

抗坏血酸与针铁矿之间的电化学反应的研究*

李清曼 季国亮

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 土壤在淹水条件下, 氧化铁是土壤中主要的电子接受者之一。本文利用抗坏血酸和针铁矿模拟研究了土壤中的有机还原性物质与氧化铁之间的反应。结果表明: 在抗坏血酸与针铁矿作用的过程中, 由于溶液中质子被消耗, 溶液的 pH 上升, 质子的消耗量随着抗坏血酸加入量的增加而增加。质子消耗的动力学曲线表明, 抗坏血酸与针铁矿之间的作用属于异相反应, 达到平衡所需要的时间较长。在反应的初期, 二价铁的还原溶出速率很慢, 在较长的时间内溶液中二价铁浓度不发生变化。pH 对抗坏血酸与针铁矿之间的反应有影响, pH 上升, 反应速率受抑制, pH 下降, 反应速率加快。从不同 pH 条件下的抗坏血酸的峰电位的测定结果推断, pH 对抗坏血酸与针铁矿反应的影响可能通过影响针铁矿表面化学性质来实现的。

关键词 抗坏血酸, 氧化铁, 电化学反应

中图分类号 O6457.11

氧化还原反应是土壤中基本的反应之一^[1~3]。在嫌气条件下, 土壤中的植物残体, 施入土壤中的新鲜有机物质等, 经微生物分解产生许多具有还原性的有机物质^[4~6]。这些还原性的有机物质和土壤中固有的具有氧化性的物质一起组成了土壤中的氧化—还原体系。土壤中氧化性物质和还原性物质的量决定了土壤的氧化还原状况^[5]。而土壤的氧化还原状况直接影响土壤的理化性质, 从而影响作物的生长及土壤中污染物的迁移、转化等^[7~9]。所以土壤的氧化还原电位是除 pH 外影响最深刻而广泛的指标。

氧化铁是土壤粘土矿物的组成部分。当土壤中的氧气供应受阻时, 它可以接受还原性物质提供的电子, 氧化铁中三价铁就变成二价铁, 所以三价铁的氧化物是土壤中的氧化性物质。土壤中存在多种氧化性物质, 但铁在土壤中的含量是其它氧化性物质含量总和的许多倍。因此土壤中铁的氧化还原反应被看作是土壤中氧化还原反应的中心问题^[1]。近年来, 随着环境污染的加剧和生态环境的恶化, 土壤中的氧化铁与有机还原性物质越来越受到重视。

抗坏血酸普遍存在于生物体中, 具有较强的还原能力, 是一种常见的有机还原性物质。本文利用电化学方法研究了抗坏血酸与针铁矿之间的氧化还原反应, 以揭示土壤中的有机还原性物质与氧化铁之间的氧化还原反应机理。

1 实验材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器 PAR174 极谱仪(Princeton Applied Research Company, USA)、X-Y 记录仪(2000-recorder, Houston, USA)、铂电极(自制)、氯化银电极(自制)、玻碳电极(江苏电分析仪器厂)、自动滴定仪(TTT85 Titrator, 丹麦)、电化学测量池及玻碳电极更新装置(示意图如图 1)。

1.1.2 试剂 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (优级纯, 上海试剂厂)、NaOH(优级纯, 上海试剂厂)、高氯酸(优级纯, 上海桃浦化工厂)、盐酸(优级纯, 南京化学试剂厂)、抗坏血酸(分析纯, 南京化学试剂厂)、碘酸钾(分析纯, 上海化学试剂公司)、草酸(分析纯, 南京化学试剂厂)、碘化钾(分析纯, 上海化学试剂采购站)、 α - α' 联

