

不同窖泥物理参数与土壤颗粒分形维数相关性研究

韩 光 张宿义 卢中明

(泸州老窖股份有限公司,四川 泸州 646000)

摘 要: 对 12 个不同窖龄的不同窖泥土壤进行分析,研究窖泥土壤颗粒分形维数与土壤物理性状的关系。结果表明,12 个不同窖龄的土壤颗粒的分形维数介于 2.6535~2.9694 之间。经多元逐步回归分析,土壤颗粒分形维数与 0.005~0.01 mm 粒径、0.01~0.05 mm 粒径、0.05~0.25 mm 粒径含量的相关关系达到极显著。土壤颗粒分形维数与容重、毛管孔隙度、<0.001 mm 粒径、0.25~0.5 mm 粒径、0.5~1 mm 粒径相关关系达到显著。窖泥土壤颗粒分形维数能定量表征窖泥土壤物理结构特征,可作为窖泥土壤物理指标的评价因子。

关键词: 窖泥; 分形维数; 土壤物理性状

中图分类号:Q93-3;TS261.4;TS262.3

文献标识码:A

文章编号:1001-9286(2011)05-0053-05

Research on the Correlations between Pit Soil Physical Parameters and Fractal Dimension of Soil Particles

HAN Guang, ZHANG Suyi and LU Zongming

(Luzhou Laojiao Co.Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China)

Abstract: 12 pit soil samples of different pit age were analyzed to discover the correlations between pit soil physical parameters and fractal dimension of soil particles. The results showed that the fractal dimension of soil particles of 12 pit soil samples ranged between 2.6535~2.9694. Through multi-dimensional gradually regression analysis, there was significant correlations between the fractal dimension of soil particles and the parameters of soil particles (0.05~0.25 mm, 0.005~0.01 mm and 0.01~0.05 mm), and there was significant correlations between fractal dimension of soil particles and soil density, capillary porosity, and the parameters of soil particles (<0.001 mm, 0.25~0.5 mm, and 0.5~1 mm). The physical structure of pit soil could be quantitatively characterized by fractal dimension of soil particles. Accordingly, fractal dimension could be used as the indicator to evaluate pit soil physical parameters.

Key words: pit soil; fractal dimension; soil properties

窖泥是一个复杂系统,是由大小、形状不同的固体组分和孔隙以一定形式连结而成的多孔介质。窖泥在微生物生长代谢过程中的不间断发育,内部的化学、生物等过程的相互影响,窖泥在形态、结构、功能等方面表现为复杂的自然体^[1]。不同级别土粒含量组成和构成的不同影响到窖泥中的微生物发酵。对土粒级别进行定量化的描述有助于评价窖泥的质量等级以及土壤在微生物发酵等方面的作用^[2]。大量的研究表明,土壤是具有分形特征的系统^[3]。窖泥作为一种特殊的土壤,分形理论可用于窖泥研究,在现有窖泥研究应用中已涉及窖泥的结构、水分的保持与溶质转移等方面,为研究窖泥性质提供了一个有效思路。

针对泸州老窖不同发育时期的窖泥,研究不同窖泥土壤颗粒的分形维数及其与土壤粒级含量、结构的相关

性,旨在探讨用土壤颗粒分形维数来定量、表征不同窖龄的窖泥特征。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

泸州位于四川盆地南缘与云贵高原的过渡地带,土壤以紫色土和山地黄壤分布为主,地处东经 105°08'41~106°28',北纬 27°39'~29°20',东西宽 121.64 km,南北长 181.84 km,幅员 12243 km²。泸州北部为淮南亚热带季风性湿润气候,南部山区气候有中亚热带、北亚热带、南温带和北温带气候之分,具有山区立体气候特点。年平均气温 17.1~18.5℃,年平均降雨量 748.4~1184.2 mm,日照 1200~1400 h,无霜期 300~358 d。

