

# 风化煤对土壤胶体特性的影响\*

马毅杰 李述刚 王周琼

(中国科学院南京土壤研究所) (中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所)

低产土壤是阻碍新疆地区农业生产发展的重要因素之一。这些土壤大部分有机质含量低,并有不同程度地盐碱化,亟待改良。新疆地区拥有较多的风化煤、褐煤、泥炭等资源,其中一些煤呈酸性或强酸性,可溶性有机物含量也较高。近年来,该地区各地群众用这些煤制成的腐铵或将煤粉直接施用于一些低产土壤上,在水稻、玉米、小麦等各种作物上均获得了不同程度的增产效果,其中在板结土、沙性土、粘质土和盐碱土上效果比较显著。连续大量施用煤粉的土壤,群众反映,土壤的肥力也有所提高。

新疆生物土壤沙漠研究所总结了该地区群众施用风化煤改土的经验,并用酸性风化煤进行了改土试验。前文已经报道,酸性风化煤能改善土壤的物理性质,增强土壤保蓄养分和水分的能力,并可降低碱化土壤的碱化度和pH值(新疆生物土壤沙漠研究所土壤改良组,1976)。本文拟从土壤胶体的角度讨论风化煤的改土作用。

## 一、样品和方法

(一) 样品 供试土壤样品包括苏打碱化水稻土和潮土两种。苏打碱化水稻土分别采自新疆米泉县井岗山公社已连续4年施用风化煤的试验田(风化煤施用量:1974—1975年,100公斤/亩·年;1976—1977年,500公斤/亩·年)及其对照区。潮土采自新疆乌鲁木齐县达板城公社,一为已连续施用风化煤10年的田块(每年亩施风化煤约1吨),另一为风化煤施用量较少的田块。各土样的一般理化性质见表1。

表1 供试土壤的一般性质

土壤	处理	pH	有机质 (%)	全氮 (%)	阳离子交换量(毫克当量/100克)	物理性粘粒* <0.01毫米 (%)	粘粒* <0.001毫米 (%)
苏打碱化水稻土	连续施用四年风化煤	8.61	3.81**	0.127	13.8	37.8	19.0
	对照	8.89	2.21	0.106	11.6	38.1	18.1
潮土	连续施用十年风化煤	8.34	5.14	0.187	17.4	23.9	11.5
	对照	8.68	3.33	0.125	16.7	30.3	15.5

\* 由张云、王伏雄同志分析, \*\* 该数值偏高可能样品不匀的缘故

\* 本工作是在熊毅教授指导下进行的,并承陈家坊、文启孝、蒋剑敏同志提供宝贵意见,一并致谢。

供试风化煤样与苏打碱化水稻土风化煤试验田块所用的煤样同, 采自新疆乌鲁木齐市九道弯。此外, 为了比较, 还分别测定了一个褐煤(新疆哈密南湖)和泥炭(新疆吉木萨尔县)样品的化学性质。当然, 褐煤、风化煤和泥炭不同, 很难被微生物分解, 因此, 并不能仅根据其化学性质来评判它们在改土作用方面的优劣。

(二) 方法 土壤有机-无机复合胶体的提取和制备, 称取未过筛的风干土于容器中(土重按悬液浓度 4% 计算), 加水搅动, 提取  $<2$  微米的复合体(称为水分散复合体); 继用超声波分散(300 毫安, 21.5 千赫兹)提取  $<2$  微米的复合体(称为水稳性复合体)。用阳、阴离子交换树脂将部分复合体制成 H—Al 质胶体, 供测定缓冲曲线等用。

粘度用乌氏粘度计测定, 悬液浓度为 1%, 测定温度为 30℃。用重液分离法测定土壤有机-无机胶体复合度(傅积平等, 1978)。按熊毅(1976)提出的方法测定土壤复合体中不同结合形态的腐殖质。表面积用 Heilman(1965)法测定。缓冲曲线采用平衡法(于天仁, 1976), 悬液浓度为 1%, 平衡时间为一周。电泳速度用蒋剑敏(1962)仿制的 Mattson 微电泳仪测定。电极间距离为 9.6 厘米, 电压为 96 伏, 在显微镜下测其经 327 微米行程的电泳时间, 重复 20 次, 取平均值计算电泳速度。吸水量按下法测定, 取一定量的样品装入一端包有滤纸的细玻管内。将玻管提高至 1 厘米高度, 让其自由落下, 如此敲击 100 次后, 将玻管置于吸水滤纸上吸足水分, 称重。根据样品的增重计算其吸水量。pH、有机质和全氮按常规法测定, 总酸性基、羧基和酚羟基按科诺诺娃(1963)法测定。

