

• 论著 •

山西耕作土壤样品磁性空间分异及其环境意义^{*}

江苏省扬州大学环境科学与工程学院 (江苏 扬州 225009) 陈满荣
上海华东师范大学河口海岸国家重点实验室 (上海 200062) 俞立中 张卫国 许世远
山西省太原市农业科学研究院土壤肥料研究所 (山西 太原 030031) 杨治平
山西省太原市土地管理局 (山西 太原 030024) 张永吉
Telford Institute of Environmental Systems, Department of Environmental Resources,
University of Salford, Salford M6 6PU, UK S.M. Hutchinson

摘要: 本文分析了山西高原土壤耕作层(0–20cm) 25 个样品的磁性, 用 GIS 空间分析方法, 得出土壤磁化率平面分布等值线图 and 空间三维模型。磁化率空间分布机理如下: 首先, 强烈的人为影响使土壤中磁性矿物人为来源占有重要地位。第二, 土壤磁性矿物以亚铁磁性的磁铁矿和磁赤铁矿为主导。第三, 土壤磁化率极值差及其与母质之间的差异均受广泛而较均一的黄土母质的影响。第四, 晋西北和晋中等区域出现土壤磁化率高值区域。第五, 人为作用强烈影响掩盖了气温、降水等气候因子对土壤磁化率的作用。

关键词: 磁化率; 环境磁学; 土壤磁学; 山西

A Study on the Mechanism of Spatial Distribution and Environmental Meanings of Magnetic Characters of Farming Soil Samples in Shanxi

CHEN Man-rong, YU Li-zhong, YANG Zhi-ping, et al

Environmental Science and engineering college, Yangzhou University, Jiangsu Yangzhou, 225009

State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, ECNU, Shanghai, 200062

Institute of Soil and Fertilizer, Shanxi agricultural Science Academy, Taiyuan 030031

Shanxi land management Bureau, Taiyuan 030024

Telford Institute of Environmental Systems, Department of Environmental Resources, University of Salford, Salford M6 6PU, UK

ABSTRACT: Magnetic susceptibility and other parameters were analyzed for 25 surface (0–25 cm) cultivated soil samples from Shanxi highland, by GIS (geographic information system) spatial analysis, achieved the contour map of magnetic susceptibility and three dimension model. The distribution mechanism of magnetic susceptibility as follows: first, magnetic minerals from human activity in soils play an important role; secondly, soil magnetic minerals are mainly ferromagnetism, i. e. magnetite (Fe_3O_4) & maghemite (Fe_2O_3), the crystal sizes of magnetite are single domain (SD), Multi-domain (MD) & Superparamagnetic (SP), concurrence; thirdly, effects from the same parent material—loess, so soil magnetic susceptibility has less difference (maximum and minimum) in this area; fourthly, the special parent material and energy/heavy chemistry industry distribution affect soil magnetic susceptibility, so higher value area in the northwest and middle; lastly, human activity effect is so intensive that the influence of air temperature, precipitation, etc. on soil magnetic susceptibility was masked.

Key words: Magnetic Susceptibility; Environmental Magnetism; Soil Magnetism; Shanxi

土壤磁化率等磁性特征是土壤磁性测量的重要参数之一。土壤磁化率研究对于认识土壤形成过程、土壤特性、土壤分类、土壤调查等都有重要意义^[1–4]。

早在 1955 年, 国外学者 Le Borgne^[5] 就对土壤剖面磁化率进行研究, 得出表土磁性增强的结论并对其机理进行分析。20 世纪 70 年代有研究总结了以前的大量工作, 提出土壤磁化率测量作为识别特殊土壤形成过程的依据^[6]。Mullins^[4] 对土壤磁化率的研究认为, 在一个母质相当均一的区域, 它可以作

为土壤形成过程的指示。气候对磁化率影响的研究^[7] 认为: 在排水良好、存在干热季节的气候条件下, 磁性矿物向亚铁磁性转化, 伴随较高的磁化率。应用磁化率来评估土壤时间序列一致性^[8]、确定土壤界限^[9, 10]。国内, 对我国土壤尤其是热带、亚热带土壤磁化率和其他磁性特征测定和分析应用的研究^[2, 3]、对中国东北土壤磁化率的研究^[11, 12]、以及近年来对玄武岩发育土壤磁化率的研究^[13] 等, 对进一步探讨土壤磁化率及相关磁性的机理、推动土壤磁性的应用等方面有重要意义。

* 国家自然科学基金(49871068/40131020/40001020); 江苏省教育厅项目(Sk0410186)

作者简介: 陈满荣(1961–), 理学博士, 主要从事自然地理、土壤学、环境磁学、GIS 等方面教学和研究。E-mail: manrongchen@yahoo.com.cn

通讯作者(corresponding author) 俞立中, 教授 ME-mail: lzyu@ecnu.edu.cn.