1.2 土样分析与研究方法

收稿日期:2011-02-12

作者简介 韩光(1982-)男,四川成都人,硕士,四川省白酒评委,研究方向为酿酒微生物。

优先数字出版时间 2011-03-11 地址 <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1051.TS.20110311.1042.000.html?uid=>

表 1 不同窖龄的窖泥土壤相关性状

窖龄	容重(g/cm ³)	非毛管孔隙度(容积 %)	毛管孔隙度(容积 %)	总孔隙度(容积 %)	颗粒组成分形维数(D)
400 余年窖底泥	1.9681	1.0971	43.2437	44.3408	2.9694
400 余年窖壁泥	1.9166	1.1767	43.8949	45.0716	2.9216
300 余年窖底泥	1.9549	1.8751	42.5454	43.9205	2.9474
300 余年窖壁泥	1.9428	1.4502	41.8225	43.2727	2.9149
200 余年窖底泥	1.8533	1.1305	41.9459	42.5764	2.8777
200 余年窖壁泥	1.8667	1.2338	41.1286	41.7624	2.8185
100 余年窖底泥	1.8769	1.3886	39.7211	41.4097	2.8364
100 余年窖壁泥	1.8021	1.4346	38.8406	40.6752	2.7767
40 余年窖底泥	1.8500	1.3540	39.5231	41.9755	2.7499
40 余年窖壁泥	1.7322	1.3723	39.2056	40.9779	2.7284
人工窖底泥	1.7459	3.6611	39.3042	41.7653	2.6535
人工窖壁泥	1.7348	3.5889	39.0293	41.6182	2.6549

窖泥土壤样来自泸州老窖,其中 430 余年窖龄老窖泥取自下云沟国窖班 3 个窖池的混合样;300 余年窖龄窖泥样取自云沟头下 6 组中 3 个窖池的混合样;200 余年窖龄窖泥样取自小市新街子中 3 个窖池的混合样,100 余年窖龄窖泥样取自罗汉 14 组中 3 个窖池的混合样,40 余年窖龄窖泥取自罗汉基地实验组中 3 个窖池的混合样;人工窖池取自人工培养窖泥的混合样。

选择不同窖龄的窖池进行取样,取上层 0~20 cm 土样,风干后均匀混合,同时用 100 cm³ 环刀取样测定土壤容重和孔隙度,用干筛法测团聚体组成,用比重计法测定土壤颗粒组成。

土壤颗粒中粒径 r 小于特定测量尺度 R 的累积土壤重量 $W(r<R)$ 与 R 之间的分形关系式为^[2]:

$$(R/R_{\max})^{3-D}=W(r<R)/W_0$$

式中, $R_{\max}$ 为最大土粒的粒径大小, W_0 为各粒级重量的总和, D 为分形维数。

2 结果与分析

2.1 窖泥颗粒分形维数 D 与窖泥孔隙度、容重的关系

不同窖池的不同部位,同一窖池的不同部位因发酵过程中生物及化学反应的作用,窖泥的物理性质均表现出差异性。对不同窖龄的窖泥土壤相关性状进行研究,结果见表 1。

由表 1 可知,不同窖龄的窖泥容重变化不大,人工窖泥容重较小,通过微生物的作用,窖泥的密度向着增大的趋势进行发育。非毛管孔隙度变化无明显规律性,但通过多年发酵培养的窖泥与人工窖泥相比,非毛管孔隙度较小,说明在微生物的作用下,窖泥保水能力增强。从毛管孔隙度及总孔隙度可知,窖龄较长的窖池,土壤保水性能越好,土壤保水能力的增强有利于微生物的生长繁殖和代谢^[3]。

土壤孔隙度、容重大小和分布表征了窖泥结构的差异。将分形维数 D 与总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙

度进行线性回归分析和多元逐步回归分析,结果见图 1。图 1 结果表明,分形维数 D 与毛管孔隙度和容重的相关性较高。

窖泥土壤孔隙度及容重随着土壤分形维数的变化而变化,其中容重与分形维数之间存在显著正相关($P=0.011$),孔隙度与分形维数之间也存在显著正相关($P=0.007$),孔隙度是窖泥土壤保水性能的象征。因此,分形维数是影响窖泥土壤孔隙度的重要因子;分形维数的测定也为土壤物理性质表征提供了一个新的指标。

