

西南喀斯特地区不同石漠化阶段 土壤黏土矿物组成及其含量变异研究

杨新强¹ 陈效民¹ 李孝良^{1,2} 周炼川¹ 陈 律¹ 南江宽¹ 李发金¹

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 安徽科技学院 植物科学学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 为了探索西南喀斯特地区土壤中黏土矿物组成及其含量的变异规律,以贵州省普定县和荔波县不同石漠化阶段典型土壤的黏土矿物为例,采用 X-射线衍射仪图谱分析方法,计算得到黏土矿物组成及其含量,探讨不同石漠化阶段黏土矿物组成变化规律及其含量之间的线性关系。结果表明:不同石漠化阶段黏土矿物的组成是相同的,均为高岭石、蒙脱石和伊利石;在未石漠化、轻度石漠化、中度石漠化阶段,蒙脱石在剖面表层的质量分数分别为 27.82%、29.34%、58.32%,高岭石分别为 21.39%、31.81%、36.93%,伊利石分别为 50.79%、38.85%、4.75%;在西南喀斯特地区,各石漠化阶段伊利石与蒙脱石的含量之间以及伊利石和高岭石的含量之间都呈显著的线性相关,相关系数分别为 $-0.970\ 3$ 、 $-0.945\ 6$;西南喀斯特地区土壤相似的成土作用和成土环境造成了黏土矿物相同的组成,而黏土矿物含量的差异说明各成土作用的程度或阶段是不同的;粉粒中的黏土矿物主要为石英和白云母,而砂砾中的黏土矿物主要为石英。

关键词: 土壤;石漠化;黏土矿物;含量;X-射线;衍射图谱;喀斯特地区

中图分类号: X833;S151 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2011)04-0416-05

Study on Composition and Content Variation of Clay Mineral of Soil Under Different Stages of Rock Desertification in Karst Region, Southwest China

YANG Xin-qiang¹, CHEN Xiao-min¹, LI Xiao-liang^{1,2}, ZHOU Lian-chuan¹,
CHEN Lu¹, NAN Jiang-kuan¹, LI Fa-jin¹

(1. School of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China;

2. School of Plant Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, Anhui, China)

Abstract: In order to find the composition and content variation of clay mineral of soil under different stages of rock desertification in Karst Region, Southwest China, taking the clay mineral of soil under different stages of rock desertification in Puding County and Libo County of Guizhou Province as an example, composition and content of clay mineral were calculated by the means of X-ray diffraction spectrogram, and the composition and linear relationships among the contents of clay mineral under different stages of rock desertification were discussed. The results showed that the composition of clay mineral under different stages of rock desertification were same, all of them were composed of kaolinite, montmorillonite and illite; mass fractions of montmorillonite in the section surface were 27.82%, 29.34% and 58.32% under the non-degraded, light and moderate stages of rock desertification, respectively, and those of kaolinite were 21.39%, 31.81% and 36.93%, and those of illite were 50.79%, 38.85% and 4.75%; the relationships between mass fractions of illite and montmorillonite and between that of kaolinite and illite under different stages of rock desertification in Karst Region were significant, and the correlation coefficients were $-0.970\ 3$ and $-0.945\ 6$, respectively; the compositions of clay mineral were same because the pedogenesis and soil-forming condition in Karst Regions were similar, and the difference of contents of clay mineral indicated the different pedogenesis in terms of degree and stage; the clay minerals were mainly quartz and muscovite in silt, and

收稿日期: 2011-01-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403205)

作者简介: 杨新强(1981-),男,甘肃靖远人,农学硕士研究生,从事水土资源利用与管理研究。E-mail: 2008103087@njau.edu.cn

mainly quartz in gravel.