## 二、结果和讨论

### (一) 风化煤的化学性质

风化煤能否和在多大程度上与土壤发生相互作用, 这与风化煤和土壤二者本身的性质密切有关。新疆乌鲁木齐市九道弯风化煤是当地品质较好的一种。有机物质含量高达 85.25%, 其中易分散的腐殖质较多, 溶于 0.1N NaOH 中的腐殖质碳为 48.05% (表 2)。煤中易分散的腐殖质愈多, 其与土壤相互作用的可能性就愈大, 特别是当土壤中含有较多的钠离子、pH 值较高时是如此。

表 2 风化煤、褐煤和泥炭的有机物质\*

种 类	地 点	有机物质**		溶于 0.1N NaOH 的腐殖质碳(%)	灰分(%)
		含量(%)	碳(%)		
风化煤	乌鲁木齐市九道弯	85.25	57.21	48.05	11.29
褐 煤	哈密南湖	73.45	47.08	4.01	24.54
泥 炭	吉木萨尔	39.91	23.20	1.91	55.63

\* 计算均以干样为基准;

\*\* 换算系数: 含碳比泥炭为 0.58, 褐煤为 0.64, 风化煤为 0.67 (北京市腐殖酸分析协作组, 1975)。

不论是土壤、泥炭、褐煤或风化煤的腐殖酸都含有相当多的含氧官能团, 特别是羧基和酚羟等基团, 所以风化煤呈酸性和具有较高的阳离子交换能力。根据氢质样品测定结果(表 3), 泥炭的总酸性基、羧基和酚羟基含量最低, 风化煤较高, 褐煤介于两者之间。正

表 3 风化煤、褐煤和泥炭中的几种含氧基团

种类	pH*		含氧基团(毫克当量/克)		
	H <sub>2</sub> O	KCl	总酸性基	羧基	酚羟基
风化煤	4.69	3.25	4.71	3.43	1.28
褐煤	6.37	6.28	4.33	2.76	1.57
泥炭	7.62	6.95	1.64	0.79	0.85

\* 原样 pH

因为这样, 风化煤的 pH 值较低, 阳离子交换能力较强, 据用 BaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法(罗义真, 1958)的测定结果, 其阳离子交换量为 67.2 毫克当量/100 克<sup>1)</sup>。根据用乙二醇乙醚法的测定结果, 其表面积约为 595.5 米<sup>2</sup>/克(表 4)。

表 4 风化煤、褐煤和泥炭的极限 pH、电泳速度、表面积

种类	极限 pH	电泳速度*(微米/秒)	比表面积(米 <sup>2</sup> /克)
风化煤	3.72	-27.8	595.5
褐煤	3.62	-19.2	—
泥炭	4.02	-15.3	—

\* 测定时温度为 24°C, 样品磨成 &lt;53μ 观测

缓冲曲线(图 1)表明, 三种有机物质的缓冲性能和其总酸性基、羧基和酚羟基含量的

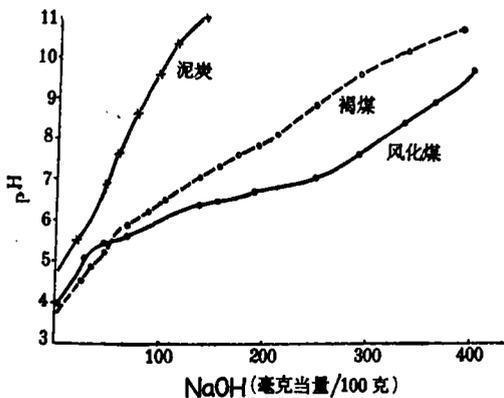


图 1 风化煤、褐煤和泥炭的缓冲曲线

趋势是相同的, 泥炭的缓冲性能最差, 风化煤较高, 褐煤介于两者之间。从缓冲曲线还可以看出风化煤具有多元弱酸的特征。Roy (1957) 根据胡敏酸电位和电导滴定曲线认为煤的胡敏酸是三元弱酸。