2.2 窖泥分形维数与窖泥质的类型关系

窖泥物理性质是窖泥的本质属性和特殊功能,它反映了窖泥土壤系统本身的物质成分、结构和土体构型,以及土壤各种性质。窖泥土壤颗粒组成直接影响到窖泥的某些物理性质和化学性质,如窖泥土壤通透性、土壤养分含量等都有很大的影响,分形维数可以表征窖泥土壤颗粒大小和质地组成的均匀程度,这就为利用分形维数研究土壤物理性质提供了可行性。

对不同窖龄的窖泥粒径的分布进行分析,结果见表 2。

由表 2 可知,随着窖泥使用年限的不断增加,窖泥土壤粒径在不断发生变化。发酵微生物作用时间越长,0.05~0.005 mm 范围内的土壤颗粒较为集中。而发酵微生物作用时间较短的,1~0.05 mm 范围内的土壤颗粒较为集中。随着发酵微生物作用时间的延长,土壤颗粒向着粒径微小化发展^[4]。微生物在发酵过程中,对大的窖泥土壤颗粒进行分解,形成了微细的颗粒,单独的土壤微细颗粒,要结合成具有一定形状与大小的土壤结构单位,常需要某种微生物胶结剂把颗粒结合在一起,胶结剂形成中微生物的作用占有很重要的地位。团粒结构的形成是微生物活动所形成的土壤矿物颗粒,在适当条件下转化成为窖泥土壤的水稳性团粒。这种水稳性结构的形成,是由于窖泥中游离的有机质被微生物分解,留下了难分解的

