

文章编号: 1000-6524(2001)04-0399-06

# 有机酸与矿物间界面作用研究评述

吴宏海, 胡勇有, 黎淑平

(华南理工大学 造纸与环境工程学院 测试中心, 广东 广州 510640)

**摘要:** 介绍了近年来有机酸与矿物之间相互作用的研究进展。重点探讨有机酸与矿物间相互作用的环境意义、作用模式以及低分子量有机酸和高分子量腐殖酸在与矿物作用时各自的特点和彼此间的差异。有机酸-矿物界面作用控制着金属、有机污染物的迁移、转化与归宿以及生物可给性。有机酸-矿物界面作用存在多种模式, 主要受有机酸和矿物的活性基团类型、含量分布以及有机酸分子量大小和疏水性等因素的影响。

**关键词:** 矿物; 有机酸; 界面作用

**中图分类号:** P57      **文献标识码:** A

在水体、土壤等表生环境中, 有机质、粘土矿物及金属(氢)氧化物等颗粒物分布广泛, 且大都以胶体或微细颗粒物形式存在, 含有多种活性基团, 之间存在复杂的界面作用。一方面, 有机质可以改变矿物的表面化学性质, 决定矿物颗粒物在环境中是分散迁移还是凝聚沉积, 甚至还影响到矿物表面的吸附、溶解、结晶生长等过程, 从而控制着环境元素与化合物的环境地球化学与生物地球化学循环。另一方面, 矿物的表面特性也影响着表生环境中有机质的迁移、降解与聚合过程, 既有表面催化促进化学分解与聚合、光降解等, 又有表面吸附抑制表生迁移与生物降解。土壤胶体微粒( $< 2 \mu\text{m}$ )去除有机质后, 负电荷量下降, 这说明有机质特别是腐殖质对负电荷的贡献, 且一定单位的有机质对负电荷的贡献随我国土壤类型从北到南的变化有逐渐增大的趋势, 这是因为我国土壤矿物组成从北到南蒙脱石逐渐减少、高岭石逐渐增加。

研究表明, 有机酸与矿物的界面作用不同程度地影响着金属和有机污染物的迁移转化和生物可给性<sup>[1]</sup>。例如, 矿物-水界面作用控制着矿物的表面溶解, 从而影响有毒金属离子的析出。有机酸在矿物表面风化过程中所起的作用还不十分清楚, 然而铝离子从粘土和氢氧化物中溶出被认为是近年来森林减少、鱼和其他水生生物受到毒害的主要原因。由于天然有机酸相对其他有机质而言在自然界分布比较广, 其中腐殖酸一般可占天然有机质的50%以上, 所以, 本文重点探讨有机酸与矿物间的相互作用。

## 1 天然有机酸的主要类型与特点

### 1.1 低分子量有机酸

低分子量有机酸主要来源于动植物残体的分解、微生物代谢、植物根系的分泌和施入土壤有机物的转化, 主要包括脂肪族和芳香族两大类, 其取代酸有羟基酸、羧基酸和氨基酸。低分子量有机酸水溶性好, 酸性较强, 但活性基团数较少, 一般在表生环境中具有较强迁移活性, 受溶液pH值的影响较小, 但它们的产生与环境微生物的数量、活性密切相关, 故其含量的变化较大。它们在农业和森林土壤系统中含量虽低(一般情况下约为 $10^{-2} \sim 10^2 \mu\text{mol/L}$ ), 但广泛存在。近年研究表明, 这些低分子量有机酸在土壤矿物的风

收稿日期: 2001-05-08; 修订日期: 2001-09-28

作者简介: 吴宏海(1965-), 男, 博士, 矿物学专业, 研究方向为水环境与水处理技术。

化与形成、根际环境变化与营养转化、土壤生物活性等一系列物质循环中起着重要作用<sup>[2]</sup>。

常见低分子量脂肪酸及其取代酸有:甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、乙醛酸、乳酸、草酸、乌头酸、琥珀酸、苹果酸(羟基丁二酸)、巴豆酸(2-丁烯酸)、马来酸(顺丁烯二酸)、富马酸(反丁烯二酸)、酒石酸(2,3-二羟基丁二酸)、柠檬酸(2-羟基-1,2,3-丙烷三酸);常见低分子量芳香族有机酸及其取代酸有:苯甲酸、三羟基苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、芥酸、肉桂酸( $\beta$ -苯基丙烯酸)、阿魏酸、香豆酸、丹宁酸、苯乙酸、苯基丙酸、1-萘甲酸等;常见的氨基酸有:天冬氨酸、甘氨酸、谷氨酸等20多种。