* 国家自然科学基金项目(49831005, 49971045)资助

收稿日期: 2001-11-06; 收到修改稿日期: 2002-01-15

吡啶(分析纯,上海试剂一厂)。

1.2 材料制备及溶液配制

1.2.1 针铁矿的制备 称取 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 50g, 加入去离子水 825ml, 配制成硝酸铁溶液。另配制一定体积浓度为 2.5 mol L^{-1} NaOH 溶液。将配制好的 NaOH 溶液以 5 ml min^{-1} 的速度逐滴加入到上述硝酸铁溶液中, 并不断地搅拌。NaOH 溶液的加入量约为 180 ml, 最终溶液的 pH 值大于 12.0。将上述悬浮液在 60°C 恒温箱中保温 48 h, 并不时搅拌, 最后将氧化铁的悬浮液电渗析, 直到电渗析液中的阴离子达到要求。将电渗析好的氧化铁悬浮液转移到蒸发皿中澄清, 除去上清液后在红外灯下烤干。经粉碎过 60 目筛后, 贮存备用。X 衍射分析的结果表明, 该方法制备的氧化铁主要为针铁矿。

1.2.2 针铁矿悬浮液的制备 称取 0.40 g 氧化铁于 50 ml 烧杯中, 加水 40 ml, 用 0.024 mol L^{-1} HClO_4 调节 pH 至 5.0 左右。放置平衡 3 d。

1.2.3 抗坏血酸标准溶液的配制 称取一定量的抗坏血酸, 配制浓度约为 0.02 mol L^{-1} 抗坏血酸溶液, 每次使用前用稀 NaOH 溶液将 pH 调到 5.0 左右, 并进行标定^[10]。

1.3 研究方法

1.3.1 质子消耗量的测定 在搅拌的情况下, 用 20 ml 移液管吸取平衡好的针铁矿悬浮液置于反应池中, 通入高纯 N_2 30 min, 除去溶液中的氧气后, 用移液管吸取一定量的抗坏血酸标准溶液, 从反应池的氮气进气口加入到反应池。同时打开自动滴定仪的开关, 利用高氯酸标准溶液将溶液 pH 返滴定到反应前的值, 所消耗的高氯酸的量即为针铁矿与抗坏血酸反应过程中所消耗的质子量。

1.3.2 反应过程中抗坏血酸浓度的变化 在搅拌的情况下, 用 20 ml 移液管吸取平衡好的氧化铁悬浮液置于反应池, 再吸取 2 ml 氯化钾溶液(支持电解质)并加入反应池中, 打开自动滴定仪的开关, 用稀的高氯酸将 pH 调到原来的值。用注射器将氧化铁的悬浮液从电化学测量池的氮气进气口转移到电化学测量池中。通入高纯氮气 30 min, 除去电化学测量池中的氧气后, 用移液管加入一定量的抗坏血酸。同时打开极谱仪的开关, 在不同时间间隔内利用示差脉冲伏安法测定抗坏血酸的浓度。

1.3.3 二价铁离子的测定 二价铁离子的测定与抗坏血酸的测定基本相似, 只是在电化学测定池中加入一定量的联吡啶, 利用二价铁离子与联吡啶的络合物进行测定。

进行伏安法测定的工作条件是: 扫描速率为 5 mV s^{-1} , 脉冲电压为 50 mV, 电流范围为 $5 \mu\text{A}$ 或 $25 \mu\text{A}$, 工作电极为玻碳电极, 银-氯化银电极为参比电极, 铂电极为对电极。

2 结果

2.1 反应过程中质子的消耗

氧化铁在发生还原反应时, 在得到电子的同时需消耗质子, 因此可以导致反应体系 pH 升高。本工作应用高氯酸返滴定的方法, 研究了抗坏血酸加入针铁矿悬浮液后质子消耗的情况。图 2 所示为抗坏血酸加入量与质子消耗量的关系。由图 2 可见, 随着抗坏血酸加入量的增加, 质子的消耗量逐渐增加, 但加入单位抗坏血酸导致的质子消耗量却逐渐减少。这种现象与通常的固-液界面反应的特征类似。这是由于抗坏血酸与针铁矿之间的反应属异相反应, 在不同时间针铁矿与抗坏血酸发生反应的位点的数量和活性不同所致。

