DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.04.016

黑土对 Cu^{2+} 的吸附作用及其影响因素*

陈薇薇[1]** 郭 平[1] 陈 涛[2] 杨 平[1] 张文卿[1]

(1. 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室,水资源与水环境吉林省重点实验室,吉林大学环境与资源学院,吉林 长春 130021; 2. 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院,吉林 长春 130021)

摘 要

采用批量平衡法研究了东北地区典型黑土对重金属 Cu^{2+} 的吸附热力学特征,以及离子强度、温度和 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响. 结果表明: Freundlich 模型能够较好地描述一般条件及其不同影响因素下黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附过程($R>0.985$, $P<0.01$). 离子强度的增加抑制了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,不同离子强度作用下黑土对 Cu^{2+} 的吸附能力顺序为: 0.001 mol/L > 0.01 mol/L > 0.1 mol/L. 温度的增加促进了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,不同温度作用下黑土对 Cu^{2+} 的吸附能力顺序为: 35 ℃ > 25 ℃ > 15 ℃. 浓度范围在 0 ~ 400 mg/L 的 DOM 能够抑制黑土对 Cu^{2+} 的吸附,且抑制作用随着 DOM 浓度的增加而增大. Cu^{2+} 在黑土上的吸附量随着 pH 值的增加而增加,DOM 的抑制作用随着 pH 值的增加而增大.

关键词: 黑土, Cu^{2+}, 吸附, DOM.

中图分类号: X53

0 引 言

土壤是陆地生态系统物质循环和能量流动的基础,是人类赖以生存和发展的重要保证,更是一种极为重要的不可再生资源. 随着工农业的迅速发展,大量重金属污染物通过不同途径进入土壤,导致土壤重金属污染问题日益严重[1]. 因土壤重金属污染物具有隐蔽性、难降解性、生物累积性和长期性等特点,所以严重威胁了农产品安全,从而对人类健康产生巨大的潜在危害. 因此,土壤重金属污染一直是环境科学领域高度关注的重大生态环境问题.

近年来,关于重金属在土壤中的环境行为研究主要集中于不同类型土壤或不同土壤组分对重金属的吸附、解吸特性,共存污染物对重金属的吸附影响等方面. 一些环境领域的研究人员针对离子强度、环境温度和 pH 值等因素以及不同来源的溶解性有机质(dissolved organic matter, DOM)对重金属在土壤中吸附的影响也有研究,然而对于不同的实验模拟条件、土壤类型、重金属种类和浓度、DOM 来源和性质等因素对土壤吸附重金属的影响和原因等方面尚未得到共识[2-9]. DOM 是由不同结构和分子量有机物组成的复合物,是普遍存在于土壤生态系统中的一种重要的水溶性活性组分[9-11]. DOM 中通常含有羧基、苯环、羟基、氨基和苯醌基等多种活性官能团,可以与土壤通过吸附、沉淀、离子交换、络合等一系列反应来影响重金属离子在土壤环境中的形态、迁移转化规律和最终归趋,而且能够影响重金属污染土壤的修复与控制过程[12-14]. 进入土壤溶液中的重金属浓度主要受土壤吸附和解吸行为的控制. DOM 作为土壤中重金属的有机配体,对土壤重金属的吸附行为起着重要作用. 基于此,本文选择重金属 Cu^{2+} 作为目标污染物,采用批量平衡法研究了东北地区典型黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附作用,离子强度、温度以及外源 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响,旨在探究黑土对 Cu^{2+} 的吸附特性,不同温度和离子强度对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响,以及 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的调控作用. 这对于深入了解不同影响因素和 DOM 影响下 Cu^{2+} 在黑土上的迁移转化及其归宿具有一定意义.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤取自吉林大学前卫南区校园内 0 ~

收稿日期: 2016-10-10

* 国家自然科学基金资助项目(40971248).

**通讯作者

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

20 cm表层黑土. 土壤经自然风干,去除石块砂砾、枯枝落叶等杂物,磨细后过 2 mm 筛,密封保存备用. 土壤基本理化性质按照《土壤农化分析》方法进行分析测定[16],具体结果见表 1.