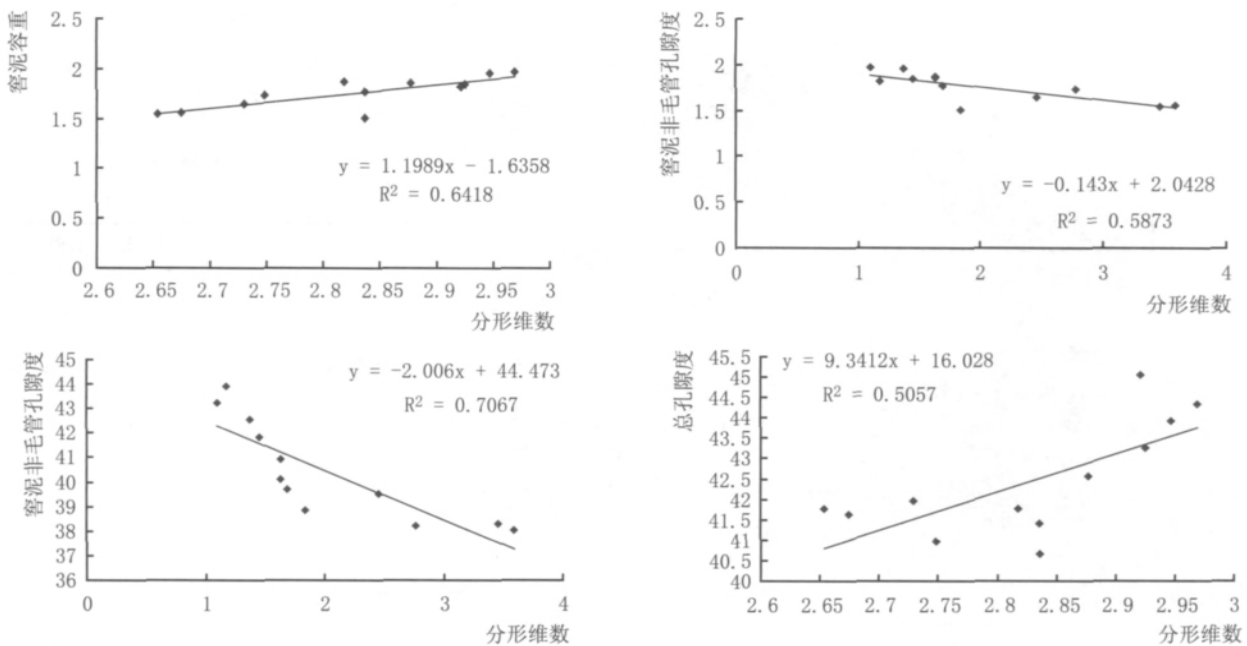


图1 窖泥颗粒分形维数D与窖泥孔隙度、容重的关系

表2 不同窖龄的窖泥粒径的分布

表2 不同窖龄的窖泥粒径的分布								(mm)
窖龄	窖泥粒径的分布							颗粒组成分形维数 (D)
	<0.001		0.005~0.01		0.05~0.25	0.25~0.5	0.5~1	
400 余年窖底泥	3.83	21.97	17.93	33.27	14.39	0.79	2.17	2.9694
400 余年窖壁泥	3.60	20.26	17.34	31.26	14.72	2.88	4.35	2.9216
300 余年窖底泥	3.22	19.25	16.48	28.23	15.05	2.79	4.85	2.9474
300 余年窖壁泥	3.19	19.60	17.26	29.22	16.40	3.24	5.93	2.9149
200 余年窖底泥	3.62	17.52	15.77	23.26	18.65	6.87	6.25	2.8777
200 余年窖壁泥	3.75	14.45	17.74	22.67	16.56	9.86	7.32	2.8185
100 余年窖底泥	3.51	16.61	13.64	17.02	21.31	7.02	8.13	2.8364
100 余年窖壁泥	2.93	16.89	16.04	17.28	21.89	7.28	8.97	2.7767
50 余年窖底泥	3.02	16.26	14.05	13.42	23.85	10.23	8.54	2.7499
50 余年窖壁泥	2.32	15.97	14.86	13.03	23.74	10.79	9.07	2.7284
人工窖底泥	2.55	13.43	13.75	10.10	33.56	12.10	10.41	2.6535
人工窖壁泥	2.28	13.58	13.37	11.58	33.32	11.58	10.67	2.6549

残余部分和土壤矿质部分相互作用形成了有机矿质的复合物而胶结成窖泥土壤的颗粒。窖泥中颗粒物质的形成，保持了窖泥土壤的结构状态，正常的土壤孔隙与土壤胶体的形成，为窖泥微生物的生长繁殖提供了前提条件。这样的窖泥土壤结构，可以有效地改善窖泥土壤的水分和气体环境，给窖泥微生物活动及养分转化创造了环境条件。图2为窖泥分形维数与窖泥泥质的类型关系。

单因素方差分析结果表明，不同窖龄质地与窖泥分形维数之间的差异均达到显著水平(P=0.014)，说明土壤质地类型对分形维数的作用有显著差异。同一窖池也因部位不同，土壤质地不同，其分形维数也有所差异，分形维数呈现430余年窖龄>300余年窖龄>200余年窖龄>100余年窖龄>40余年窖龄>20余年窖龄。土壤分形维数与粘粒含量呈强显著正相关(P=0.001)，而与砂粒含量成显著负相关(P=0.003)。在维数上表现出粘粒含量

越高，其分形维数越高，土壤砂粒含量越高，土壤粒径分布的分形维数越低^[5]。

窖泥分形维数与窖泥土壤孔隙度、容重、窖泥质的与颗粒组成存在相关性。窖泥分形维数可作为窖泥土壤物理性质的表征指标。

2.3 通径分析

为研究影响窖泥物理性质各因子与窖泥分形维数间最直接、最重要的因子，将与窖泥物理性质包括孔隙度及土壤质的各因子，参照《试验与统计分析》进行通径分析。容重为X1，非毛管孔隙度为X2，毛管孔隙度为X3，总孔隙度为X4，<0.001mm粒径为X5，0.001~0.005mm粒径为X6，0.005~0.01mm粒径为X7，0.01~0.05mm粒径为X8，0.05~0.25mm粒径为X9，0.25~0.5mm粒径为X10，0.5~1mm粒径为X11。窖泥土壤物理性质的通径分析结果见表3。