2.2 质子消耗动力学

为了研究针铁矿与抗坏血酸反应的动力学过程, 本工作应用高氯酸返滴定的方法测定不同时间质子的消耗量。图 3 表明, 随着反应时间的延长, 所消耗的质子数量增加。质子的消耗速率大致可分为三

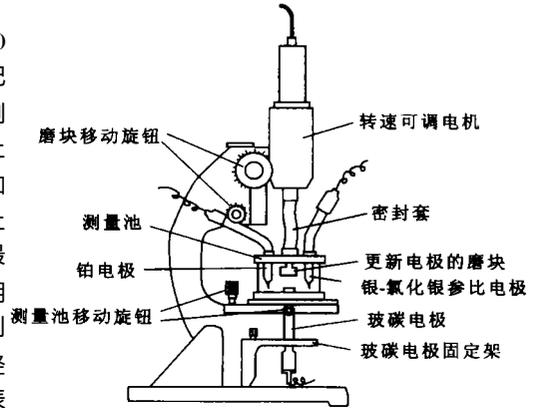


图 1 电化学测量池及玻碳电极表面更新装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of measuring cell and device for surface renewal of solid electrode

个阶段。在第一阶段,质子的消耗很快。在反应的前 1 min 内,质子消耗量可占消耗总量(以反应 40 min 计)的 40%左右。第二阶段,质子消耗速率有所减缓。在反应 1~ 17 min 内,质子消耗量占消耗总量的 42%左右。在第三阶段,质子的消耗量与时间呈线性关系,但增幅较小,持续时间较长。

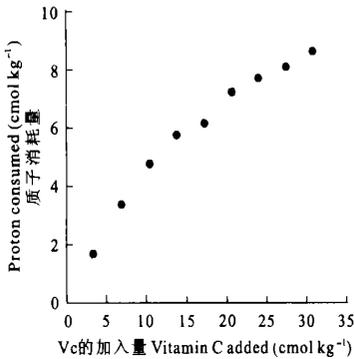


图2 抗坏血酸的加入量与质子消耗量的关系

Fig.2 Relationship between vitamin C added and proton consumed

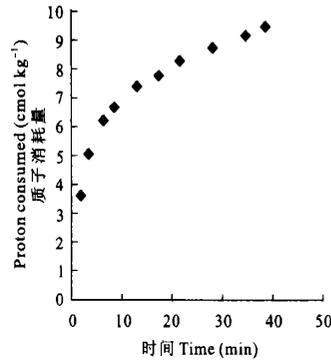


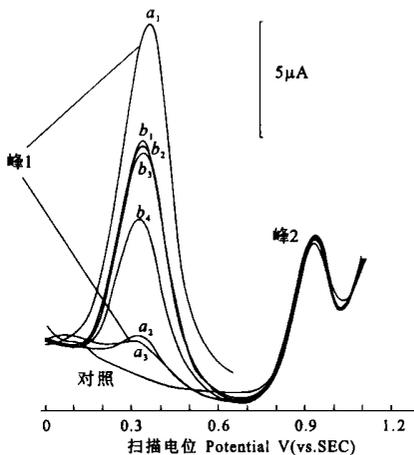
图3 抗坏血酸与针铁矿作用过程中质子消耗的动力学曲线

Fig.3 Kinetics curve for proton consumed

2.3 抗坏血酸浓度的变化

为了研究抗坏血酸与针铁矿反应的动力学,在 pH 维持恒定(α-α' 联吡啶在 pH5~ 6 具有缓冲能力)的情况下于 20 ml 含 0.2 g 针铁矿的悬浮液中加入 1 ml 浓度为 $3.5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 的抗坏血酸溶液后,在