### 1.2 高分子量有机酸

天然腐殖酸是对水质和土壤质量影响最大的一类高分子量的有机物质。它和简单有机物不同,是生物体物质在土壤、水和沉积物中由微生物次生合成的。腐殖质是有机高分子物质,分子量在300到30000以上。一般根据其在碱和酸溶液中的溶解度划分为3类:胡敏酸(humic acid)、富里酸(fulvic acid)、腐黑物(humin)。实际上,富里酸、胡敏酸和胡敏素(腐黑物)构成腐殖酸从黄色到黑色的酸性系列,它们之间并没有明显的不同,只是高分子量聚合物的各部分,分子量、C含量、氧含量、酸度和CEC的变化趋势为:胡敏素>胡敏酸>富里酸,N含量依相反方向变化。腐殖质(酸)可看作它们的混和物。

腐殖质中脂肪结构占37%,芳香结构占21%,它包含的各种含氧功能基主要有:羟基、酚羟基、醇羟基、醌羰基、酮羰基和甲氧基等。这些活性基团的存在决定了腐殖酸的酸性、亲水性、离子交换性、络合能力及较高的吸附能力。胡敏酸的羧基较之富里酸少,它的醌基又比富里酸多。富里酸的酚羟基含量与胡敏酸相近,羧基明显地大于胡敏酸,所以富里酸具有更强的酸性特征。研究也表明,胡敏酸较之富里酸对重金属离子具有较强的络合能力与固定能力。弱碱弱酸强结合,水溶性差而容易沉积固着。

矿物对腐殖质的吸附配合作用受溶液pH值的影响很大,这主要是因为随着溶液pH值变化,腐殖质的基团发生变化,即pH值降低时基团发生质子化,腐殖酸呈中性分子,只有氢键作用,水溶性降低;pH值升高时基团去质子化,腐殖酸则呈荷负电性的阴离子配体,水溶性增强,当pH>7时腐殖质都变为荷负电性的阴离子配体。

## 2 有机酸与矿物表面作用

### 2.1 界面作用类型

由于有机酸化合物分子中常常有多个配位基,与无机离子一样,可与矿物表面形成多种配合物。阴离子配体与矿物表面的羟基型功能基或Lewis酸位反应,称配合反应。如果溶液中存在金属离子,还有可能形成三元配合物<sup>[3]</sup>。有机酸与金属氧化物、粘土等矿物之间的键合机制至少存在下面几种模式<sup>[4]</sup>:阴离子交换(anion exchange; electrostatic interaction)、配体交换表面配位(ligand exchange surface complexing)、疏水性作用(hydrophobic interaction)、熵效应(entropic effects)、氢键作用(hydrogen bonding)和阳离子键桥(cation bridging)。

低分子量有机酸和高分子量腐殖酸在与矿物表面作用时都存在上述反应特性,但由于有机酸的活性基团类型与含量分布、分子量大小及疏水性等因素的差异而有所不同。针对有机质(酸)-重金属-矿物三元配合物的可能结构特征<sup>[5]</sup>,Stumm和Leckie提出两种配合模型,即表面配合物根据金属离子与有机基团(L)相对位置而分为I型S-M-L和II型S-L-M,其中S代表吸附位,M代表金属离子。目前,天然有机质,主要是有机酸,在促进和阻止金属吸附方面所起的作用尚未完全清楚。例如,Liu等对蒙脱石-腐殖酸-重金属离子体系的研究表明,矿物表面形成的三元配合物最可能的结构为I型<sup>[5]</sup>;Benyahya等有关氧化硅、氢氧化铝和高岭石等矿物对水杨酸吸附性的研究则认为,矿物表面形成的三元配合物的结构为II型<sup>[6]</sup>。

### 2.2 低分子有机酸与矿物表面作用

有机酸对磷、铝、铁和重金属的活化与抑制作用的研究已经比较深入,这也是有机酸与矿物间界面作用研究的重要内容。秦瑞君等对低分子有机酸离子在降解土壤铝毒作用研究的结果表明<sup>[7]</sup>,许多低分子