收稿日期: 2006–01–16, 接受日期: 2006–02–08

1 实验材料与方法

我们采集了山西高原耕作土壤表层(0- 20cm) 样品 25 个, 所有土样分别属于三个地带性土壤类型, 其中褐土样品 18 个, 栗褐土样品 5 个, 栗钙土样品 2 个^[4] (按照中国土壤系统分类, 属于淋溶土纲干润淋溶土亚纲, 干润淋溶土土类^[5])。选取粉煤灰和黄土母质两个样品作磁性分析和基本理化性质测定(参表 1), 粉煤灰取自太原钢铁公司, 黄土母质采集于隰县午城镇, 地层时代属于早更新世(Q1) 午城黄土。取样点全部采用 GPS 定位。

1.1 磁性测量:

样品的磁性测量在华东师范大学河口海岸国家重点实验室完成。所有样品干燥后磨碎(以不损伤自然颗粒为度), 称重后装入特制的样品盒, 进行磁性测量。磁性测量项目包括: 1) 低频(470HZ) 和 高频(4700HZ) 磁化率; 2) 非滞后剩磁(交变

场峰值为 100mT, 稳定磁场 0. 04mT); 3) 在磁场强度 20mT、300mT 中获得的等温剩磁(IRM 20mT, IRM300mT); 4) 饱和等温剩磁(磁场强度为 1T)。所用仪器分别为 BartingtonMS2 磁化率仪、Molspin 交变退磁仪、脉冲磁化仪和旋转磁力仪。据此计算了单位质量磁化率(χ)、饱和等温剩磁(SIRM)、非滞后剩磁(ARM)、F300mT、‘软’剩磁(soft)、‘硬’剩磁(hard)等参数, 及 $\chi_{fd}\%$ 、SIRM/ χ 、SIRM/ ARM 等比值参数。

1.2 铁的总量分析, 采用 HNO₃- HF- HClO₄ 分解法处理样品^[6], 然后用 ICP- AES Plasma 2000(Perkin- Elmer U. S. A) 分析测试。

1.3 激光粒度分析仪器 LS 100Q 激光粒度仪。

1.4 有机质含量测定采用丘林法。

1.5 pH 值测定采用 PHS- 3C 精密 pH 计, 土水比为 1: 5。

1.6 三氧化二铁的测定采用化学分析方法, 分光光度计测定^[7]。

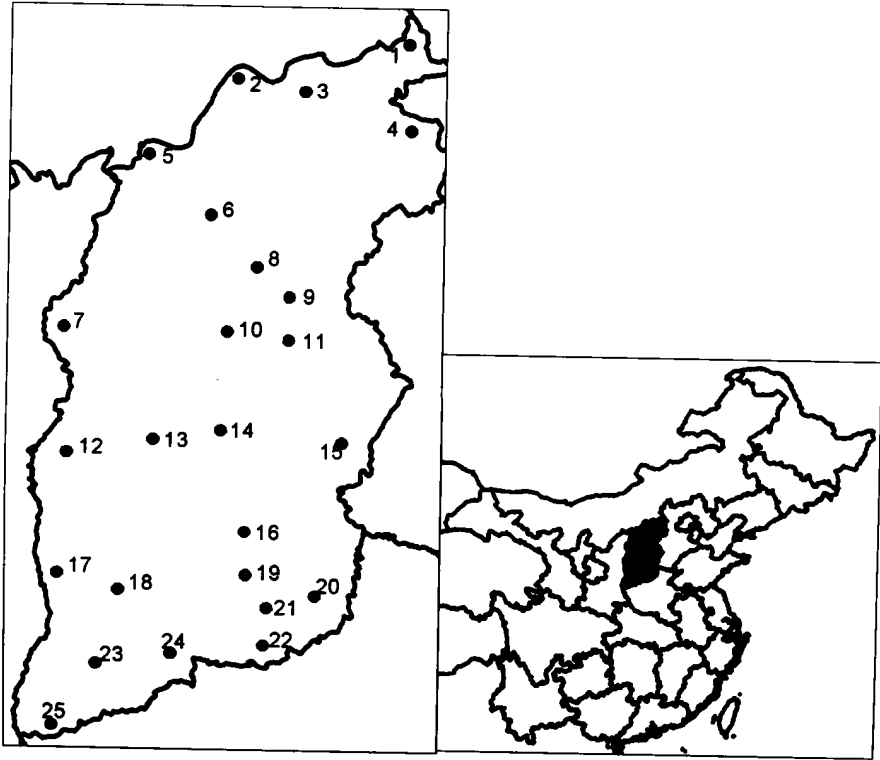


图 1 山西土壤磁性研究采样位置示意图

Fig. 1 The location of sapling and research area

表 1 黄土母质样品和粉煤灰样品特性

Table 1: The general characteristics of loess sample and bottom ash of coal combustion