Key words: soil; rock desertification; clay mineral; content; X-ray; diffraction spectrogram; Karst Region

0 引言

喀斯特与黄土、沙漠、寒漠并列为中国四大生态环境脆弱区^[1]。石漠化是指土壤侵蚀导致基岩大面积裸露、土壤生产力下降、自然景观受到严重破坏的喀斯特地区独有的现象^[2]。以往的研究主要是从土壤物理参数^[3]、土壤养分^[4]、土壤植被^[5]、治理模式与生态重建^[6]等方面入手,在一定程度上忽视了从土壤黏土矿物角度对石漠化过程的探讨。黏土矿物是土壤的主要组分之一,其组成和含量受气候、地形、植被和基岩类型等综合因素制约^[7]。研究黏土矿物有助于弄清楚土壤的形成过程,为土壤分类提供重要参考。

笔者以贵州省典型石漠化阶段土壤为研究对象,重点探讨土壤中黏土矿物在石漠化过程中的变

化规律及其在土壤剖面中的分布状况,同时对粉粒和砂粒中的矿物组成进行初步探讨,试图为西南喀斯特地区石漠化阶段的划分提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土壤样品采自贵州省普定县和荔波县,按照植被覆盖度、基岩裸露率等指标选择典型石漠化阶段的区域进行采样^[8]。普定县陈旗村为典型的喀斯特山地小流域地形;荔波县茂兰保护区是地球上唯一保存下来的喀斯特森林生态系统,采样点母岩为石炭纪灰岩^[9-10]。根据梅再美等提出的石漠化划分标准^[11],在研究区典型地段选择不同石漠化阶段的样地,按照土壤发生层取样。供试土壤基本状况见表 1。

表 1 喀斯特地区采样点基本状况

Tab. 1 Basic Characteristics of the Sampling Sites in Karst Region

石漠化阶段	土壤名称	土壤层次/cm	地理坐标			采样点	植被
			纬度	经度	海拔高度/m		
未石漠化	黑色石灰土	0~12	25°17.545'N	107°56.348'E	755	贵州荔波尧古村	原始森林
		12~24					
		24~50					
轻度石漠化	黑色石灰土	0~28	25°18.879'N	107°56.043'E	753	贵州荔波尧古村	草地
		28~40					
中度石漠化	黑色石灰土	0~15	25°18.923'N	107°56.526'E	761	贵州荔波尧古村	桑田
		15~35					

1.2 分析方法

1.2.1 黏粒的提取和黏土矿物分析

土壤中黏粒的提取方法是司笃克斯定律为基础,利用土粒在静水中沉降规律,采用沉降-虹吸法对土壤进行粒级分组,将小于 0.002 mm 的黏粒部分分离收集起来。然后进行以下 4 种处理:①用 1 mol/L KCl 饱和样品;②用 1 mol/L KCl 饱和样品再经 550 °C 加热 2 h;③用 1 mol/L MgCl₂ 饱和样品;④1 mol/L MgCl₂ 饱和风干后,再用 10% 甘油饱和样品。利用 D_{MAX}-B 型 X-射线衍射仪(XRD)对上述 4 种处理的黏粒、粉粒和细砂粒样品进行扫描分析,以测定单位晶层之间距离(*d*)。

根据 MgCl₂ 加甘油饱和和处理样品的 X-射线衍射仪图谱,可以计算黏粒中各矿物的质量分数

$$w_i = \frac{\lambda_i A_i}{\sum \lambda_i A_i} \times 100\%$$
$$I_i = \lambda_i A_i$$

$$I = \sum \lambda_i A_i$$

式中:*w_i* 为矿物 *i* 的质量分数;*λ_i* 为矿物 *i* 的系数,根据文献^[12]取值;*A_i* 为矿物 *i* 最强峰的峰面积;*I_i* 为矿物 *i* 主要衍射峰的积分强度;*I* 为矿物主要衍射峰的积分总强度。由上述公式可知,黏粒中各矿物的质量分数即为各矿物主要衍射峰的积分强度与积分总强度之比。

1.2.2 土壤基本性质的测定

土壤基本性质的测定采用以下方法:①土壤机械组成测定采用吸管法;②土壤 pH 值测定采用 pH 计电位法;③土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾外加加热法;④土壤密度测定采用环刀法(表 2)^[13]。