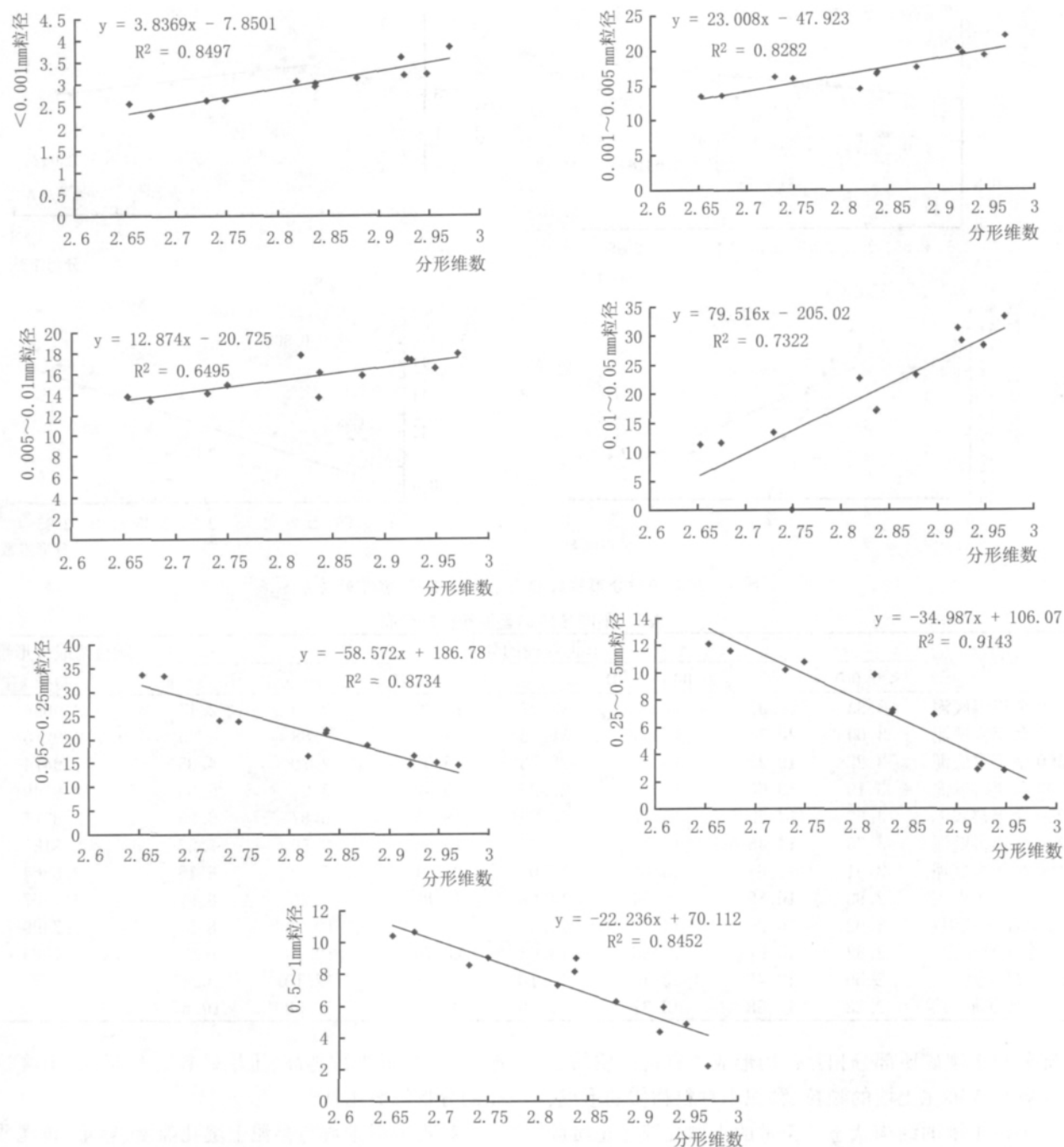


图2 窖泥分形维数与窖泥质的类型关系

表3 窖泥土壤物理性质的通径分析

因子	直接	→X1	→X3	→X7	→X8	→X9	→X11	→X5×X5	→X7×X7	→X9×X9	→X10×X10
X1	-0.26		-0.74	0.84	1.06	2.33	0.24	-0.14	-1.14	-1.67	0.35
X3	-0.80	-0.24		0.81	1.08	2.46	0.25	-0.14	-1.13	-1.80	0.39
X7	1.06	-0.21	-0.61		0.99	2.50	0.21	-0.12	-1.47	-1.86	0.32
X8	1.13	-0.25	-0.77	0.93		2.60	0.25	-0.14	-1.30	-1.91	0.40
X9	-2.93	0.21	0.67	-0.90	-0.99		-0.23	0.12	1.24	2.28	-0.40
X11	-0.26	0.24	0.77	-0.85	-1.08	-2.58		0.14	1.19	1.91	-0.39
X5×X5	-0.15	-0.24	-0.75	0.85	1.08	2.33	0.24		-1.19	-1.66	0.38
X7×X7	-1.47	-0.21	-0.62	1.06	0.99	2.48	0.21	-0.12		-1.84	0.32
X9×X9	2.304	0.19	0.63	-0.86	-0.93	-2.92	-0.22	0.11	1.18		-0.39
X10×X10	-0.454	0.2	0.70	-0.76	-1.00	-2.61	-0.23	0.12	1.03	2.01	

容重、毛管孔隙度、 <0.001 mm 粒径、 $0.005\sim 0.01$ mm 粒径、 $0.01\sim 0.05$ mm 粒径、 $0.05\sim 0.25$ mm 粒径、 $0.25\sim 0.5$ mm 粒径、 $0.5\sim 1$ mm 粒径 8 个因子相关性达到显著。其中 $0.005\sim 0.01$ mm 粒径、 $0.01\sim 0.05$ mm 粒径、 $0.05\sim 0.25$ mm 粒径 3 个因素的相关性较高。直接系数分别为 1.0594、1.1264、-2.9371。