样品	粒径(μm) *	全铁(%)	Fe ₂ O ₃ (%)	pH
午城黄土	20- 80(45)	1. 25	3. 46	8. 5
粉煤灰	500- 7000(3800)	8. 56	15. 31	9. 8

* 粒径: 粒径范围(平均粒径)

2 结果与讨论

2.1 土壤磁性矿物分析结果

2.2 土壤中的磁性矿物

土壤作为一个开放而复杂的自然体系, 其中包含各种磁行为类型物质^[3, 18], 主导土壤磁性的物质主要是亚铁磁性的磁赤铁矿、磁铁矿和钛磁铁矿^[1, 4]。土壤中最常见的铁氧化物和它们的磁性状态, 及其发生和分布的环境存在密切的联系^[9]。

表 2 山西高原土壤磁性分析结果
Table 2: The measurement result of soil magnetism in Shanxi province, China

样品号	χ_{lf} $10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	χ_{fd} %	SIRM $10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$	SIRM/ χ 10^{-2}A/m	ARM $10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$	hard $10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$	soft $10^{-6} \text{Am}^2 \text{kg}^{-1}$	F300mT %	SIRM/ ARM
1	151.8084	1.9131	10464.9091	6.89350	76.2066	566.7373	1663.4864	94.5844	137.3229
2	55.8481	3.1223	8772.9364	15.70865	44.8369	1045.9734	1037.5535	88.0773	195.6633
3	48.8187	1.8600	7120.8051	14.58624	36.4375	921.9782	935.1393	87.0523	195.4252
4	96.3947	3.6664	9305.9356	9.65399	45.0689	572.0728	1397.9960	93.8526	206.4824
5	50.2311	2.2806	7357.9527	14.43508	49.6090	589.0416	942.3098	91.9945	148.3189
6	124.8827	6.4451	18223.7703	14.59154	237.7335	711.8883	2337.4565	96.0936	76.6563
7	89.4467	4.5989	14884.0551	16.70622	177.5612	838.2788	1737.8316	94.3679	83.8249
8	73.6984	3.6654	10571.9548	14.34488	77.0784	932.7146	1506.7630	91.1775	137.1585
9	85.0958	4.4175	13927.1312	16.36641	193.6722	736.4653	1729.4563	94.7120	71.9108
10	77.8518	8.6564	8378.6736	10.76234	142.8960	888.3134	1530.2437	89.3979	58.5979
11	93.5680	7.7542	12575.2104	13.43965	165.6207	1215.1401	2246.0831	90.3370	75.9278
12	74.7321	5.0063	11532.8013	15.43096	148.7871	765.8475	1454.7766	93.3594	77.5121
13	90.9068	7.0782	11789.4927	12.96877	157.9402	1203.6256	2096.9229	89.7907	74.6453
14	169.4464	9.1033	19174.7178	11.31609	361.9282	2278.3982	4379.5351	88.1177	52.9793
15	67.6767	3.3967	10583.6852	15.63860	84.7824	607.7817	1265.3157	94.2574	124.8335
16	186.2388	8.9191	24291.2858	13.04309	377.1426	2170.1922	5617.6486	91.0660	64.4088
17	63.5547	1.5987	9276.2606	14.59451	63.0882	488.8009	1099.2229	94.7306	147.0364
18	74.5303	6.7149	10573.2268	14.18647	134.6799	1074.3552	1813.8760	89.8389	78.5063
19	85.8815	7.9025	10611.5510	12.35604	164.3784	1020.9523	2077.2013	90.3789	64.5556
20	98.2796	4.5055	10422.2270	10.60466	37.9491	640.1195	1395.2334	93.8581	274.6370
21	68.7622	7.6750	9142.0511	13.29516	121.6477	817.1373	1477.6660	91.0618	75.1519
22	79.4887	5.4155	12407.4481	15.60907	158.9523	473.6013	1476.8740	96.1829	78.0577
23	110.8572	8.8639	13690.1717	12.34938	245.7626	1529.8019	2885.6332	88.8255	55.7049
24	45.5061	2.0452	7583.8475	16.66650	51.0026	495.2048	1020.8828	93.4703	148.053
25	85.9284	5.1954	13793.0215	16.05178	200.2661	821.2226	1704.6184	94.0461	68.8735
平均	89.97736	5.275644	11858.20487	13.66996797	142.1956373	936.225797	1873.189044	92.025252	110.9951244
标准差	35.528805	2.494081	3998.605744	2.413949686	93.29000985	466.2230451	1065.038646	2.666725543	58.4097208
母质	32.8971	1.2597	2318.5241	7.04781	52.9807	3801.0033	906.4531	82.4437	43.7617
粉煤灰	1056.8107	1.7655	281033.5	26.59261	308.7698	26288.2	30868.7	88.1324	910.1716