表 1 供试土壤的基本理化性质

土壤类型	pH 值	有机质 /g·kg^{-1}	游离氧化铁 /g·kg^{-1}	CEC /cmol·kg^{-1}	Eh /mV	EC /mS·cm^{-1}
黑土	6.80	20.50	14.69	30.78	259	0.43

注: CEC 指阳离子交换量; Eh 指氧化还原电位; EC 指电导率.

牛粪取自皓月集团,经自然风干、粉碎,过 2 mm 筛,密封保存以备提取 DOM.

1.2 样品制备

灭菌土壤样品制备: 采用张辉等[17]的实验方法制备进行灭菌土壤样品制备.

DOM 提取和制备: 称取一定量的腐熟牛粪,按照 1 g∶10 mL 的比例将腐熟牛粪与 0.01 mol/L 无菌 NaCl 溶液充分混合,置于振荡速度为 180 r/min、培养温度为 25 ℃的条件下振荡培养 24 h,然后将混合液以 8 000 r/min 高速离心 20 min,再将上清液用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,制得 DOM 溶液,保存在 4 ℃冰箱内备用.

DOM 的 pH 值和电导率 EC 利用 pH 计和电导率仪测定,总有机碳含量(total organic carbon, TOC)利用 TOC 仪(日本岛津 TOC-5000,配置 SSM-5000A 固体燃烧装置)进行测定,DOM 亲水和疏水组分采用 Chen 等[18]的方法进行分离、测定. DOM 的基本性质见表 2.

表 2 供试 DOM 的基本性质

TOC/mg·L^{-1}	pH 值	EC/mS·cm^{-1}	亲水比例	疏水比例
1942.4	7.62	1.84	54.46%	45.54%

1.3 吸附实验

采用批量平衡实验方法,研究黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附特性,离子强度、温度以及 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响.

1.3.1 吸附热力学实验

称取灭菌黑土样品 0.1 g 于 50 mL 离心管中(为避免土壤微生物在吸附过程中对 DOM 产生降解作用),加入 25 mL 由 0.01 mol/L 的 NaCl 溶液配制系列浓度为 10 ~ 500 mg/L 的 Cu^{2+} 溶液,加盖密封后在恒温(25 ℃)振荡器中以 170 r/min 避光振荡 24 h,吸附平衡后(预实验证明 24 h 时 Cu^{2+} 在黑土上已达到吸附平衡),在 3 800 r/min 下离心10 min,上清液过 0.45 μm 滤膜,利用原子吸收仪(日本岛津 AA-6880)测定溶液中 Cu^{2+} 的含量. 采用差减法[19]计算出黑土上 Cu^{2+} 的吸附量,实验设置 3 组平行,1 组空白.

1.3.2 离子强度和温度影响实验

分别使用离子强度为 0.001 mol/L、0.01 mol/L、0.1 mol/L 和 1 mol/L 的 NaCl 溶液配制系列浓度为 10 ~ 500 mg/L 的 Cu^{2+} 溶液,研究不同离子强度对土壤吸附 Cu^{2+} 的影响. 其他操作同 1.3.1.

分别调节模拟实验的环境温度为 15 ℃、25 ℃和 35 ℃,研究不同温度对土壤吸附 Cu^{2+} 的影响. 其他操作同 1.3.1.

1.3.3 DOM 影响实验

称取灭菌黑土样品 0.1 g 于 50 mL 离心管中,分别加入 25 mL 系列浓度为 10 ~ 400 mg/L 的 Cu^{2+} 溶液,吸附体系中同时含有浓度为 0 mg/L、200 mg/L和 400 mg/L 的 DOM. 其他操作同 1.3.1.

确定吸附体系中 Cu^{2+} 和 DOM 的初始浓度均为 100 mg/L,用 0.01 mol/L 的 HCl 和 NaOH 来调节溶液的 pH 值分别为 3.03、4.89、7.22、9.47 和 10.64,研究 DOM 存在条件下不同 pH 值对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响. 其他操作同 1.3.1.