不同时间用固体电极伏安法原位测定悬浮液中抗坏血酸的浓度。由图 4 可见,当将抗坏血酸加入悬浮液后 2 min 时,悬液中仍有游离抗坏血酸存在。可以计算出来其量只有加入的抗坏血酸总量的 4.8%左右。6 min 以后,抗坏血酸的峰已基本消失。说明此时悬浮液中已不存在游离的抗坏血酸。当向该体系中加入一定量 F^- 离子后再用固体电极伏安法原位测定抗坏血酸时。结果表明并未出现抗坏血酸的峰。说明抗坏血酸没有被针铁矿吸附,而是与后者发生了氧化还原反应。



a 系列为第一次加入抗坏血酸后的连续测定 (a₁为加入氟离子后的测定); b 系列为第二次加入抗坏血酸后的连续测定。峰1为抗坏血酸的峰电流; 峰2为二价铁离子的峰电流。

图4 抗坏血酸和二价铁连续测定结果

Fig.4 i-E curves of successive determination for vitamin C and ferrous ion

2.4 溶液中亚铁离子浓度的变化

在与抗坏血酸发生氧化还原反应时,针铁矿中的三价铁离子得到抗坏血酸给予的电子可以还原为亚铁离子。由于溶解度的差异,此时溶液中亚铁离子的浓度应该增大。图 4 为将一定量的抗坏血酸加

由此也可看出,抗坏血酸与针铁矿的反应速度较快。如果再次向上述悬浮液一次性加入 $14 \mu\text{mol}$ 抗坏血酸,并在不同时间用固体电极伏安法检测悬浮液中抗坏血酸的浓度,在伏安曲线上可以得到抗坏血酸的峰。图 4 中的 b_1 、 b_2 、 b_3 和 b_4 分别为 2、5、10 和 75 min 后测定的抗坏血酸的峰。结果表明,与第一次加入抗坏血酸的情况相比,第二次加入的抗坏血酸与针铁矿的反应速率较前者慢得多。第二次加入抗坏血酸后,其浓度迅速下降。但 2 min 后,下降速度减慢。主要是由于将抗坏血酸加入针铁矿悬浮液后,针铁矿表面参与氧化还原反应的点位逐渐减少,使其与抗坏血酸的氧化还原反应速率减慢。

入针铁矿悬液后,用固体电极伏安法所得到的伏-安曲线。图中的峰 2 为加入抗坏血酸后 2~75 min 内不同时间测得的 Fe^{2+} 的峰。可见在将抗坏血酸加入针铁矿悬浮液后 75 min 内,悬浮液中亚铁离子的浓度几乎没有变化。说明溶液中由三价铁离子还原而来的亚铁离子极少。反应持续 12 h 后得到的伏安曲线(图 4 中未给出)表明,溶液中的亚铁离子浓度略有增加。这说明,在针铁矿与抗坏血酸发生氧化还原反应时,亚铁离子的溶出速率很小。

2.5 pH 对针铁矿与抗坏血酸反应的影响

因为针铁矿的还原反应是一个消耗质子的过程,在针铁矿与抗坏血酸发生氧化还原时,溶液的 pH 应该升高。本工作用酸调节反应体系的 pH,同时用固体电极伏安法测定反应过程中抗坏血酸的浓度,以研究 pH 对针铁矿与抗坏血酸反应的影响(表 1)。由表可见,将抗坏血酸加入针铁矿悬液 8 min 后,其浓度由初始的 $8.9 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ 迅速下降至 $7.7 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$,但反应体系的 pH 由 5.0 迅速升高至 7.0。在此后的几分钟内,抗坏血酸的浓度变化不大。说明 pH 升高对抗坏血酸与针铁矿的反应有抑制作用。如果向反应体系中加入少量盐酸,则 pH 迅速下降,同时抗坏血酸的浓度也相应下降。但降到一定程度后,其浓度不再变化。如果再向反应体系中加入盐酸,pH 又进一步降低,抗坏血酸的浓度也相应降低。该结果表明,pH 在较高时对反应有一定的抑制作用。在 pH 低时有促进作用。