注:表中平均为 25 个土壤样品统计值

SIRM- χ 指示磁性矿物的变化。沉积物或土壤样品中存在多相磁性矿物,其 SIRM- χ 呈分散的点分布,线性差;相反如果样品中只有一种磁性矿物存在或有一种磁性矿物含量占绝对优势,即使磁性矿物颗粒大小变化,它们的 SIRM- χ 也将呈一条直线^[20, 21, 22, 23]。

图 2 可见,土壤样品 SIRM- χ 散点分布具有较好的线性关系,由于存在 1 号样点的异常值,使得 R^2 值大大降低,去掉 1 号样点得到极好的线性关系($R^2 = 0.8414$)。异常的 χ 值主要由于特殊母岩太古界集宁群地层物质中含有磁铁石英岩和磁铁角闪岩(,同时从样品的 soft, hard 和 F300mT(%) 参数测值所包含的信息看,其中所含磁性矿物相对复杂,亚铁磁性矿物含量占有一定重要性,但不完整反铁磁性矿物同样占有一定比例^[3, 24-27]。

首先,山西高原土壤中存在亚铁磁性的主导磁性矿物。而 χ 值的变化范围在 45.5061-186.2388 ($10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) 之间,平均值为 89.977356 ($10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$),亚铁磁性的磁铁矿、磁赤铁矿或(和)灼烧、化石燃料燃烧产物在土壤中占有主导地位^[7, 28]。与黄土母质、粉煤灰比较, F300mT(%) 反映土壤样品中不完整反铁磁性物质的相对重要性,显示了成土过程的作用。其次,磁铁矿颗粒粒径大小。环境磁学具有获取磁铁矿颗粒粒径信息的优势^[29-33]。一般来说,中等 χ_{fd} 值 2.0-10.0% 表示单畴、多畴和超顺磁颗粒的同时存在;当非超顺磁晶粒主导,或超顺磁组分是由极细晶粒($< 0.005 \mu\text{m}$)主导的样品, χ_{fd} % 通常小于 5%^[28, 34]。

山西高原土壤样品 χ_{fd} 小于 2% 和 5% 的分别占全部样品

的 12% 和 44%, 而占样品总量 56% 的 χ_{fd} % 约为 5-9%, 显示土壤中的磁铁矿晶粒为单畴、多畴和超顺磁颗粒的同时存在。

除了 χ_{fd} (%), 环境磁学参数 ARM/ χ 和 ARM/ SIRM 同样可以反映磁性矿物颗粒大小^[1, 23, 30, 34]。这两组比值主要反映与磁畴状态有关的铁磁性矿物颗粒的大小变化, ARM/ χ 高值代表样品中以细粒稳定单畴(SSD)为主, 低值反映样品中以粗粒假单畴(PSD)或多畴(MD)颗粒为主; ARM/ SIRM 对于超顺磁磁性颗粒的鉴别相当有用。表 3 显示, 山西土壤 ARM/ χ 平均值为 1.519752, 与粉煤灰样品(0.292171342)和黄土母质(1.610689)比较, 土壤中单畴(SSD)颗粒含量高于粉煤灰而低于黄土母质, 可以认为与土壤受粉煤灰磁性颗粒的影响有关。 ARM/ SIRM 平均值为 0.058244, 与粉煤灰(0.001097694)和黄土母质(0.0224331)比较, 土壤样品 ARM/ SIRM 最小值大于粉煤灰, 可见土壤中的超顺磁颗粒较多。

2.3 土壤磁性矿物的来源判别

土壤磁性矿物的来源有两个: 自然和人为来源。磁参数用来鉴别磁性颗粒的人为来源, 是环境磁学的重要应用之一^[1, 3, 22, 33, 35-40]。 χ_{fd} - χ_{lf} 散点图可以帮助作为矿物来源的初步分类^[20]。图 3 可见, 从二者极值范围和平均值看, χ_{lf} 平均值为 89.97736 ($10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$), χ_{fd} 平均值 5.275644 (%), 绝大多数点集中在显示化石燃料燃烧来源区域及其附近。