通过窖泥相关物理因素的分析,建立数学模型对窖泥分析维数进行评价。将窖泥分形维数作为窖泥土壤物理性质的表征指标,通过对分析维数的评价实现对窖泥物理性质的评价。

$$Y=5.214-0.2833X_1-0.0419X_3+0.0663X_7+0.0148X_8-0.0468X_9-0.0109X_{11}-0.002X_5\times X_5-0.003X_7\times X_7+0.001X_9\times X_9-0.001X_{10}\times X_{10}$$

表 4 窖泥分析维数模型因子的检验

项目	偏相关	t 检验值	p-值
$r(y, X_1)=$	-0.9895	6.8359	0.0207
$r(y, X_3)=$	-0.9985	18.0218	0.0031
$r(y, X_7)=$	0.9543	8.1936	0.0056
$r(y, X_8)=$	0.9957	10.7330	0.0086
$r(y, X_9)=$	-0.9940	9.1203	0.0018
$r(y, X_{11})=$	-0.9917	9.7359	0.0163
$r(y, X_5\times X_5)=$	-0.9637	9.6120	0.0088
$r(y, X_7\times X_7)=$	-0.9736	11.2662	0.0078
$r(y, X_9\times X_9)=$	0.9927	8.2372	0.0144
$r(y, X_{10}\times X_{10})=$	-0.9948	9.7767	0.0103

2.4 趋势面分析

在窖泥孔隙度及土壤质的等因子中选择 $0.005\sim 0.01$ mm 粒径、 $0.01\sim 0.05$ mm 粒径、 $0.05\sim 0.25$ mm 粒径等 3 个相关性最高的因素,建立趋势面,进行分析,结果见图 3。