有机酸离子可以对铝进行络合,使铝的活性降低,从而削弱铝毒。有机酸在土壤养分活化、特别是提高磷素的有效性中的作用不容忽视。

有机酸影响铁铝氧化物对磷的吸附机理,目前认为主要有3种<sup>[8]</sup>:①有机酸引起铁铝氧化物溶解,导致吸磷介质减少;②有机酸根离子被吸附到铁铝氧化物表面的某些点位上,通过堵塞点位而减少吸附磷酸根的有效面积,当溶液中有机阴离子浓度达一定程度时甚至可导致吸附磷的解吸;③有机酸根的吸附可改变铁铝氧化物的表面电性,从而增大磷酸根吸附的静电排斥作用。此外,对铝从矿物表面溶出与解毒作用的研究表明<sup>[9]</sup>,有机酸与铝在溶液中形成稳定络合物或螯合物,可促使矿物表面铝溶出(风化)。尽管溶液中总铝量有增高,但铝的毒性减弱。

酚酸被普遍认为是作物生长的抑制剂<sup>[10]</sup>。植物凋落物在土壤中受微生物作用腐解时,也会产生酚酸。作物根系分泌的脂肪酸在根际环境中的积累,尤其是在还原条件下的积累会造成局部土壤酸性化,当达到一定浓度时可直接抑制作物的生长与发育。Tang等研究 *Bigalim pograss* 根系分泌物的化学感作用时指出,根系分泌物中作物生长抑制剂主要是酚类化合物,并采用气相色谱-质谱联用分离检测出了苯甲酸、苯乙酸、肉桂酸等16种酚类化合物。Huang研究土壤非晶形的Fe-Al水合物和粘土矿物对酚酸的吸附性能时,指出高岭石、伊利石、蛭石对酚酸的吸附顺序为:对-羟基苯甲酸>香豆酸>阿魏酸>紫丁香酸>香草酸,蛭石的内表面对酚酸吸附没有太大的影响,这是由于层间的空间阻隔和负排斥所致,并且发现从土壤去掉非晶形的倍半氧化物可以大大减少土壤对酚酸的吸附,这是由于非晶形Fe-Al水合物本身带有的Al-OH与Fe-OH的正电荷基团与酚酸物质所带负电荷的羧基与酚羟基容易吸引所致,因而,非晶形的羟基Fe与羟基Al对酚酸的吸附速率和容量远远高于高岭石、伊利石和蛭石。另外有机酸在活化土壤营养元素、吸附重金属方面具有重要作用<sup>[11]</sup>。有机酸对重金属的强络合性,可以打破矿物表面业已建立的对重金属离子的吸附平衡,这在根际环境中表现得更为显著。

从模式上进行深入研究,Evanko等采用表面配合模式对针铁矿吸附有机酸进行的研究表明,有机酸的疏水性影响其在矿物表面的吸附,这在疏水性强的含脂肪链的有机酸较之含单环或双环的有机酸表现得更明显<sup>[12]</sup>。Geffroy等采用表面配位模式对方解石吸附有机羧酸进行的研究表明,方解石表面基团与有机酸功能团相互作用形成表面螯合物,五元环最稳定,其次是六元环,再是七元环<sup>[13]</sup>。表面螯合物的形成不仅与有机酸功能团的结构有关,而且还与方解石的表面位形态有关。有机羧酸与方解石反应,除具有与其他矿物类同的反应特征之外,还具有方解石自身的特殊性,表面吸附羧酸根的表面位是 $>Ca(OH)_2^+$ ,且当发生反应时, $>Ca(OH)_2^+$ 脱去水,呈 $>Ca^+$ 与阴离子基团键合生成表面螯合物。