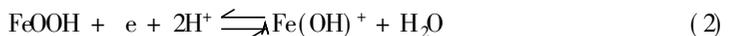
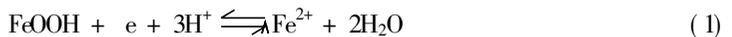
表 1 pH 对抗坏血酸与针铁矿反应的影响

Table 1 Effect of pH value on the reaction between vitamin C and goethite

反应时间 Time (min)	加入酸量 Amount of acid added (mol)	抗坏血酸浓度 Concentration of vitamin C (mol L^{-1})	抗坏血酸的峰电位 Peak potential of vitamin C (VVS, SCE)	体系的 pH pH value of the reaction system
0	0	8.9×10^{-4}	—	5.00
8	0	7.7×10^{-4}	0.30	7.00
11	0	7.7×10^{-4}	0.30	7.00
15	2.0×10^{-5}	7.5×10^{-4}	0.36	3.46
18	0	6.3×10^{-4}	0.36	3.46
24	0	6.3×10^{-4}	0.36	3.46
28	2.0×10^{-5}	6.2×10^{-4}	0.38	2.94
31	0	5.5×10^{-4}	0.38	2.94
34	0	5.5×10^{-4}	0.38	2.94
37	0	5.5×10^{-4}	0.38	2.94
41	2.0×10^{-5}	5.3×10^{-4}	0.40	2.71
44	0	5.3×10^{-4}	0.40	2.71
47	0	5.3×10^{-4}	0.40	2.71

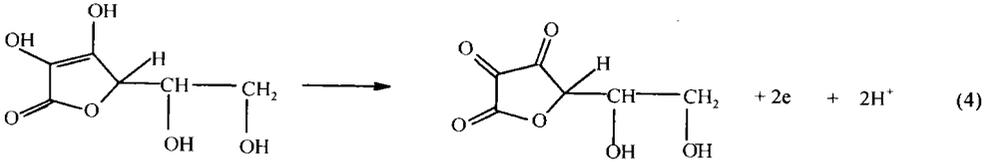
3 讨论

针铁矿在发生还原反应时消耗质子。在不同的反应条件下,其可能发生的还原反应可表示如下:



由上述三个方程可见,尽管在不同的反应条件下,针铁矿发生还原反应的机理不同,但不管发生还原反应的机理如何,只要发生还原反应就要消耗质子,从而使体系的 pH 升高。

抗坏血酸在不完全氧化时的反应方程可表示为



由(4)式可见,在抗坏血酸氧化的过程中,一个抗坏血酸分子可以释放2个质子和2个电子。因此,抗坏血酸氧化将使体系pH降低。在本工作中,利用抗坏血酸作还原剂,针铁矿作氧化剂,可以认为它们为一氧化还原体系。如果针铁矿按(1)式发生还原反应,则一个抗坏血酸分子将可使2个 FeOOH 分子发生还原,同时消耗6个质子。但因一个抗坏血酸分子氧化时可以释放2个质子,所以体系中减少4个质子,体系pH将升高。如果抗坏血酸使针铁矿按(2)式发生还原,则一个抗坏血酸分子可使2个针铁矿分子发生还原,同时消耗4个质子。但因为一个抗坏血酸分子氧化可以释放2个质子,所以一个抗坏血酸分子使针铁矿发生还原时体系中减少2个质子,从而使体系pH升高。这些都与本工作的实验结果相符。如果抗坏血酸使针铁矿按(3)式发生还原,则此时一个抗坏血酸分子氧化可使2个 FeOOH 分子发生还原,同时消耗2个质子。但因为一个抗坏血酸分子氧化可释放2个质子。因此,此时体系中总的质子数不变,即体系pH基本上不变。但实验结果表明,在抗坏血酸使针铁矿发生还原时,体系pH升高,表明消耗了质子。因此针铁矿按(3)式发生还原的可能性不大。