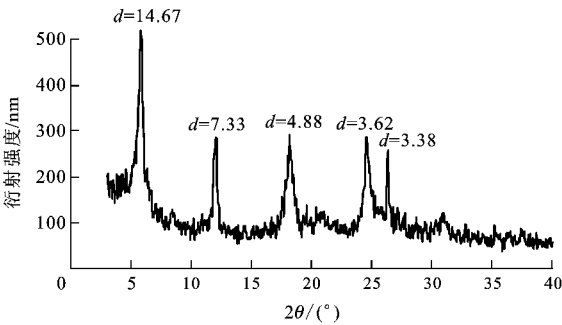
2 结果与讨论

2.1 矿物组成

图 1 为荔波县茂兰保护区尧古村未石漠化阶段土壤黏粒矿物(KCl 饱和样品)的定性分析。图谱显

表 2 供试土壤基本性质
Tab. 2 Properties of the Tested Soils

石漠化阶段	层次/cm	pH	有机质质量分数/ 10 ⁻³	密度/ (g · cm ⁻³)	机械组成/10 ⁻³		
					>0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
未石漠化	0~12	7.52	78.9	0.628	495.7	360.4	143.9
	12~24	7.62	36.8	0.986	299.9	402.7	297.4
	24~50	7.77	17.8	1.142	208.2	435.6	356.2
轻度石漠化	0~17	6.34	19.2	1.247	345.3	433.2	221.5
	17~49	7.53	3.8	1.388	75.6	426.1	498.3
中度石漠化	0~15	6.44	14.2	1.116	166.3	399.8	433.8
	15~35	6.51	4.5	1.248	113.8	254.0	632.3



注:2θ为X-射线衍射仪测定矿物时光的入射角的2倍,即衍射角度。
图 1 未石漠化阶段土壤剖面表层
(0~12 cm)黏土矿物 X-射线衍射图谱
Fig. 1 X-ray Diffraction Spectrogram of Clay Minerals
in the Section Surface of Soil (0-12 cm) Under the
Non-degraded Stage of Rock Desertification

示,在 d 分别为 14.5、10.1、7.1、5.0、3.6、3.33 nm 时出现衍射峰。图 2 为轻度石漠化阶段土壤黏土矿物(KCl 饱和样品)的定性分析,在 d 为 14.67、9.84、7.20、4.95、3.57、3.34 nm 出现衍射峰。图 3 为中度石漠化阶段土壤黏土矿物(KCl 饱和样品)的定性分析,在 d 为 14.87、7.26、4.84、3.62、3.38 nm 时出现衍射峰。根据衍射峰的位置和强度判断,黏粒中存在的矿物是蒙脱石、伊利石和高岭石。各石漠化阶段样品的图谱基本一致,反映了它们具有相同的矿物组成。

研究区不同石漠化阶段土壤中黏土矿物的组成是相似的,土壤黏土矿物以伊利石、蒙脱石和高岭石为主。黏土矿物的类型分布受母岩、母质的矿物学组成的影响,又与风化和成土条件有密切关系。熊毅推论的黏土矿物变化规律为:伊利石→伊利石、蛭石→伊利石、蛭石、高岭石→高岭石、蛭石→高岭石、三水铝矿^[14],而西南喀斯特地区不同石漠化阶段黏土矿物为:伊利石直接演变为蒙脱石或高岭石;这说明石漠化过程对黏土矿物的演变有特

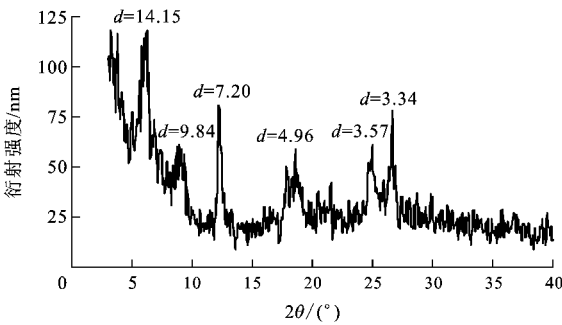


图 2 轻度石漠化阶段土壤剖面表层
(0~17 cm)黏土矿物 X-射线衍射图谱
Fig. 2 X-ray Diffraction Spectrogram of Clay Minerals
in the Section Surface of Soil (0-17 cm) Under the
Light Stage of Rock Desertification