张正斌等的研究表明,当不加金属离子即 $C_{Cu(II)} = 0$ 、甘氨酸浓度为 $1.57 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 时,其高岭石上的交换吸附较低,当加入不同浓度铜离子时则引起 $E_L(\%) - \text{pH}$ 曲线的变化,并随着 $C_{Cu(II)}$ 浓度增大,铜离子的加入对甘氨酸在高岭石上的交换吸附有明显的促进作用:随加入 $C_{Cu(II)}$ 浓度增加, $E_L(\%)$ 值也随之增大,但当 $C_{Cu(II)}$ 浓度大到一定数值后, $E_L(\%)$ 不再变更<sup>[14]</sup>。当在上述体系中加入 $\text{Cu}^{2+}$ 时,在实验pH范围内,首先因阳离子交换高岭石与 $\text{Cu}^{2+}$ 交换吸附生成 $\equiv\text{SO}-\text{Cu}$ ;尔后再与甘氨酸作用生成液-固界面三元络合物,即I型界面三元络合物( $\equiv\text{SO}-\text{M}-\text{L}$ )。天冬氨酸在高岭石上的交换吸附,与甘氨酸体系相类似,当加入不同浓度铜离子时,也生成I型液-固界面三元络合物。与此相反,刘晓兰等的研究表明,一定浓度范围内氨基酸对铜离子在高岭石上的交换吸附百分率 $E_{Cu(II)} - \text{pH}$ 关系曲线(S型曲线)的影响有“左右摆动”规律,即:低于某一浓度值时,氨基酸的加入使交换吸附百分率 $E_{Cu(II)}$ 增加,表现为S型曲线左移;高于该浓度值时,氨基酸的加入使交换吸附百分率 $E_{Cu(II)}$ 降低,表现为S型曲线右移,而且在高浓度时曲线形状有明显的变化,不再呈S型,并认为体系有II型(SOHLM)形成<sup>[15]</sup>。这说明在 $\text{Cu(II)} - \text{氨基酸} - \text{高岭石}$ 体系中,不同浓度的氨基酸对 $\text{Cu(II)}$ 在高岭石上的离子交换影响机理是不同的。在氨基酸浓度低时,首先是氨基酸与高岭石表面作用,覆盖了高岭石表面的活性点,并形成新的对微量金属作用更强的交换中心,且极少量的氨基酸就可大大促进微量元素 $\text{Cu(II)}$ 与高岭石的交换作用,结果促进了固体表面与 $\text{Cu(II)}$ 的结合,因此推测有II型(即 $\equiv\text{S}-\text{L}-\text{M}$ 型)三元表面络合物。三元配合物与水体中的游离铜离子的

毒理作用及其络合作用有关,这两种作用对诸如海洋浮游生物具有重要的意义。

### 2.3 腐殖酸与矿物表面作用

腐殖酸-矿物体系的界面性质,主要决定于腐殖质和矿物上基团的类型、含量分布与反应活性。腐殖酸被认为是重金属、有机污染物的重要吸着剂,但其作用机理有待深入研究。

目前,研究比较多的是从土壤肥力机制角度研究矿物与腐殖酸的复合作用<sup>[16~18]</sup>。土壤中有有机无机复合作用不仅对土壤结构有重要影响,而且决定着土壤的表面性质,故影响土壤的肥力。土壤中腐殖质-矿物复合体主要是钙键复合体(腐殖酸-Ca\_矿物)、铁键复合体(腐殖酸-Fe\_矿物)、铝键复合体(腐殖酸-Al\_矿物),也还有少量微量元素所构成的复合体,如铜、锌、锰等。各种有机矿质复合体具有各自相应的稳定性,并在一定环境条件下可发生转化,从而影响土壤对营养元素、有毒元素的调控作用。在钙键、铁键、铝键3种类型的复合体中,以铁键复合体最稳定,铝键复合体次之,而钙键复合体最不稳定。腐殖酸-矿物的界面特性在水处理中有重要作用。刘振儒等对富里酸(FA\_矿物悬浊液)体系电动特性的研究表明,当pH值=6左右时,加入FA的浓度在5mg/L以内时,二氧化硅、高岭石和蒙脱石等胶粒的Zeta电位值显著下降,随后变化趋于平缓<sup>[19]</sup>。这说明天然水体腐殖酸FA易吸附在矿物颗粒上而增加其表面负电荷量,进而增加了它们在水中的稳定性。混凝实验则表明,对同种矿物胶粒,随着FA量的增大,相同剂量下聚合氯化铝絮凝剂(PAC)使其凝聚能力有所下降。正是因腐殖酸可降低粘土胶粒之Zeta电位值,因而在陶瓷注浆泥料中被用作解凝剂和稳定剂。腐殖酸(钠)与陶瓷泥料的作用,实质上是同高岭石和绢云母粘土矿物的作用。若高岭土悬浮液中加入腐殖酸钠,则腐殖酸分子中的部分COO<sup>-</sup>首先被吸附于荷正电性的高岭石晶体边缘上,或与边缘上的多价阳离子结合,而腐殖酸的另一部分COO<sup>-</sup>朝向溶液,使粘土电荷发生反转,负电性增强,与溶液中的Na<sup>+</sup>离子构成扩散双电层,有效地增加了胶体的稳定性,降低了粘度。Zeta电位绝对值增加,双电层变厚,原先细管状的晶粒相互缔合成的网状结构被拆散,使其颗粒充分分散,粘土外围的吸附水化膜(牢固结合水)增厚,而多余的自由水被释放出来,这样粘土矿物颗粒之间的距离虽然近了,但像涂了一层润滑油一样,自由移动能力增强,塑性和流动度增强。由于多余的自由水被排除,粘土矿物颗粒间的相对距离减小,当水分大部分蒸发后,粘土矿物颗粒之间更加紧密,孔隙率减小,密度增加,所以强度和吸附(釉料)能力也增强<sup>[20]</sup>。