表 4 表明, 由于风化煤和褐煤中含有较多的酸性基团, 所以极限 pH 较低。DeSilva 等人 (1964) 指出烟煤和高位泥炭中的有机胶体都带负电性, 不呈两性, 其中烟煤有机胶体的负电性较强。从电泳速度看, 新疆风化煤、褐煤和泥炭的有机物质

都带负电荷(表 4), 风化煤的电泳速度较高, 泥炭最低, 褐煤介于两者之间, 这可能与三种有机物质中酸性基团的含量有关。

## (二) 风化煤与土壤相互作用

土壤胶体包括无机胶体和有机胶体, 二者常常以有机-无机胶体复合状态存在。复合胶体密切影响土壤肥力特征。所以, 研究风化煤与土壤的相互作用及施用风化煤后土壤胶体特性的变化, 有助于阐明风化煤的改土作用。

风化煤能否与土壤粘粒相互作用, 这是研究风化煤改土作用首先需要探索的一个问

1) 由杜丽同志分析。

题。为了了解风化煤施入土中后,其中的有机质能否与粘粒复合,我们根据施用风化煤的土壤及对照土壤中重组的有机碳量和原土的有机碳量计算了增值复合度。表 5 结果表明,施用 3 年风化煤的土壤增值复合度为 19.1%, 4 年为 24.0%。

表 5 土壤有机无机复合度\*

土 壤	处 理	原 土		重 组		增值复合度 (%)
		碳(%)	碳量增值	碳(%)	碳量增值	
苏打碱化水稻土	施三年风化煤	1.53	5.60	1.01	1.07	19.1
	对 照	1.25	0	0.93	0	—
	施四年风化煤	2.21	4.55	1.28	1.06	24.0
	对 照	1.28	0	1.05	0	--

\* 傅积平、张绍德、褚金海分析

应当指出,一般风化煤中常含有数量不等的灰分,可能作为重组(即比重 > 2 的部分)而混入土壤复合体中,从而影响增值复合度的可靠性。但是,本试验所用的风化煤重组的含量仅为 4.0%, 重组中有机碳含量为 5.56%。按此计算,4 年来施入风化煤 1200 公斤,相当于每公斤土含风化煤重组有机碳 0.000018 公斤。而施用 4 年风化煤后土壤重组有机碳与对照比,增加了 0.0023 公斤,显著大于所施入的风化煤本身的重组有机碳含量。由此可见,土壤重组有机碳的增加量主要是与土壤粘粒复合的风化煤腐殖质,这说明风化煤施入土中后可有部分与土壤相互复合。风化煤与粘粒复合的原因,想来一方面是苏打碱化水稻土的 pH 值较高(表 1),另一方面是该风化煤中易溶性物质较多(表 2)。但是风化煤的有机质增值复合度比绿肥要小。据傅积平、张敬森(1978)的试验资料,连种 3 年黑麦草的土壤,有机质增值复合度可达 83.9%, 苕子为 57.3%。

风化煤施入土后不仅可以同粘粒相互融和,而且可以提高土壤结构的稳定性。表 6 表明,无论是施用 10 年或 4 年风化煤的土壤其水稳性复合体的数量都比对照高,而水分散复合体则相应减少。

表 6 土壤中有有机无机复合体的含量

土 壤	处 理	水分散性复合体		水稳性复合体	
		占全土%	占复合体总量%	占全土%	占复合体总量%
潮 土	施风化煤十年	2.2	16.2	11.4	83.8
	对 照	3.6	31.3	7.9	68.7
苏打碱化水稻土	施风化煤四年	12.0	45.8	14.2	54.2
	对 照	14.3	55.6	11.4	44.4

从土壤复合体的腐殖质结合状况(表 7)来看,潮土施用风化煤 10 年后,松结态、联结态和紧结态腐殖质都有所增加;而苏打碱化水稻土施用 4 年风化煤后,稳结态腐殖质明显地增多。显然,风化煤与土壤的相互作用是个复杂的问题,上述现象是否是由于土壤性质不同所致,尚待进一步研究。