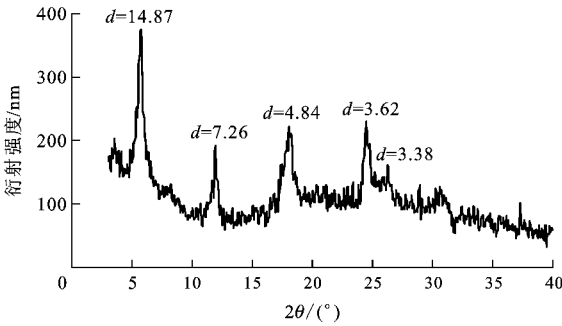


图 3 中度石漠化阶段土壤剖面表层
(0~15 cm)黏土矿物 X-射线衍射图谱
Fig. 3 X-ray Diffraction Spectrogram of Clay Minerals
in the Section Surface of Soil (0-15 cm) Under the
Moderate Stage of Rock Desertification

殊的影响。
图 4 为荔波县茂兰保护区尧古村轻度石漠化阶段土壤中粉粒和砂粒矿物的定性分析。在 d 分别为 4.30、3.30、2.45 nm 时出现衍射峰。结果表明,粉粒主要由石英和白云母组成,砂粒主要由石英组成。同样,各石漠化阶段土壤粉粒和砂砾的

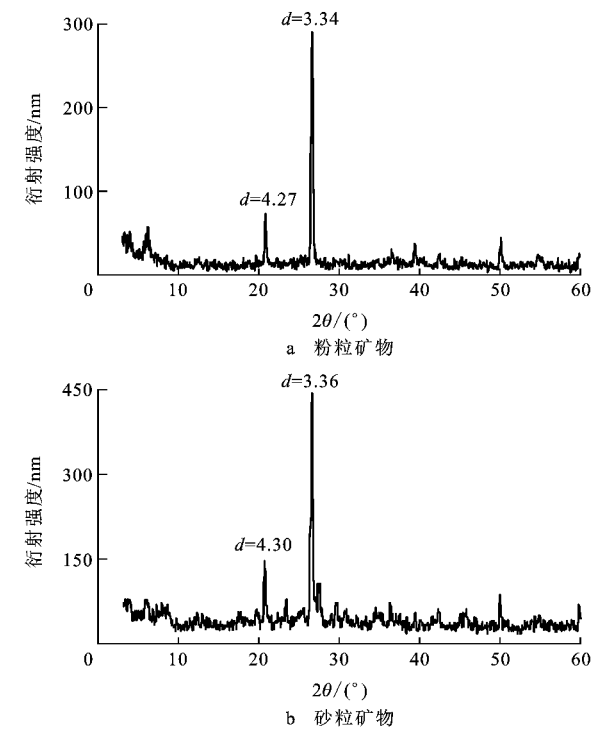


图 4 未石漠化阶段土壤剖面下层
(12~24 cm)粉粒和砂粒矿物 X-射线衍射图谱

Fig. 4 X-ray Diffraction Spectrogram of Silt and Gravel Minerals in the Lower Part of Soil Section (12-24 cm) Under the Non-degraded Stage of Rock Desertification
X-射线衍射图谱也是相似的,说明它们有着相同的组成。

2.2 黏土矿物含量

喀斯特地区不同石漠化阶段土壤黏土矿物含量见表 3。在未石漠化阶段的各个土壤发生层中,伊利石的质量分数最高,分别达到 50.79%、47.55%和 41.24%,占总量的一半左右。蒙脱石、高岭石在各层间的含量相差不大。随着石漠化程度的加深,蒙脱石和高岭石在剖面表层的含量逐渐增加,这说明上述两种矿物的风化程度随着石漠化作用的增强而增加;伊利石的质量分数逐渐减少。尤其在中度石漠化阶段,伊利石在剖面表层的质量分数由未石漠化阶段的 50.79%和轻度石漠化阶段的 38.85%锐减至中度石漠化阶段的 4.75%。这说明在中度石漠化阶段,伊利石向高岭石(蒙脱石)的转化作用最为强烈。