一般人为来源的物质有较高的 SIRM/ ARM。山西土壤 SIRM/ ARM 变化范围为 52.9793-274.6370, 平均值为 110.9951244, 与粉煤灰(910.1716)和黄土母质(43.7617)相比较, 土壤样品中人为来源的磁性颗粒物的存在有明显的趋势。

磁性测量被用来识别化石燃料燃烧、汽车、表面建筑材料、钢铁制造和其他金属冶炼所释放的颗粒物^[28, 41, 42, 43, 37, 23, 27]。20 世纪 80 年代初, 建设山西能源重化工基地, 山西形成以煤炭为中心的工业体系(。化石燃料的燃烧导致颗粒物释放到土壤中^[44], 同时当地炉灰归田的习惯从南到北遍及全省, 而这种习惯可以追溯到很久以前的时代(, 耕作土壤中粉煤灰和灼烧产物对土壤磁性有重要影响。

当有机质存在时, 温度达到 200℃以上就会发生非亚铁磁性的铁矿物向亚铁磁性矿物的某种转变^[4]。煤炭燃烧后产生

大量亚铁磁性矿物, 通过自然降落的飞灰(fly ash), 和人工施入农田的粉煤灰(bottom ash)都会大大增强土壤的磁性。这是山西耕作土壤磁化率普遍较高的主要原因。

2.4 磁化率的空间分布及其机理

土壤磁化率的空间研究, 可以在土壤基层分类、成土母质判别、土壤肥力分布、土壤调查制图等的多领域发挥作用。国外, 利用磁化率的空间差异确定土壤界限^[9, 10], 是近期见于文献的磁化率空间研究成果。国内土壤磁化率的空间分布研究, 尚未见报道典型区域的磁

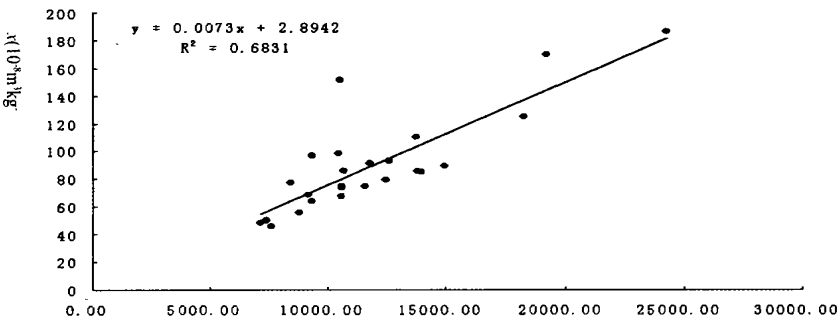


图 2 山西高原土壤 SIRM- x 散点图

Fig. The SIRM- x cross- plot of soil samples from Shanxi Province

表 3 与颗粒物粒度有关的磁参数统计表 (n= 25)
Table 3 The statistical value of magnetic parameters on soils of Shanxi Province

最小值	最大值	平均值	标准差	
$\chi_f (10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1})$	45.5061	186.2388	89.97736	35.528805
$\chi_{fd} (\%)$	1.5987	9.1033	5.275644	2.494081
$\text{ARM} / \chi (10^{-2} \text{Am}^{-1})$	0.4675	2.3306	1.519752	0.6209773
ARM / SIRM	0.0036	1.1900	0.058244	0.2358261

25 个样点明显不足。

3 结论

综合上述, 得出如下结论: 第一, 土壤磁性矿物人为来源占有重要地位。第二, 土壤磁性矿物以亚铁磁性的磁铁矿和磁赤铁矿为主导。第三, 均一的黄土母质导致磁参数标准差较小。第四, 受能源、重化工集中分布的影响, 以及局部母岩差异, 导致晋西北、晋中两个区域形成土壤磁化率“峰岭”区。第五, 输入土壤的磁性物质掩盖了气候等自然成土因素对土壤磁性的影响。

致谢

本项研究样品的环境磁学参数的测试在华东师范大学河口海岸国家重点实验室进行。部分测试在扬州大学完成。研究和论文写作中得到华东师范大学河口海岸国家重点实验室张卫国博士, 资源与环境学院戴雪荣博士、吴建平教授, 英国 liverpool 大学 Andy Plater 博士, 美国 Montclair state 大学 Feng Ed Huan 博士等的帮助和支持, 特此致谢。