1.4 吸附热力学模型

Freundlich 方程线性形式[20]:

$$Q_e = K_f C_e^{n}$$

式中: Q_e为平衡浓度为 C_e时 Cu^{2+} 的吸附量,mg/kg; K_f和 n 为常数,K_f是土壤样品对 Cu^{2+} 相对吸附量的常数,n 是土壤对 Cu^{2+} 吸附作用的强度系数,K_f值和 n 越大说明土壤样品对 Cu^{2+} 的相对吸附量和吸附作用的强度越大,反之亦然; C_e为吸附平衡时 Cu^{2+} 的浓度,mg/L.

2 结果与讨论

2.1 黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附特性

黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附特征如图 1 所示. 由图 1 可知,Cu^{2+} 的吸附量随着平衡浓度的增加而增大. 当 Cu^{2+} 的平衡浓度较低时,其吸附量迅速上升,随着平衡浓度的增加,吸附量增加速度相对降低,但是 Cu^{2+} 在黑土上并未达到吸附饱和. Cu^{2+} 本身带有正电荷,黑土表面却带有大量的负电荷,因此黑土对 Cu^{2+} 能够产生强力的离子交换吸附作用.

采用 Freundlich 吸附模型对黑土吸附 Cu^{2+} 的热力学过程进行拟合(见图 1),由 Freundlich 吸附模

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

型拟合曲线所获得的相关系数发现,黑土对 Cu^{2+} 的吸附热力学过程与 Freundlich 模型之间的拟合程度较高($R > 0.985$, $P < 0.01$). 由此可见,采用 Freundlich 模型能够很好地描述黑土对 Cu^{2+} 的吸附热力学过程.

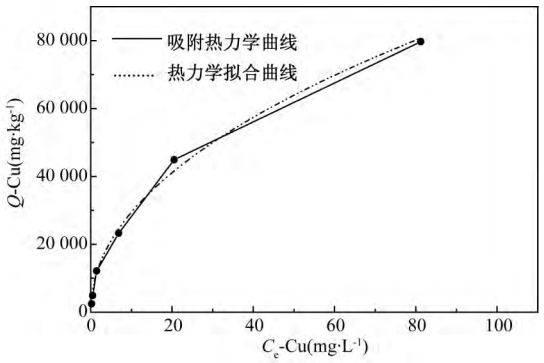


图 1　黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附特征

2.2　不同因素对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

2.2.1　不同离子强度对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

不同离子强度条件下黑土对 Cu^{2+} 的吸附热力学曲线和 Freundlich 吸附模型拟合曲线分别如图 2a 和图 2b 所示. 由图 2 可知,随着吸附体系中离子强度的提高,Cu^{2+} 在黑土上的吸附量呈下降趋势,可能是由于 Na^{+} 浓度的不断提高增加了其与 Cu^{2+} 在黑土吸附点位的竞争所导致. 由图 2a 可知,当离子强度为 0.001 mol/L 和 0.01 mol/L 时,Cu^{2+} 在土壤上的吸附曲线形状与离子强度增加到 0.1 mol/L 时发生了明显变化,这说明离子强度达到一定程度时改变了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附行为. 这是因为高离子强度条件下溶液中同时存在较高的阳离子浓度,较多的陪伴阳离子会与 Cu^{2+} 竞争土壤表面有限的吸附点位,从而降低了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附量[21].