未石漠化阶段土壤呈弱碱性,伊利石主要向蒙脱石方向演变,因此该阶段蒙脱石的含量较高岭石高。而到了轻度石漠化阶段,土壤由弱碱性向弱酸性转变,对矿物的演变方向产生了直接影响;伊利石主要演变为高岭石,高岭石在上下土层的质量分数

表 3 土壤黏土矿物含量				
Tab. 3 Content of Clay Mineral in Soil				
石漠化阶段	土层/cm	蒙脱石/%	伊利石/%	高岭石/%
未石漠化	0~12	27.82	50.79	21.39
	12~24	26.90	47.55	25.55
	24~50	32.59	41.24	26.17
轻度石漠化	0~28	29.34	38.85	31.81
	28~40	6.49	85.42	8.09
中度石漠化	0~15	58.32	4.75	36.93
	15~35	44.62	17.11	38.27

注:表中黏土矿物含量均指质量分数。

分别为 31.81%和 8.09%,略高于蒙脱石的 29.34%和 6.49%。在中度石漠化阶段,土壤酸性进一步加强,但是此时蒙脱石在上、下层的质量分数分别为 58.32%、44.62%,高于高岭石的 36.93%、38.27%;这说明中度石漠化阶段土壤成土母质中蒙脱石的含量相对较高。土壤黏土矿物的组成及其含量变化,不仅可以说明各土壤间胶体性质的差异,还可以反映土壤形成过程的类型和程度。

2.3 各黏土矿物含量之间的关系

按照黏土矿物的变化规律,通过对各个石漠化阶段伊利石和蒙脱石之间的质量分数作相关分析表明(图 5),二者呈极显著性的线性关系,相关系数为-0.970 3,说明蒙脱石的含量随伊利石含量的降低而快速增加。

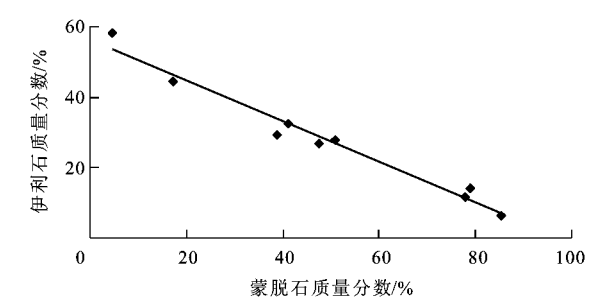


图 5 蒙脱石与伊利石含量之间的关系
Fig. 5 Relationship Between the Contents of Montmorillonite and Illite

对各石漠化阶段伊利石和高岭石之间的质量分数作相关分析发现,二者也呈极显著的线性关系,相关系数为-0.945 6,也说明了高岭石的含量随伊利石含量变化而发生变化。

结合图 5、6 以及黏土矿物的演变规律,充分说明在西南喀斯特地区,伊利石、蒙脱石和高岭石之间存在显著相关性。伊利石在气候、土壤酸碱性等共同作用下,向蒙脱石和高岭石转化,而这些作用的强

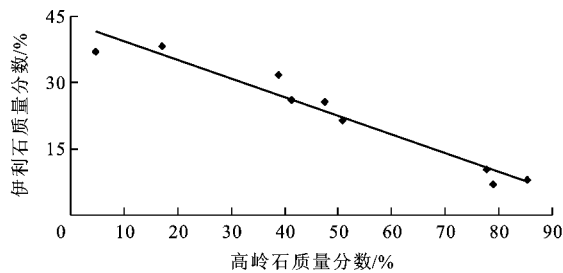


图 6 高岭石与伊利石含量之间的关系

Fig. 6 Relationship Between the Contents of Kaolinite and Illite

度也随着石漠化程度而加深。因此,特定黏土矿物的含量可以作为划分石漠化阶段的一个重要参考指标。

3 结语

(1)受地带性规律的影响,西南喀斯特地区不同石漠化阶段黏土矿物和粉粒、砂粒矿物的组成是相同的。黏土矿物主要为伊利石、蒙脱石和高岭石;粉粒中的矿物主要为石英和白云母;砂砾中的主要矿物为石英。