表 7 土壤复合体的腐殖质结合形态

土壤	处理	总碳 (%)	松结态		联结态		稳结态		紧结态	
			%	占总碳%	%	占总碳%	%	占总碳%	%	占总碳%
潮土	施十年风化煤	4.70	0.65	13.8	1.26	26.8	0.26	5.5	2.53	53.9
	对照	2.54	0.20	7.9	0.42	16.5	0.68	26.8	1.24	48.8
苏打碱化水稻土	施四年风化煤	3.75	0.24	6.4	0.27	7.2	1.25	33.3	1.99	53.1
	对照	3.39	0.29	8.6	0.27	8.0	0.18	5.3	2.65	78.1

### (三) 复合胶体的特性

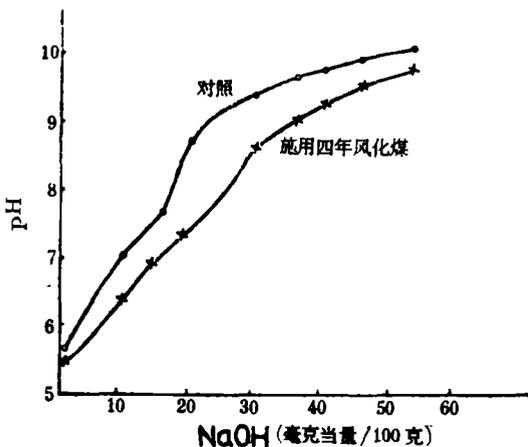
风化煤的腐殖质与土壤中无机胶体作用,将引起土壤复合胶体特性发生变化。施用风化煤的土壤,其复合胶体的粘度似有增加的趋势(表 8)。胶体体系的粘度与分散相的活性容积有关,胶体团聚体的容积包括团聚体中颗粒所拴住的水分,其所占的容积比单独颗粒的总容积大。所以复合胶体的粘度增加。或可说明施用风化煤促进了土壤复合胶体的团聚化作用,这对改善土壤结构状况十分有利,另外,施用风化煤的土壤复合胶体吸水量和阳离子交换量都增加(表 8),从而可增强土壤蓄水和保肥能力。

表 8 土壤复合胶体 ( $<2\mu$ ) 的特性

土壤	处理	阳离子交换量 (毫克当量/ 100克)	吸水量(%)	粘度(厘泊)	比表面积 (米 <sup>2</sup> /克)	电泳速度* (微米/秒)
潮土	施十年风化煤	43.3	95.0	0.835	—	-12.1
	对照	38.3	82.5	0.829	—	-14.6
苏打碱化水稻土	施四年风化煤	37.1	65.4	0.843	263.2	-11.6
	对照	32.9	63.6	0.811	271.3	-16.0

\* 测定时温度为 25℃

Bower (1952) 等人曾指出,土壤中每 1% 有机质平均增加土壤比表面积 7 米<sup>2</sup>/克。在

图 2 施用 4 年风化煤的土壤复合胶体 ( $<2\mu$ ) 缓冲曲线

本工作中,施用风化煤的土壤其复合胶体的比表面积与对照比较接近。武玫玲等(1964)的资料也曾表明,肥力较高的土壤,其复合体的比表面积比肥力较低的土壤低。看来,有机质对土壤比表面积的影响比较复杂。施用风化煤后土壤复合胶体的比表面积的变化,可能有两个原因:一个是风化煤和土壤粘粒相互作用而消耗了表面能;另一方面施用风化煤后土壤复合胶体团聚化作用增强,同是  $<2$  微米的复合胶体其颗粒变大,因而其比表面积有所降低。

风化煤还可增强土壤复合胶体的缓

冲能力。施用 4 年风化煤的土壤复合胶体与对照比, 缓冲性能显著增高, 主要表现在 pH 7.0—10.0 之间(图 2)。

电泳测定结果说明, 所观测的土壤复合胶体都带负电荷, 施用风化煤后复合胶体的电泳速度降低(表 8)。这与 DeSilva 等 (1964) 研究烟煤和高位泥炭的有机胶体和高岭石、蒙脱石、伊利石胶体复合后电泳速度降低结果是一致的。电泳速度降低, 表明土壤复合胶体稳定性下降, 有利于团聚体的形成。