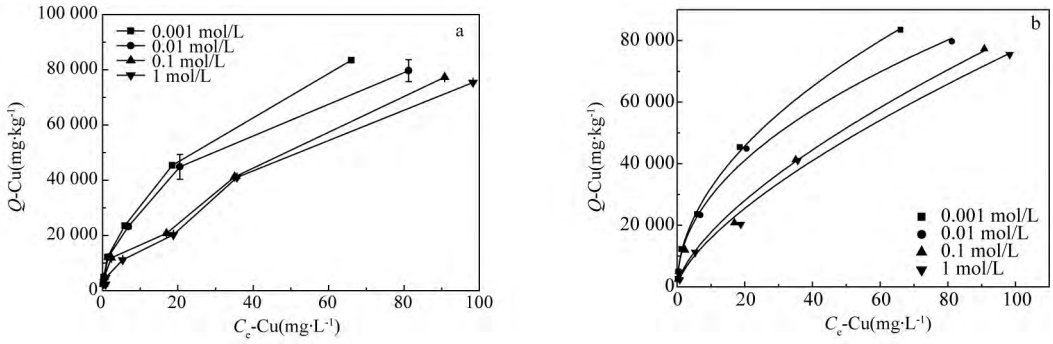


图 2　不同离子强度对 Cu^{2+} 吸附的影响

Freundlich 吸附模型拟合参数和相关系数见表 3. 由表 3 和图 2b 可知,Freundlich 吸附模型($R \geqslant 0.985$, $P < 0.01$) 对不同离子强度影响下 Cu^{2+} 在黑土上的吸附结果能进行较好地拟合. 由 Freundlich 拟合得到的 K_f 值在 3 267.234 ~ 9 964.943 之间,黑土对 Cu^{2+} 的吸附能力随着离子强度的增加逐渐下降. 当离子强度从 0.001 mol/L 增加到 0.01 mol/L 时,K_f 值仅降低了 2.67%; 但当离子强度从 0.01 mol/L 增加至 0.1 mol/L 时,K_f 值大幅度降低了 60.57%; 当离子强度从 0.1 mol/L 提高至 1 mol/L 时,K_f 值降低了 14.56%. 其中,最大值对应 0.001 mol/L 离子强度下 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,最小值对应 1 mol/L 离子强度下 Cu^{2+} 的吸附. n 值变化范围相对较小(0.509 ~ 0.685) ,说明随着溶液中离子强度和 Cu^{2+} 浓度的变化,吸附并未发生剧烈变化.

表 3　不同离子强度下 Cu^{2+} 的 Freundlich 吸附模型拟合参数和相关系数

离子强度	Freundlich 模型		
	K_f	n	R
0.001 mol/L	9 964.942	0.509	0.999
0.01 mol/L	9 699.184	0.482	0.997
0.1 mol/L	3 824.167	0.665	0.992
1 mol/L	3 627.234	0.685	0.995

2.2.2　不同温度对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

温度是影响重金属在土壤中吸附的重要环境因素之一. 不同温度条件下黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附曲线和 Freundlich 吸附模型拟合曲线如图 3a 和图 3b 所示. 由图 3 可知,Cu^{2+} 在黑土上的吸附量随着温度的升高而增加; 相同温度下,Cu^{2+} 的吸附量随着其平衡浓度的增加而增加.

Freundlich 吸附模型拟合参数和相关系数见表 4. 由表 4 和图 6b 的拟合结果可知,Freundlich 吸附模型对不同温度影响下 Cu^{2+} 在黑土上的吸附结果能进行较好地拟合($R \geqslant 0.996$, $P < 0.01$) . 由 Freundlich 拟合得到的 K_f 值在 6 916.072 ~ 12 041.768 之间,黑土对 Cu^{2+} 的吸附能力随着温

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

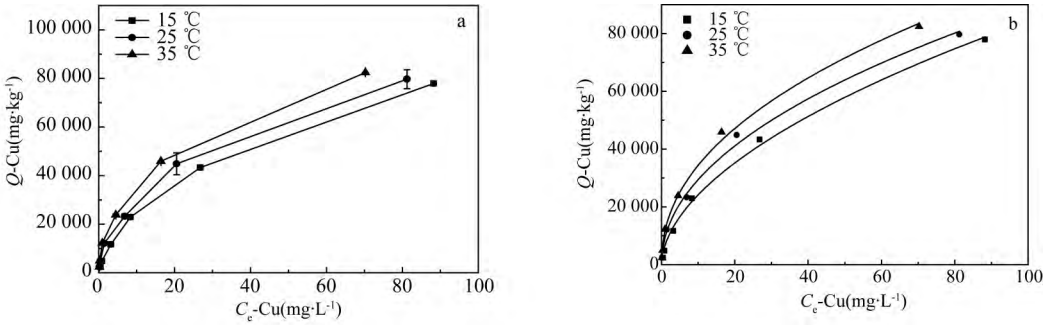


图 3 不同温度对 Cu^{2+} 吸附的影响

表 4 不同温度下 Cu^{2+} 的 Freundlich 吸附模型拟合参数和相关系数

温度	Freundlich 模型		
	K_f	n	R
15 ℃	6 916.072	0.543	0.998
25 ℃	9 699.184	0.482	0.997
35 ℃	1 2041.768	0.455	0.996