(2)随着石漠化程度的加深,伊利石逐渐向蒙脱石和高岭石转化,土壤酸碱度在这一过程中起了重要作用。

(3)伊利石、蒙脱石和高岭石的含量之间呈极显著的线性负相关关系,相关系数分别为 $-0.970\ 3$ 和 $-0.945\ 6$ 。

(4)石漠化阶段的划分标准尚不统一,特定黏土矿物在不同土层深度的含量可以作为划分石漠化阶

段的一个重要依据。

参考文献:

- [1] 龙 健,江新荣,邓启琼,等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):419-427.
- [2] 蒋忠诚. 广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J]. 广西科学,2001,8(4):308-312.
- [3] 周炼川,陈效民,李孝良,等. 西南喀斯特地区不同石漠化阶段土壤物理参数的变异研究[J]. 地球科学与环境学报,2010,32(2):195-199.
- [4] 周炼川,陈效民,李孝良,等. 西南喀斯特地区不同石漠化阶段土壤有效磷变异研究[J]. 地球科学与环境学报,2009,31(4):418-422.
- [5] 李阳兵,谢德体,魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报,2004,41(2):196-202.
- [6] 张清海. 贵州喀斯特石漠化地区土壤磷素变异特征及生态恢复研究[D]. 贵阳:贵州大学,2007.
- [7] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [8] 彭 琴,林昌虎,何腾兵. 贵州省喀斯特山区不同石漠化等级土壤粒级特征研究[J]. 水土保持通报,2007,27(2):29-32.
- [9] 周运超,张平究,潘根兴,等. 表层岩溶系统中土-气-水界面碳流通的短尺度效应——以贵州茂兰国家喀斯特森林公园的秋季日动态监测为例[J]. 第四纪研究,2002,22(3):258-265.
- [10] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报,2002,13(5):529-532.
- [11] 梅再美,王代懿,熊康宁,等. 不同强度等级石漠化土地植被恢复技术初步研究——以贵州花江试验示范区查尔岩试验小区为例[J]. 中国岩溶,2004,23(3):253-258.
- [12] Gorbunov N I. Mineralogy and Physical Chemistry of Soils [M]. Moscow:Russian Science Press,1978.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [14] 熊 毅. 中国土壤中黏粒矿物的分布规律[C]//中国科学院南京土壤研究所. 熊毅文集. 北京:科学出版社,2003:187-192.
- [15] istics of Natural Water[M]. Honolulu:University Press of the Pacific,2005.
- [11] 张 辉,张 新,邓寅生. 煤矿塌陷区煤矸石复垦及其污染控制试验研究[J]. 环境卫生工程,2008,16(5):4-6.
- [12] GB/T 14848—93. 地下水环境质量标准[S].
- [13] 陆胜勇,池 涌,严建华,等. 初始 pH 值、液固比对某焚烧炉灰重金属渗滤的影响[J]. 环境科学学报,2003,23(1):48-52.
- [14] 任秀莲. 煤矸石中放射性核素对环境的影响评价[J]. 能源技术与管理,2005(2):52-53.
- [15] 国家环境保护总局. 城市放射性废物管理办法[S].
- [16] GB 6566—2001,建筑材料放射性核素限量[S].
- [17] 国家建筑材料测试中心. 煤矸石放射性检验报告[R]. 北京:国家建筑材料测试中心,2008.

(上接第 415 页)

- [6] 唐志新,黄乐亭,戴华阳. 采动区煤矸石地基理论研究及实践[J]. 煤炭学报,1999,24(1):43-47.
- [7] 王乐杰. 矸石地基回填分层压实处理施工技术[J]. 矿山测量,2006(3):81-83.
- [8] 全炳炎,卫建军,袁广林,等. 煤矸石地基承载力与变形的试验研究[J]. 西安科技大学学报,2009,29(6):718-721.
- [9] Office Water. Economic and Environmental Impact Assessment of Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Coal Mining Industry-remining and Western Alkaline Subcategories[R]. Washington DC: United States Environmental Protection Agency,2001.
- [10] Hem J D. Study and Interpretation of the Chemical Character-