化率等值线分布图绘制, 以及磁化率空间分布机理研究。

本项研究应用 GIS(Geographic Information System) 技术处理空间数据^[45, 46], 采用常规的插值方法- Krige 空间内插技术^[47], 作 x 等值线图和三维立体模型。

从图 4 可以看到晋西北和晋中各有一个高值区。其次磁化率高值区及其周围地区的等值线稠密, 变化幅度比较大; 低值地区变化较小, 等值线稀疏。第三, 中部五大盆地尤其是南部盆地地区磁化率三维模型仍然显示盆地形状。

山西面积较大, 全省仅耕地面积近六千万亩, 本研究采集

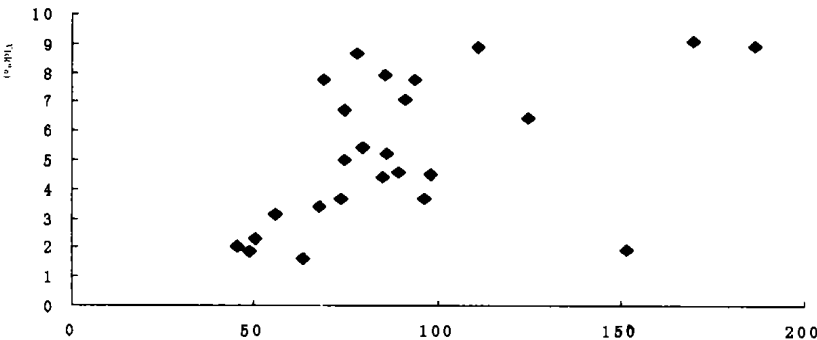
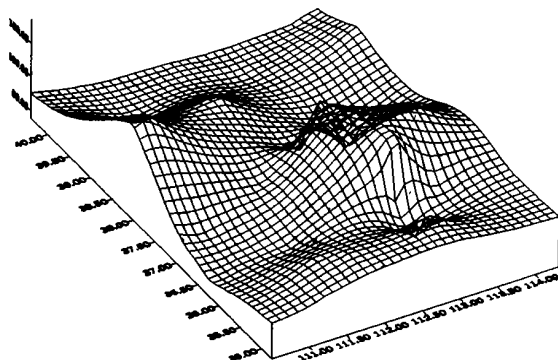
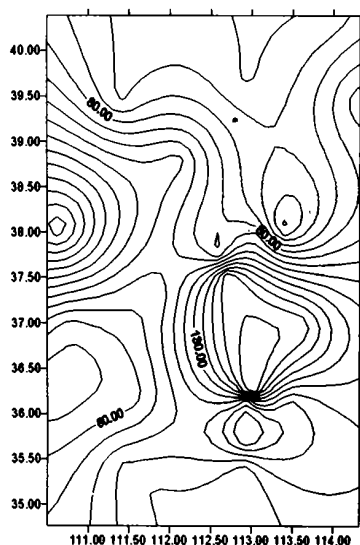


图 3 山西土壤磁参数 xfd- x 散点图

Fig. 3 The cross- plot of xfd- x of soil in the Shanxi province



(说明: 等值线图 and 立体模型上的横坐标为经度值, 格式为 xxx.xx; 纵坐标为纬度值, 格式为 XX.XX, 单位: 度。)

图 4 山西高原耕作土壤磁化率空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of magnetic susceptibility on soils in Shanxi, China.