度的升高而增强. 温度每增加 10 ℃,K_f 值则依次增加 40.24% 和 24.15%. K_f 最大值对应 35 ℃ 下 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,最小值对应 15 ℃ 下 Cu^{2+} 的吸附.

2.3 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

2.3.1 不同浓度 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

不同浓度 DOM 存在条件下黑土对 Cu^{2+} 的热力学吸附曲线和 Freundlich 吸附模型拟合曲线如图 4a 和图 4b 所示. 由图 4 可知,无论 DOM 是否存在于吸附体系中,Cu^{2+} 在黑土上的吸附量均随着溶液中 Cu^{2+} 吸附平衡浓度的增加呈上升趋势. 与未加 DOM 相比,DOM 的存在抑制了黑土对 Cu^{2+} 的吸附,而且抑制程度随 DOM 浓度的增加而增大. 主要可归纳为以下两方面原因: 一是 DOM 可直接作为 Cu^{2+} 迁移的载体,对 DOM 在土壤 - 水体系中的迁移起着重要的作用,含有羧基、羟基、羰基和甲氧基等活性官能团的 DOM 能够与 Cu^{2+} 发生络合反应,形成 DOM-Cu^{2+} 络合物,从而把部分已经被黑土吸附的 Cu^{2+} 重新释放到土壤溶液中[22]; 二是吸附到黑土表面的 DOM 能够屏蔽或减少黑土表面吸附 Cu^{2+} 的点位,从而降低 Cu^{2+} 的吸附量[23-25].

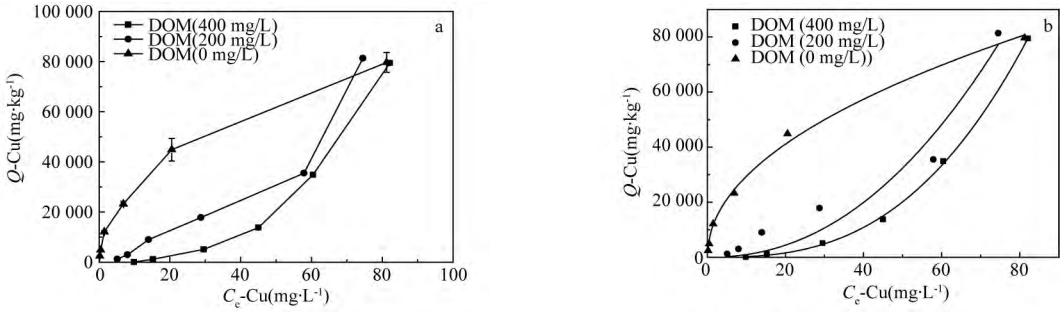


图 4 不同浓度 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

Freundlich 吸附模型拟合参数和相关系数见表 5. 由表 5 和图 4b 可知,Freundlich 吸附模型同样能够对不同浓度 DOM 影响下黑土对 Cu^{2+} 的吸附结果能进行较好地描述($R \geqslant 0.935$,$P < 0.01$). K_f 的变化说明黑土对 Cu^{2+} 的吸附能力随着 DOM 浓度的增加而降低. K_f 最大值对应无 DOM 存在条件下 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,最小最对应 DOM 浓度为 400 mg/L 时 Cu^{2+} 在黑土上的吸附. 由表 5 还可以看出,n 值变化范围较大,说明 DOM 对黑土吸附 Cu^{2+} 的吸附强度影响较为显著.

