有机质及CO₂与有效钼的配合。把酸度提到首要地位,它代替了前面某些因素。简单相关表明,酸度与结瘤量和固氮量皆呈抛物线相关。说明中性环境最适于桉木结瘤固氮。pH主要影响是结瘤,一旦结了瘤,固氮活性不因酸碱度而有显著变化。极端pH条件可能抑制土壤中根瘤放线菌的繁殖和感染。计算表明,固氮量高低与有效磷、钾的配合也很有关。磷的作用前已述及,增选钾引入方程,表明在固氮方面亦占有重要地位。两者配合可能有利于补偿磷的不足。至于CO₂与有机质、CO₂与钼的配合,是把影响结瘤和固氮显著的因素再次体现出来,说明其作用的稳定性。

对不同土壤的固氮能力可进行粗略的划分: I级>100, II级100—20, III级<20 微克/盆·时。从表4可以看出,固氮能力与土壤类型有一定的关系,潮土、黄壤(灰岩母质者除外)固氮能力最高;飞仙关和沙溪庙母质的紫色土亦高;而蓬莱镇、城墙岩、遂宁组和夹关组母质的土壤有高有低,一般偏低。固氮力低的土壤,pH多半过高或太低,以及有效磷缺乏。

三、讨 论

根瘤固氮能力主要取决于共生体,土壤条件对其功能有一定的、甚至是很大影响。回归分析表明,在综合条件下,由于因子之间存在着相互联系,某些因子入选,则可能代替另些因子的部分信息,由于统计检验提供了概率保证,选入的少量因子能代表本区土壤条件方程,可以用于预测。

固氮量方程所阐明的主要因素,从专业上分析是有理论基础的。本区碳酸盐土有广泛的分布,也有相当部分的酸性土壤。酸碱度影响根瘤放线菌在土中分布,也影响有机质的分解,CO₂的释放,营养的有效性等,从而影响结瘤固氮。酸度居于主要因素地位是符合实际的。有效磷在结瘤和固氮的简单相关中其相关程度排在前列,而在各自复相关方程中的贡献又都偏低,这与本区土壤有效磷普遍缺乏有关,使它成为结瘤固氮的限制因素,钾的引入可能是对磷不足的一种补偿或产生的联合效应。本文所涉及的某些单因素作用,与前人工作有一致性^[9,10],而阐明在综合条件下,不同因素在固氮中各自的贡献和地位、因子之间的交互作用、以及数学模式对固氮能力预测评价方面,更具有理论和实践意义,这又恰是前人研究的薄弱环节。

方程中的乘积变量,体现两因素的交互作用,经过回归检验,其作用超过两个单因子之和时,应是一种“联合效应”。这种组合效应有的已为实践所证明,如磷和钾,有机质和钼,碳酸钙和钼^[7]。有些组合反映因素之间的相互联系,如酸度和碳酸钙,CO₂和有机质等。而有些组合,如CO₂和有效钾,CaCO₃与有机质,全氮与有效钼等,是否生物-土壤物质交换的客观反映,生物学上能否达到方程所表达的效果,尚有待实践证明。人们过去对双因素的交互作用研究不多,方程所提供作用显著因子的信息,还是值得注意的,同时也展示电脑在土壤-生物关系研究中的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 刘国凡、邓廷秀, 1985: 土壤条件与柃木结瘤固氮的关系。土壤学报, 第 22 卷 3 期, 251—257 页。
- [2] 中国科学院南京土壤所, 1978: 土壤理化分析, 上海科技出版社。
- [3] 郑洪元、张德生, 1982: 土壤动态生物化学研究法, 科学出版社。152—153 页。
- [4] 中国科学院数学所数理统计组, 1974: 回归分析法。科学出版社。
- [5] 毛宗秀编, 1983: Basic 语言常用数理统计方法程序汇编。浙江科技出版社。155—172 页。
- [6] 陈华癸、李阜棣, 1982: 生物固定作用。植物生理生化进展, 第 1 期, 3—19 页。
- [7] 袁可能编著, 1983: 植物营养元素的土壤化学。科学出版社。
- [8] Knowlton, S. et al., 1980: Evidence that associated soil bacteria may influence root hair infection of actinorhizal plants by Frankia. Canadian journal of microbiology, 26 (8): 971—977.
- [9] Wheeler, C. T. and McLaughlin, M. E., 1983: Environmental modulation of nitrogen fixation in actinomycete nodulated plants In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Nitrogen Fixation. p. 124—142.
- [10] Dixon, R. O. D. and Wheeler, C. T., 1983: Biochemical physiological and environmental aspects of symbiotic nitrogen fixation. In: "Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems", (Gordon, J. C. et al., ed.), p. 108—172. Martinus Mijhoff publ.

FURTHER STUDY ON INFLUENCE OF SOIL CONDITION ON NODULATION AND NITROGEN FIXATION OF *ALNUS CREMASTOGYNE*

Liu Guofan and Deng Tingxiu

(Department of Pedology, Chengdu Branch of Academia Sinica)

Summary

The fitted multivariate quadratic regression equation can better express the relation between nodulation and nitrogen fixation of alder and physical-chemical factor of the soils. The best mathematical model indicates that soil pH is the main factor affecting nitrogen fixation amount. The associated effect of the available phosphorus with available potassium, the CO₂ with organic matter, or the CO₂ with available molybdenum is the secondary factor. Deficiency of the available phosphorus is the limitation to nitrogen fixation of the alder. The highest N₂-fixing capacity of the symbiont occurs in the alluvial soil and yellow earth (except the calcareous parent material); and higher in the purplish soils on Shaximiao parent material, but low in strongly calcareous and acid purplish soil.