参考文献

- [1] Thompson R. & Oldfield F. Environmental magnetism [J]. London: George Allen & Unwin, 1986
- [2] 俞劲炎, 卢升高. 土壤磁学[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1991
- [3] Yu L., Environmental Applications of Mineral Magnetic Measurement: Towards A Quantitative Approach. Ph. D. Thesis [J]. University of Liverpool, 1989
- [4] Mullins, C. E. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: a review [J]. Journal of Soil Science, 1977, 28: 223- 46
- [5] Le Borgne. Susceptibilité magnetique anormale du sol superficial, Ann [J]. Geophys, 1955, 11: 399- 419
- [6] Vadyunina A. F., & Babanin V. F. Magnetic susceptibility of some soils in the U. S. S. R [J]. Soviet Soil Science, 1972, 5: 588- 599
- [7] Tite M., S. and R. E. Lington. Effect of climate on magnetic susceptibility of soils [J]. Nature, 1975, 256: 565- 566
- [8] Fine P., Singer, M. J., and Verosub, K. L. Use of magnetic susceptibility measurements in assessing soil uniformity in chronosequence studies [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 1195- 1199
- [9] Williams R. D. and Cooper J. R., Locating soil boundaries using magnetic susceptibility [J]. Soil Science. 1990, 150(6): 889- 895
- [10] Grimley D. A., and M. J. Vepraskas Magnetic susceptibility for use in delineating hydric soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64: 2174- 2180
- [11] 刘孝义, 依艳丽. 磁场对土壤物理性质的影响及土壤磁化率与土壤有机质的相关性. 沈阳农学院学报, 1985, 16(1): 33- 40
- [12] Yi Y. and Liu X. Study on Soil Magnetic Effect [J]. Pedosphere, 1995, 5(3): 215- 220
- [13] 卢升高, 张子玉, 俞劲炎等. 玄武岩发育土壤磁化率及其机理解析 [J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 544- 549
- [14] 姚启明, 张纪仲, 王铭等. 山西省地理 [M]. 太原: 山西教育出版社, 1994
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组和中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索 [M]. 中国科技大学出版社, 2001
- [16] 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998
- [17] 伊丽莹. 矿物化学分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1994
- [18] Dearing J. Environmental magnetic susceptibility - Using the Bartington Ms2 system, 1994
- [19] Schwertmann U. and R. M. Taylor. Iron oxides. In Minerals in soil environments. J. B. Dixon (ed.) [J]. Soil Sci. Soc. Am., 1977: 145- 80
- [20] Thompson R. and Morton D. J. Magnetic susceptibility and particle-size distribution in recent sediments of the Loch Lomond drainage basin, Scotland [J]. J. Sed. Petrol, 1979, 49(3): 801- 812
- [21] Hilton J., and Lishman J. P.. The effects of redox changes on the magnetic susceptibility of sediments from a seasonally anoxic lake [J]. Limnol. Oceanogr, 1985, 30: 907- 909
- [22] Thompson R., J., Bloemendal, J. A. Dearing, F. Oldfield, et al. Environmental Applications of magnetic measurements [J]. Science, 1980, 207(4430): 481- 486
- [23] 陈满荣, 俞立中, 韩晓非. 环境磁学样品干燥过程中的磁性效应 [J]. 沉积学报, 2001a, 19(4): 630- 636
- [24] Thompson R. Modelling magnetization data using SIMPLEX [J]. Phys. Planet. Int., 1986, 42: 113- 127
- [25] 俞立中, 张卫国. 沉积物来源组成定量分析的磁诊断模型 [J]. 科学通报, 1998, 43(19): 2034- 2041
- [26] Yu L. Oldfield F. Wu Y. et al. Palaeoenvironmental implications of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China [J]. Journal of Palaeolimnology, 1990, (3): 95- 111
- [27] 陈满荣, 王少平, 俞立中. 环境磁学及其在地理环境研究中的应用 [J]. 云南地理环境研究, 2001b, 13(1): 11- 19
- [28] Dearing J. Environmental magnetic susceptibility [M]. Using the Bartington Ms2 system. 1999
- [29] Maher B. A. Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites [J]. Geophys. J., 1988, 94: 83- 96
- [30] Oldfield F. & Yu L. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the North east Irish sea [J]. Sedimentology, 1994, 41: 1093- 1108
- [31] Oldfield F. Environmental magnetism - a personal perspective [J]. Quaternary Sci. Rev. 1991, 10: 73- 85
- [32] 张卫国, 俞立中. 沉积物磁性测量对铁还原的指示及其在重金

- 属污染研究中的应用[J]. 科学通报, 1998, 43(19): 37- 43
- [33] Dekkers M. J. Environmental magnetism: an introduction[J]. Geologie en Mijnbouw, 1997, 76: 163- 182
- [34] Yu L. & Oldfield F. Quantitative sediment source ascription using magnetic measurements in a reservoir- catchments system near Nijjar, S. E [J]. Spain Earth surface processes & Landform, 1993, 18: 441- 454
- [35] Yu L. and Oldfield F. A multivariate mixing model for identifying sediment source from magnetic measurement [J]. Quaternary Research, 1989, 32: 168- 181
- [36] 俞立中. 环境磁学在城市污染研究中的应用[J]. 上海环境科学, 1999, 18(4): 175- 178
- [37] 俞立中, 张卫国. 利用磁信息研究潮滩重金属污染的探讨[J]. 环境科学进展, 1993, 5(3): 37- 43
- [38] 俞立中, 许羽, 许世远等. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义[J]. 湖泊科学, 1995, 7(2): 141- 150
- [39] 张卫国, 俞立中, S. M. Hutchinson. 长江口南岸边滩沉积物重金属污染记录的磁诊断方法[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 616- 623
- [40] 陈满荣. 潮滩重金属和有机化合物污染物的环境磁学诊断研究——以长江口潮滩沉积物为例[J]. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2001
- [41] Balanin V. F. The use of magnetic susceptibility measurements in identifying forms of iron in soils[J]. Soviet Soil Science, 1973, 6: 486- 493
- [42] Williams T. M., A sedimentary record of the deposition of heavy metals and magnetic oxides in the Loch Dee basin, Galloway [J]. Scotland, since c. AD 1500, The Holocene, 1991, 1: 142- 150. B
- [43] Beckwith P. R., Ellis J. B., and Revitt D. M. Heavy metal and magnetic relationships for urban source sediments, Physics Earth Planet [J]. Int, 1986, 42: 67- 75. B
- [44] 白增森, 吴家华. 山西汾河流域盆地土壤八种元素分布特征的研究[J]. 土壤肥料, 1999, (3): 15- 17
- [45] 张超. 地理信息系统实习教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [46] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论(修订版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [47] 王广德, 过常龄. “Kriging”空间内插技术在地理学中的应用[J]. 地理学报, 1987, 42(4): 366- 375