表 5 不同浓度 DOM 下 Cu^{2+} 在黑土上的 Freundlich 拟合参数和相关系数

DOM 浓度	Freundlich 模型		
	K_f	n	R
0 mg/L	9 699.184	0.482	0.997
200 mg/L	6.397	2.181	0.935
400 mg/L	0.395	2.770	0.999

2.3.2 有无 DOM 条件下 pH 值对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

pH 值是影响重金属在土壤中吸附行为的一个重要因子,主要表现在以下三个方面: 制约重

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

金属溶解度等性质,影响固体颗粒物中自然胶体表面的吸附特征,控制固体颗粒物表面的各种反应[26].

不同 DOM 条件下 pH 值对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响如图 5 所示. 整体而言,Cu^{2+} 的吸附量随着溶液 pH 值的增加而逐渐增加. 低 pH 值时,溶液中存在的大量 H^+ 与 Cu^{2+} 竞争土壤表面的吸附点位,但随着 pH 值的增加,土壤表面负电荷增加,正电荷减少,使黑土对 Cu^{2+} 的吸附量增大[27]. 此外,土壤溶液中 OH^- 离子浓度由于 pH 值的增加而增大,使重金属产生氢氧化物沉淀从而导致土壤溶液中可溶态重金属含量的减少也是 Cu^{2+} 的吸附量增大的原因之一[9]. 当 pH 值较低时,DOM 对 Cu^{2+} 在黑土上的吸附影响较小,随着 pH 值增加,DOM 的抑制作用逐渐增大. 例如,当 pH 值为 3.03 时,DOM 作用下 Cu^{2+} 的吸附量与无 DOM 条件下相比降低了 1.73%,当 pH 值为 10.64 时,DOM 作用下 Cu^{2+} 的吸附量与无 DOM 条件下相比降低了 4.24%. 该结论与 Zhou 等[28] 在使用来源于厌氧消化污泥和污泥堆肥的 DOM 对酸性砂壤土吸附 Cu 的影响的研究结果相一致. 该结果可能与 DOM 表面官能团的电性改变有关. DOM 属于两性物质,既带正电荷也带负电荷,当 pH 值较低时,DOM 因表面质子化作用增强而增加了正电荷量,且黑土中金属氧化物等对 DOM 产生的较强吸附作用减弱了 DOM 与 Cu^{2+} 的络合能力[3],从而降低了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附量. 然而,随着 pH 的增加,DOM 表面质子化作用逐渐变弱,DOM 与 Cu^{2+} 的络合能力增强,形成了更多的可溶性络合物; 另外,DOM 表面官能团所携带的负电荷增多,提供了更多的吸附点位,从而降低了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附量[28-29]. Kalbits[30] 的研究结论也证明当 pH 值较低时 DOM 对重金属的移动性影响较小,这与本研究结果相似.

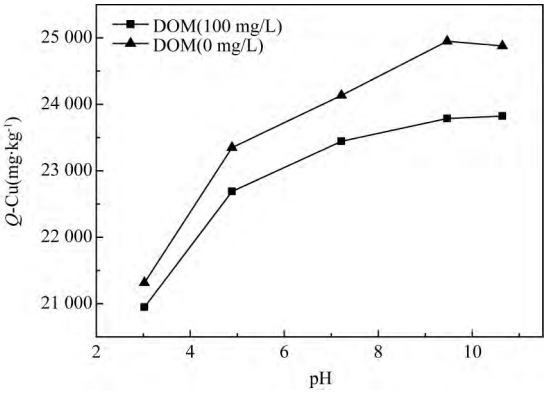


图 5　不同 DOM 条件下 pH 值对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响

3　结　论

本文通过黑土对重金属 Cu^{2+} 的吸附热力学实验,不同离子强度、环境温度对黑土吸附 Cu^{2+} 的吸附热力学影响,以及 DOM 浓度、有无 DOM 条件下不同 pH 值对对黑土吸附 Cu^{2+} 的影响实验,得出了以下主要结论.

1) 黑土对 Cu^{2+} 的吸附量随着 Cu^{2+} 平衡浓度的增加而持续增加,在实验浓度范围内未达到吸附饱和. Freundlich 吸附模型可以较好地描述 Cu^{2+} 在黑土上的吸附热力学特征.