趋势面方程:

$$Z=299.74+651.44\times X-198.66\times Y_1+437.02\times X^2-259.27\times X\times Y_1+39.28\times Y_2^2+64.7224\times X-65.33\times X^2\times Y_2+21.06\times Y_1^2-2.22\times Y_1^3$$

标准差 =40.438; $F=0.0478$; $P=0.0083$; 拟合度 =67.70%。

$0.005\sim 0.01$ mm 粒径为 X , $0.01\sim 0.05$ mm 粒径为 Y_1 , $0.05\sim 0.25$ mm 粒径为 Y_2 , 窖泥分析维数为 Z 。

趋势面方程能较好地反映窖泥分析维数与 $0.005\sim 0.01$ mm 粒径、 $0.01\sim 0.05$ mm 粒径、 $0.05\sim 0.25$ mm 粒径

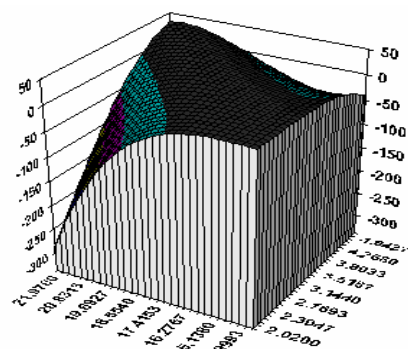


图 3 不同粒径的趋势面分析结果

等 3 个相关性较高因素与窖泥分形维数之间的关系,模型拟合达到显著,因此可将窖泥分形维数作为窖泥物理性质的评价参数之一。

3 结论

3.1 窖泥分形维数呈现 430 余年窖龄 > 300 余年窖龄 > 200 余年窖龄 > 100 余年窖龄 > 40 余年窖龄 > 20 余年窖龄的趋势。

3.2 通过对窖泥孔隙度和容重的研究,分形维数是影响窖泥土壤孔隙度的重要因子;分形维数的测定也为土壤物理性质表征提供了新的指标。

3.3 窖泥分形维数与窖泥土壤窖泥质的颗粒组成存在着相关性。分析证明,分形维数可作为窖泥土壤物理性质的表征指标。

3.4 通过对窖泥相关物理因素的分析,建立数学模型对窖泥分析维数进行评价,模型拟合达到显著。因此,可将窖泥分形维数作为窖泥物理性质的评价参数之一。

参考文献:

- [1] 周先容,陈劲松.川西亚高山针叶林土壤颗粒的分形特征[J].生态杂志,2006,25(8):891-894.
- [2] 廖尔华,张世熔,邓良基,等.丘陵区土壤颗粒的分形维数及其应用[J].四川农业大学学报,2002,20(3):242-245.
- [3] 叶雅杰,罗金明,许林书.松嫩平原盐碱地土壤颗粒分形维数研究及其应用[J].长春师范学院学报(自然科学版),2005(7):103-106.
- [4] 张世熔,邓良基,周倩,等.耕层土壤颗粒表面的分形维数及其与主要土壤特性的关系[J].土壤学报,2002(2):221-226.
- [5] 梁士楚,董鸣,等.英罗港红树林土壤粒径分布的分形特征[J].应用生态学报,2003(1):11-14.

“大富豪”4 人成国家级酿酒师

本刊讯:由中国酿酒工业协会啤酒分会组织的首批啤酒酿酒师国家职业资格鉴定名单最近揭晓,通过一级(高级)酿酒师鉴定的有 142 人、二级酿酒师 176 人、三级(助理)酿酒师 89 人。其中江苏大富豪啤酒有限公司 4 人榜上有名:公司总经理胡金成、公司总经理助理兼南通分公司、启东分公司总经理曹文勇、苏州分公司副总经理刘海军 3 人通过一级(高级)酿酒师鉴定,通州分公司副总经理李德超通过二级酿酒师鉴定。(张瑞胜文,小小荐)

来源:华夏酒报 2011-4-13