## 摘 要

本文研究了酸性风化煤对土壤胶体特性的影响。

1. 新疆九道弯风化煤中有机物质和活性腐殖质含量较高, 呈酸性, 其羧基、酚羟基和缓冲性能都高于哈密褐煤和吉木萨尔泥炭, 电泳速度也较高。

2. 酸性风化煤能够与土壤(苏打碱化水稻土)粘粒相互作用。施用风化煤后的土壤, 水稳性复合体的含量也增高。土壤复合体的缓冲性能增强, 极限 pH 降低, 阳离子交换量和吸水量增大, 电泳速度降低。这说明施用风化煤后, 在一定程度上可改善土壤复合胶体的物理化学性质, 从而提高土壤肥力。

## 参 考 文 献

- 于天仁编著, 1976: 土壤的电化学性质及其研究法(修订本)。349 页, 科学出版社。
- 中国科学院南京土壤研究所腐肥组, 1977: 关于腐肥改土作用。土壤, 第 5 期, 223—227 页。
- 北京市腐殖酸分析协作组, 1975: 腐殖酸总量分析。化学通报, 第 4 期, 20—24 页。
- 傅积平、张敬森, 1978: 绿肥对于淤土及其复合胶体性质的影响。土壤学报, 15 (1): 83—92 页。
- 武政玲、马毅杰, 1964: 土壤中有有机矿质胶体融和的研究。土壤学报, 12 (2): 196—205 页。
- 罗义真, 1958: 阳离子交换量半微量速测法。土壤学报, 6 (3): 209—212 页。
- 科诺诺娃. M. M., 1963 (周礼愷译, 1966): 土壤有机质。237—238 页, 科学出版社。
- 新疆生物土壤沙漠研究所土壤改良组, 1976: 新疆风化煤改良土壤效果。土壤, 第 5—6 期, 290—296 页。
- 熊毅, 1975: 土壤有机无机复合。土壤农化(参考资料), 第 1 期, 1—15 页。
- 蒋剑敏、沈壬水, 1962: 有机质与铁对土壤等电性质的影响。土壤学报, 10 (4): 355—360 页。
- Anderson, D. W., Paul, F. A. and Arnaud, R. J., 1974: Extraction and characterization of humus with reference to clay-associated humus. *Can. J. Soil Sci.*, 54: 317—323.
- Bower, C. A. and Gahwend, F. B., 1952: Ethylene glycol retention by soil as a measure of surface area and interlayer swelling. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 16: 342—345.
- DeSilva, J. A. and Toth, S. J., 1964: Cation-exchange reactions, electrokinetic, and viscometric behavior of clay-organic complexes. *Soil Sci.*, 97: 63—73.
- Heilman, M. D., Carter, D. L. and Gonzalez, C. L. 1965: The ethylene glycol monoethyl ether (EGME) technique for determining soil surface area. *Soil Sci.*, 100: 409—413.
- Roy, M. M., 1957: On the electrometric titration of humic acid prepared from coal. *Kolloid-Z.*, 153: 174—177.

## THE INFLUENCE OF THE WEATHERED COAL ON THE COLLOIDAL PROPERTIES OF SOILS

Ma Yi-jie

*(Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica)*

Li Shu-gang and Wang Zhou-qiong

*(Xinjiang Institute of Biology, Soil & Desert, Academia Sinica)*

### Summary

The present paper deals with preliminary study on the influence of the highly weathered coal on the colloidal properties of soils in Xinjiang. The results obtained are summarized as follows:

1. The contents of organic matter and active humus in the weathered coal were higher than those in brown coal and peat, and the weathered coal was characterized by a higher content of carboxyl and phenolic hydroxyl groups, a greater buffer capacity and a higher electrophoresis velocity.

2. The results showed that organo-mineral complex was formed by the interaction of weathered coal applied and the clay in soil. The intensity of the organo-mineral complexation increased with increasing amount of weathered coal applied. The characteristics of the organo-mineral complex in the soil applied weathered coal were greater in buffer capacity, CEC and water holding capacity, higher in viscosity and lower in electrophoresis velocity and ultimate pH. From the results mentioned above, it is evident that the application of weathered coal may improve the soil and promote its fertility.