2) Freundlich 吸附模型也能够较好地描述不同影响因素条件下,黑土对 Cu^{2+} 的吸附热力学过程. 离子强度的增加能够抑制黑土对 Cu^{2+} 的吸附; 温度的增加则能够促进黑土对 Cu^{2+} 的吸附.

3) DOM 的存在抑制了 Cu^{2+} 在黑土上的吸附,且抑制作用随着 DOM 浓度的增加而增大; Cu^{2+} 的吸附量随着 pH 值的增加而增加,且 DOM 抑制作用随着 pH 值的增加而增大.

以上结论有望为进一步开展 DOM 对重金属在土壤中吸附行为和吸附机理的研究提供理论支持,同时为利用外源 DOM 降低重金属的污染风险和潜在危害提供参考依据.

参　考　文　献

[1] 范春辉,张颖超,王家宏. 黄土区秸秆腐殖化溶解性有机质对土壤铅赋存形态的影响机制[J]. 光谱学与光谱分析,2015,35(11): 3146-3150.

[2] 常娟,白玲,冷靖,等. 江西省典型水稻土对铜的吸附解吸特性研究[J]. 江西农业大学学报,2016,38(1): 207-214.

[3] 景丽洁,王敏. 不同类型土壤对重金属的吸附特性[J]. 生态环境,2008,17(1): 245-248.

[4] 张凤杰,欧晓霞,全燮,等. 噻酚黄隆对土壤吸附铜的影响[J]. 内蒙古大学学报,2012,43(1): 96-100.

[5] 李鱼,高茜,李鸿业,等. 表层沉积物中粘土及其主要组分吸附 Cu 和 Zn 的行为研究[J]. 华北电力大学学报,

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2009,36(2):89 -93.
[6] 张政勤,罗文贱,陈勇,等. 不同 $NaNO_3$ 浓度下可变电荷土壤铜离子解吸率的分配及影响因素[J]. 土壤学报,2015,52(5):1188 -1195.
[7] 朱灵峰,龚诗雯,郭毅萍,等. 小麦秸秆对农田土壤中重金属 Cu 吸附的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):326 -328.
[8] 梁晶,徐仁和,蒋新,等. 不同 pH 下两种可变电荷土壤中 Cu(Ⅱ)、Pb(Ⅱ)和 Cd(Ⅱ)吸附与解吸的比较研究[J]. 土壤,2007,39(6):992 -995.
[9] Fisher-Power L M, Cheng T, Rastghalam. Cu and Zn adsorption to a heterogeneous natural sediment: influence of leached cations and naturalorganicmatter[J]. Chemosphere, 2016, 144: 1973 -1979.
[10] Fu C, Dong J F, Fang F, et al. Effect of DOM on the migration of Cr(VI) in soil [J]. Advanced Materials Research, 2013, 864 -867: 278 -282.
[11] 李旭,许梦,陶佳慧,等. 黑土对 DOM 的吸附作用及其影响因素[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):366 -369.
[12] Bosco T C D, Sampaio S C, Coelho S R M, et al. The influence of organic matter from swine wastewater on the interaction and transport of alachlor in soil [J]. ActaScientiarum. Agronomy, 2013, 35(3):277 -286.
[13] 凌晨,刘福强,凌盼盼,等. 典型 DOM 对 IRC-748 螯合树脂吸附 Cu 的影响研究[C]. 中国化学会第 16 届反应性高分子学术研讨会论文集,兰州,2012:156 -158.
[14] Refaey Y B, Jansen B, Shater A H E, et al. The role of dissolved organic matter and its adsorption for the fate of heavy metals in clay-rich soil [J]. Geophysical Research Abstract, 2014, 16(1): 195 -208.
[15] Power L M F, Cheng T, Rastghalam Z S. Cu and Zn adsorption to a heterogeneous natural sediment: influence of leached cations and natural organic matter [J]. Chemosphere, 2016, 144: 1973 -1979.
[16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000.
[17] 张辉,张佳宝,赵炳梓,等. 高温高压间歇灭菌对中国典型土壤性质的影响[J]. 土壤学报,2011,48(3):540 -548.
[18] Chen W W, Kang C L, Li Y M, et al. Effect of root exudates on pentachlorophenol adsorption by soil and its main chemical components [J]. International Journal of Environment and Pollution, 2013, 52(1/2): 1 -14.
[19] 陈涛,孙成勋,杨晓瑛,等. 土壤主要组分对多氯联苯吸附及共存 Cu^{2+} 的影响[J]. 中国矿业大学学报,2012,41(5):821 -826.
[20] Sassman S A, Lee L S. Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of pH and cation exchange [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(19): 7452 -7459.
[21] 邹献中,姜军,赵安珍,等. 阴离子对可变电荷土壤吸附铜离子的影响机理[J]. 土壤学报,2012,49(2):311 -318.
[22] Karlsson T, Persson P, Skyllberg U. Complexation of copper(Ⅱ) in organic soils and in dissolved organic matter-EXAFS evidence for chelate ring structures [J]. Environmental Science and Technology, 2016, 40(8): 2623 -2628.
[23] 康露,吴景贵,赵欣宇. 吉林省两种土壤对水溶性有机物吸附 -解吸的影响因素[J]. 东北林业大学学报,2013,8:130 -135.
[24] Wong J W C, Li K L, Zhou L X, et al. The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge [J]. Geoderma, 2007, 137(3 -4): 310 -317.
[25] 祝亮,伍钧,周江敏,等. 溶解性有机质对 Cu 在土壤中吸附 -解吸行为的影响[J]. 2008,27(5):1779 -1785.
[26] 王胜利,张俊华,刘金鹏,等. 土壤吸附铜离子的研究进展[J]. 土壤,2007,39(2):209 -215.
[27] 邹献中,徐建民,赵安珍,等. 离子强度和 pH 对可变电荷土壤与铜离子相互作用的影响[J]. 土壤学报,2003,40(62):845 -851.
[28] Zhou L X, Wong J W C. Effect of dissolved organic matter from sludge and sludge compost on soil copper sorption [J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30(3): 878 -883.
[29] 王艮梅,周立祥. 水溶性有机物在土壤剖面中的分馏及对 Cu 迁移的作用[J]. 环境科学,2006,27(6):1229 -1234.
[30] Wallschlager D, Desai M V M, Wilken R D. The role of humic substances in the aqueous mobilization of mercury Cu^{2+} from contaminated floodplain soils [J]. Water Air & Soil Pollution, 1996, 90(3): 507 -520.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Adsorption of Cu^{2+} onto Black Soil and its Influencing Factors