腐殖酸在工业水处理中可作为阻垢剂。这是因为结垢碳酸钙是离子晶体,在晶格结点上阴阳离子交替排列,从锅炉水中析出的碳酸钙晶粒表面力场不均一,如表面有>Ca<sup>+</sup>吸附位,将对腐殖酸阴离子发生吸附作用,部分结合成的腐殖酸钙凝结成絮状沉淀包裹碳酸钙细小晶粒,从而抑制碳酸钙在晶格上的有序排列,使生成的晶体细小而分散。此外,由于空间位阻,从炉水中析出的腐殖酸钙沉淀物中钙离子有50%~75%以上的电价未被饱和,故带静电水渣相互排斥,分散性好,易于流动而不结垢。

### 2.4 腐殖酸、低分子量有机酸与矿物作用的差异

对于高分子腐殖酸来说,除了有各种活性基团外,还有强疏水性基团,疏水性比低分子量有机酸明显。因此,在矿物对腐殖酸的吸附模式研究中,就不能忽略疏水性。正是疏水性这个原因,在采用配位模式时,拟合结果腐殖酸不如低分子量有机酸理想。

低分子量有机酸与腐殖酸的水溶性不同,表现在对重金属、有机污染物的活化转移与滞留作用上有很大不同。腐殖酸含有较多的基团和较大分子量,因而,腐殖质在与矿物表面结合时,还可强烈地与金属离子络合或螯合,起着架桥作用,使得重金属易被固定下来。相反,低分子量有机酸与金属作用后就容易离开矿物表面而迁移,有“活化”重金属离子的功效。此外,低分子量有机酸比腐殖酸易迁移、转换,易被生物吸收、分解使含量降低,因而表生环境中有机质主要是以腐殖酸形式存在。实际上,许多低分子量有机酸只是有机质为微生物分解的中间产物,在环境适当的条件下还可进一步被分解。这使得有毒物质的污染效应又会暴露出来。例如施用有机肥的过程中,开始时有机酸含量高且对重金属离子的络合作用强,经过一段时间后有机酸含量减少而降低对重金属离子络合作用,导致作物受重金属污染。腐殖质本身不仅是致癌前驱物质,而且是水中有毒有机物的良好载体,因此,腐殖质在水中的稳定性会增大饮用水的不安全性,随着有毒污染物的日益增多,水体中腐殖质携带有毒有机物的机会也会增多。

### 3 结束语

有机酸与矿物的界面作用,在工农业、环境保护中有重要意义,但有许多问题还有待于深入研究。目前学术界在对有机矿质复合体的研究中,关注较多的是有机酸的性状,它对矿物所起的作用研究得不多。应用矿物表面化学理论,对有机酸与矿物的界面作用的研究,必将成为环境矿物学的一个重要研究方向。