由上述讨论可知,抗坏血酸可能使针铁矿按(1)式或(2)式所示机理发生还原反应。如果按(1)式所示机理发生还原,其还原产物应为 Fe^{2+} 。如果按(2)式所示机理发生还原,其还原产物应为 $\text{Fe}(\text{OH})^+$ 。但本工作的实验结果表明,在反应体系中检测不出亚铁离子。说明此时还原产物没有从针铁矿溶出。

Schwertmann等^[1]指出在还原条件下,土壤溶液中 Fe^{2+} 的浓度很少直接受结晶态的氧化铁矿物所控制。Ponnamperuma^[3]和Arden^[11]证实了当富含 Fe^{2+} 的土壤被氧化时,土壤中有铁的混价矿物形成。说明 Fe^{2+} 与混价矿物之间存在着一种平衡。Lindsay^[12]根据化学平衡的原理指出,在一定的pe+pH条件下,各种形态的氧化铁都可转化为由二个 Fe_2O_3 和一个 FeO 分子组成的四氧化三铁(磁铁矿)。而在一定的氧化还原条件和 CO_2 分压下,四氧化三铁决定溶液中亚铁离子的浓度。当pe+pH为3.48时,针铁矿可以转化为四氧化三铁。Brennan等^[13]利用化学平衡原理,分别以氢气、氧气为还原剂和氧化剂,研究了在不同的pH和氧化还原条件下,各种形态的氧化铁与溶液中的亚铁离子之间的化学平衡。发现几种含 Fe^{3+} 氧化物可以形成含二个 Fe^{3+} 和一个 Fe^{2+} 离子的四氧化三铁。体系pe+pH与亚铁离子浓度之间的回归直线的斜率与无定形磁铁矿体系中者相近。表明无定形四氧化三铁控制了铁的溶解度。Glinski等^[14]向淹水土壤中加入葡萄糖和铁氧化物的结果研究表明,在淹水条件下,土壤中的铁的氧化还原电对应以 $\text{Fe}_3(\text{OH})_8/\text{Fe}^{2+}$ 来表示更为确切。这些结果说明,在还原条件下矿物中存在着氧化铁形态的转化,还原态的亚铁离子不一定从固相氧化铁溶出,因此,溶液中检测不出亚铁离子。

从方程式(4)可见,抗坏血酸分子在氧化时释放质子。根据化学反应的原理,体系pH升高,应有利于抗坏血酸的氧化。由表1可见,体系pH低时,抗坏血的峰电位升高,表明其失电子能力减弱,即其还原能力减小。pH高时,抗坏血酸的峰电位低,表明其失电子能力增强,即其还原能力增大。这个结果与根据一般化学原理推论的规律一致。另一方面,从表1也可见,体系pH降低将促进针铁矿与抗坏血酸的氧化还原反应。例如,当将pH为5.0的抗坏血酸溶液加入pH值相同的针铁矿悬液时,8min后抗坏血酸的浓度明显降低,体系pH升至7.0。但在此后,即使经过15min,抗坏血酸的浓度仍然没有明显变化。但如果加酸使体系pH降低至3.46,则抗坏血酸的浓度迅速降低至一定浓度,并基本上保持不变。只有再加酸降低pH以后,抗坏血酸浓度才能进一步降低。这个实验结果说明,尽管pH降低使抗坏血酸的还原能力减弱,但却有利于抗坏血酸与针铁矿之间的氧化还原反应。这说明这种氧化还原反应除了与抗坏血酸的还原能力有关外,还与针铁矿的表面化学性质有关。通常随着pH降低,针铁矿的表面正电荷增加,负电荷减少。抗坏血酸带负电荷,表面正电荷增多,应有利于针铁矿对抗坏血酸的吸持,从