Chen Weiwei[1]　Guo Ping[1]　Chen Tao[2]　Yang Ping[1]　Zhang Wenqing[1]

(1. Key Lab of Groundwater Resources and Environment Ministry of Education Jilin University, Jilin Province Key Lab of Water Resources and Aquatic Environment, College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun Jilin　130021;
2. State Grid Jilin Electric Research Institute, Changchun Jilin　130021)

Abstract

The batch equilibrium method was employed to study the thermodynamic characteristics of heavy metal Cu^{2+}, and the effects of the ionic strength, temperatures and the dissolved organic matter (DOM) on the thermodynamic adsorption of Cu^{2+} onto the black soil in Northeast, China. The results showed that the thermodynamic process of Cu^{2+} adsorption under the general condition and some influencing factors onto black soil can be well described by Freundlich equation($R>0.985$, $P<0.01$). The adsorption of Cu^{2+} was inhibited by the increase of ionic strength, and Cu^{2+} adsorption onto black soil in the presence of different ionic strength followed this order of 0.001 mol/L > 0.01 mol/L > 0.1 mol/L. But the adsorption of Cu^{2+} was enhanced by the increase of temperature, and Cu^{2+} adsorption onto black soil under different temperatures followed the order of 35 ℃ > 25 ℃ > 15 ℃. And the adsorption of Cu^{2+} was inhibited by 0 ~ 400 mg/L of DOM, and its inhibition increased with the increase of DOM concentration. Moreover, the adsorption of Cu^{2+} increased with pH increasing, but it was inhibited by DOM, and the inhibition increased with pH increasing.

Key words: black soil, Cu^{2+}, adsorption, DOM.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net