#### 参考文献:

- [1] Koretsky C. The significance of surface complexation reactions in hydrological systems: a geochemist's perspective[J]. *J. of Hydrology*, 2000, (230): 127~ 171.
- [2] 沈阿林,李学垣,吴受容. 土壤中低分子量有机酸在物质循环中的作用[J]. *植物营养与肥科学报*, 1997, 3(4): 363~ 371.
- [3] 吴大清,刁桂仪,魏俊峰,等. 矿物表面基团与表面作用[J]. *高校地质学报*, 2000, 6(2): 225~ 232.
- [4] Shen Y H. Sorption of humic acid to soil: The role of soil mineral composition[J]. *Chemosphere*, 1999, 38(11): 2489~ 2499.
- [5] Liu A and Gonzalez R D. Adsorption/desorption in a system consisting of humic acid, heavy metals, and clay minerals[J]. *J. Colloid and Interface Sci.*, 1999, 218: 225~ 232.
- [6] Benyahya L and Garnier J M. Effect of Salicylic acid upon trace-metal sorption (Cd, Zn, Co and Mn) onto alumina, silica, and kaolinite as a function of pH[J]. *Environ. Sci. Technol.*, 1999, 33: 1398~ 1407.
- [7] 秦瑞君,陈福兴. 低分子量有机酸离子对降低土壤铅毒的作用[J]. *土壤肥料*, 1996, (5): 12~ 14.
- [8] 胡红青,李学垣,贺纪正. 有机酸对铝氧化物吸附磷的影响[J]. *植物营养与肥科学报*, 2000, 6(1): 35~ 41.
- [9] 徐仁扣. 有机酸对酸性土壤中铝的溶出和铝离子形态分布的影响[J]. *土壤*, 1998, (4): 214~ 217.
- [10] 张淑香,高子勤. 连作障碍与根际微生态研究 II. 根系分泌物与酚酸物质[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 152~ 156.
- [11] 姚爱军,青长乐,牟树森. 腐殖酸对矿物结合汞植物活性的影响[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(3): 215~ 219.
- [12] Evanko C R and Dzombak D A. Surface complexation modeling of organic acid sorption to goethite[J]. *J. Colloid and Interface Sci.*, 1999, 214: 189~ 206.
- [13] Geffroy C, Foissy A and Persello J, *et al.* Surface complexation of calcite by carboxylates in water[J]. *J. Colloid and Interface Sci.*, 1999, 211: 45~ 53.
- [14] 张正斌,刘效兰. 海水中铜离子对氨基酸-粘土体系-固界面作用的影响[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, 29(2): 325~ 331.
- [15] 刘效兰,张正斌. 海水中氨基酸对 Cu(II) -粘土粒子相互作用的影响[J]. *北京轻工业学院学报*, 1999, 17(2): 70~ 75.
- [16] 徐建民,袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 VII 土壤结合态腐殖质的形成特点及其结合特征[J]. *土壤学报*, 1995, 32(2): 151~ 158.
- [17] 徐建民,赛夫,袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 IX. 钙键复合体和铁铝键复合体中腐殖质的性状特征[J]. *土壤学报*, 1999, 36(2): 168~ 178.
- [18] 侯惠珍,徐建民,袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 X. 有机矿质复合体转化的初步研究[J]. *土壤学报*, 1999, 36(4): 470~ 476.
- [19] 刘振儒,赵春禄,栾兆坤. 粘土矿胶粒及其富含里酸悬浊体系的电动特性[J]. *环境化学*, 2000, 19(2): 120~ 124.
- [20] 何立千. 生物技术黄腐酸的研究和应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.

## A Review on Interactions at the Interface between Organic Acids and Minerals

WU Hong\_hai, HU Yong\_you and LI Shu\_ping

(Paper & Environmental Engineering College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In this paper, the recent advance in the study of the interactions between minerals and organic acids (both of small molecules and of large molecules) is presented. The stress is placed on the environmental significance and the mechanisms of the interactions at the interface between organic acids and minerals. The characteristics associated with the interactions and the difference in reactivity between small molecule organic acid and humic acid are discussed too. The interactions can control the transport, transformation and eventual fate of metals and organic contaminants as well as nutrient availability for biota. The interactions involve coexisting multiform mechanisms. The mechanisms are mainly affected by such factors as surface functional groups of organic acids and minerals, their content distribution, and the molecule mass and hydrophobic property of organic acids. The objective of this study is to raise the understanding of the interactions between minerals and organic acids as well as their environmental significance.

**Key words:** minerals; organic acids; interactions at interface

www.yskw.ac.cn