南极产低温脂肪酶菌株 *Psychrobacter* sp. 7195 的 选育、发酵条件及酶学性质研究^{*}

国家海洋局第三海洋研究所海洋生物遗传资源重点实验室 (福建 厦门 361005) 张金伟 曾润颖

摘要: 从南极普里兹湾深海沉积物中筛选到一株产低温脂肪酶的菌株 7195, 细菌学形态鉴定及 16S rDNA 序列分析表明该菌株属于嗜冷杆菌属 (*Psychrobacter*)。生长特性研究表明该菌株属于耐冷菌, 其最适生长温度范围为 5~ 15℃, 7195 菌株能利用多种碳、氮源产酶。粗酶液经硫酸铵盐析、DEAE cellulose- 52 柱层析进行初步分离纯化后进行酶学性质的研究。该菌株所分泌的脂肪酶最适作用温度为 30℃, 最适 pH 值为 9.0, 对热敏感, 60℃ 热处理 10min 剩余酶活为 30%, 是典型的低温酶。Ca²⁺、Mn²⁺、Cu²⁺ 对该酶有较为明显的激活作用, 而 Co²⁺、Zn²⁺、Hg²⁺、Rb²⁺、Cd²⁺、Fe³⁺、EDTA 则能抑制酶活, 此外该脂肪酶能在高浓度的 SDS、CHAPS、Triton X- 100、Tween 80、Tween20 等变性剂中表现出较好的稳定性。

关键词: 低温酶; 碱性脂肪酶; 耐冷菌; 南极

Multicomponent Enzymes produced by *Psychrobacter* sp. 7195: Screening, Fermentation Condition and Enzyme Characterization

ZHANG Jin-wei, ZENG Run-ying

Key Laboratory of Marine Biogenetic Resources, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

ABSTRACT: A strain 7195, which produces cold- adapted lipase, was isolated from the deep sea sediment of Prydz Bay, Antarctic. The morphology identification and 16S rDNA sequence analysis showed that it belonged to genus *Psychrobacter*. The optimal growth temperature of the *Psychrobacter* sp. 7195 was 5~ 15℃, indicating it was a psychrophile bacterium. The strain could utilize various single carbonaceous and nitrogenous substances and produce lipase. The optimal and highest temperatures for enzyme producing were 20℃ and 30℃ respectively. The enzyme purification was performed by ammonium sulfate fractionation and anion exchange chromatography with DEAE cellulose- 52. It was sensitive to high temperature. The optimal temperature and pH value for the lipase activity were 30℃ and 9.0 respectively. These results indicated that they were typical alkaline cold- adapted enzymes. The activities of them were stimulated by Ca²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺ and were inhibited by Zn²⁺, Hg²⁺, Rb²⁺, Cd²⁺, Co²⁺, Fe³⁺ and EDTA. The cold- adapted lipase showed better resistance to inactivation of 1% detergents such as SDS, CHAPS, etc.

Key words: Cold- adapted enzyme; Alkaline lipase; Psychrophile bacteria; Antarctic

* 国家自然科学基金(No. 40406029)

Supported by the National Natural Science Youth Foundation of China (No. 40406029)

作者简介: 张金伟, 在读硕士研究生, E-mail: jinweizhang@21cn.com

通讯作者: 曾润颖, E-mail: runyingzeng@yahoo.com.cn

收稿日期: 2006- 01- 18, 接受日期: 2006- 02- 13