而有利于它们之间进行电子交换,发生氧化还原反应。

从表 1 也可见,每当加少量盐酸使抗坏血酸与针铁矿的反应体系 pH 降低时,抗坏血酸的浓度很快降低,但数分钟后又基本上保持不变。根据铁氧化物在还原溶解时,在铁氧化物表面进行着形态间的转化,新生成的矿物与溶液中 Fe^{2+} 保持着平衡。这种平衡在不同的 pH 时进行的程度也不相同,在 pH 低时,有利于 Fe^{2+} 的溶出,即有利于铁氧化物的还原溶解,铁氧化物的表面得到了更新^[7],从而有利与还原剂发生反应。另外,抗坏血酸与针铁矿间的反应属于异相反应,从实验的设计看,在每一次调节 pH 前(除第一次),针铁矿表面几乎被抗坏血酸所饱和,所以在新的 pH 下,针铁矿的表面也会很快被饱和。所以抗坏血酸的浓度能很快达到稳定。再者因为在本工作中,反应体系基本上是一氮气氛下的封闭体系。可以认为,在加入少量盐酸调节 pH 后,体系的 $\text{pe} + \text{pH}$ 值基本上可达一稳定值。根据氧化还原平衡的原理,此时反应体系的各组分之间应该达到一相对平衡。因此,抗坏血酸的浓度基本上不变。这种现象值得进一步深入研究。

参考文献

1. Stucki J W, Goodman B A, Schwertmann U. eds. Iron in Soils and Clay Minerals. NATOASI Series, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1985
2. McBride M B. ed. Environmental Chemistry of Soils. New York, Oxford: Oxford University Press, 1994
3. 于天仁等著. 水稻土的物理化学. 北京: 科学出版社, 1983. 35~ 60
4. Ponnamperna F N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 1972, 24: 29~ 96
5. 于天仁, 季国亮, 丁昌璞等著. 可变电荷土壤的电化学. 北京: 科学出版社, 1996. 224~ 289
6. Patrick W H Jr., Jugsujinda A. Sequential reduction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flood soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 1 071~ 1 073
7. Stumm W. ed. Aquatic Chemical Kinetics Reaction Rates of Processes in Natural Water. New York: Wiley, 1990. 311~ 336
8. Deiana S, Gessa C, Marchetti M, *et al.* Phenolic acid redox properties: pH influence on iron (III) reduction by caffeic acid. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59: 1 301~ 1 307
9. Smolen J M, Stone A T. Metal (Hydro) oxide surface-catalyzed hydrolysis of chlorpyrifos-methyl, chlorpyrifos-methyl oxon, and paraoxon. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 636~ 643
10. 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 468~ 471
11. Arden T V. The solubility products of ferrous and ferric hydroxides. J. Chem. Soc., 1950, 1: 882~ 885
12. Lindsay W L. ed. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1979
13. Brennan E W, Lindsay W L. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxide. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 930~ 937
14. Glinski J, Stahr K, Stepniewska Z, *et al.* Changes of redox and pH conditions in a flooded soil amended with glucose and manganese oxide or iron oxide under laboratory conditions. Z. pfl. Dung. Bodenk., 1996, 159(3): 297~ 304

ELECTROCHEMICAL REACTION BETWEEN VITAMIN C AND GOETHITE

Li Qing-man Ji Guo-liang

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008 China*)

Summary

Iron oxides in soils play very important roles as one of the acceptors of electrons transferred from reducing organic matters under submergence condition. Attempt had been made to simulate the reaction between reducing organic matters and iron oxides in soils in the study, in which vitamin C was used as the reducing organic matter and goethite synthesized in laboratory was also used. The result indicated that an increase in pH was observed in the process of reaction between vitamin C and goethite, due to the proton consumptions. It was suggested that the reaction between vitamin C and goethite was heterogeneous reaction and, it took rather longer time to reach an equilibrium. At the beginning of reaction, the change of Fe^{2+} in solution could not be observed, suggesting that the dissolution of Fe^{2+} from goethite was very slow. pH had effect on the reaction, the reaction rate decreased with an increase in pH. The reason for this phenomenon might be inferred from influence of pH on the amount of positive charges on the surface of goethite.

Key words Vitamin C, Goethite, Electrochemical reaction