

风化煤腐殖酸对氮、磷、钾的吸附和解吸特性

刘秀梅, 张夫道*, 冯兆滨, 张树清, 何绪生, 王茹芳, 王玉军

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要: 研究了风化煤腐殖酸在不同 pH 值条件下对氮、磷、钾的吸附和解吸特性。结果表明, 1) 在 pH 4 ~ 8 条件下, 随着氮、磷、钾初始处理浓度的增加, 腐殖酸对其吸附量和解吸量均呈上升趋势, 但解吸率均呈下降趋势; 2) 在不同 pH 值的介质溶液中, 腐殖酸对氮、磷、钾的吸附和解吸特性不尽相同, 其中, 在碱性条件下, 腐殖酸对氮的吸附和解吸作用较强, 在酸性条件下, 腐殖酸对磷的吸附和解吸作用较强, 而腐殖酸对钾的吸附和解吸作用在中性条件下更易发生; 3) 腐殖酸对氮、磷、钾的等温吸附可用 Linear、Langmuir 和 Freundlich 三个吸附方程来拟合, 相关性达显著或极显著水平, 但以 Freundlich 方程为最优。

关键词: 腐殖酸; 氮; 磷; 钾; 吸附; 解吸; pH 值

中图分类号: S154.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)05-0641-06

N, P and K adsorption and desorption characteristics of humic acids made from the airslake-coal

LIU Xiu-mei, ZHANG Fu-dao*, FENG Zhao-bin, ZHANG Shu-qing, HE Xu-sheng, WANG Ru-fang, WANG Yu-jun

(Institute of Soil and Fertilizer, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: N, P and K adsorption and desorption characteristics of humic acids, which were made from the efflorescent coal at different pH values were studied in this paper. The major results were summarized as follows: 1) The N, P and K adsorption and desorption amounts of humic acids showed a rising tendency along with the increase of initial concentration of N, P and K at different pH levels (from 4 to 8), but the desorption ratios of them all declined. 2) The characteristics of adsorption and desorption of humic acids on nitrogen, phosphorus, and potassium were variable at different pH, among which N adsorption and desorption capacity became larger particularly under the alkali condition, while under the acid condition, the P adsorption and desorption capacity increased, and K adsorption and desorption of humic acids was easier in the neutral solution. 3) The isothermal adsorption of humic acid on N, P and K could be fitted using Linear, Langmuir, and Freundlich equations with correlation coefficient being significant, among which Freundlich equation was the best.

Key words: humic acids; nitrogen; phosphorus; potassium; adsorption; desorption; pH value

风化煤中含有活性物质腐殖酸, 开发利用风化煤这一资源具有广泛的前景。中国风化煤储量丰富, 且分布广泛, 尤其是山西大同、新疆梧桐、内蒙公乌素、云南陆良等地风化煤中游离腐殖酸含量达 50% 以上。腐殖酸是一种天然大分子芳香族、羟基羧酸的混合物, 它的主要元素组成有碳、氢、氧、氮和

硫, 氮一般占 1% 左右, 但不是植物可直接利用的速效氮。腐殖酸具有的多种活性基团(羧基、酚羟基、醇羟基、甲氧基等), 赋予了腐殖酸的多种功能, 如酸性、亲水性、阳离子交换性、络合能力及较高的吸附能力等, 正是基于腐殖酸的这种特性, 有关它的研究一直为人们所关注。许多研究^[1-3]表明, 腐殖酸可

收稿日期: 2004-08-03

修改稿收到日期: 2005-01-21

基金项目: 国家 863 计划课题“纳米肥料关键技术研究”(2001AA218041)资助。

作者简介: 刘秀梅(1974—), 女, 山东泰安人, 博士研究生, 主要从事新型肥料和农用纳米材料的研究。* 通讯作者

以改良土壤,提高作物产量和品质,在农业应用上有巨大的潜力。但在不同 pH 值条件下腐殖酸对氮、磷、钾的吸附与解吸特性还少见报道。为此,开展了在 pH 4~8 条件下风化煤腐殖酸对氮、磷、钾的吸附和解吸的研究,旨在为风化煤腐殖酸用作缓释肥料包膜胶结剂原料的生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

1.1.1 腐殖酸的提取 风化煤采自辽宁阜新煤矿,总腐殖酸含量 63%,游离腐殖酸含量 58%。参照郑平和、成绍鑫和王如阳^[4-6]方法,在风化煤中加入浓 H₂SO₄ 和丙酮的水溶液,搅拌 2h 后,用碱调 pH 值至 6,水浴蒸干后研磨过 75μm 筛,备用。所得腐殖酸的主要元素组成为碳 66.09%、氧 24.49%、氢

2.89%、氮 0.78%、硫 0.67%; 主要功能团有酸基、羟基、羧基、酚羟基、甲氧基,含量分别为 7.30、4.33、6.19、1.45、1.59 mmol/g。

1.1.2 吸附等温线的测定 参照严昶升、刘维屏等方法^[7-8]进行。称取腐殖酸 360 份,分为 3 组(每组 120 份)分别加入氮、磷、钾的系列标准溶液,使液/土比为 20:1,溶液总体积 100mL,用 0.10mol/L 的 HCl(或 NaOH)调节每一种元素的每一个处理浓度的 pH 值分别为 4.00、5.00、6.00、7.00、8.00,重复 3 次,置于 25℃ 恒温水浴震荡机上,每 2h 震荡 1 次,每次 30min,震荡 4 次后取出,4000r/min 离心 10min,吸取上清液测定氮、磷、钾的含量,根据溶液平衡前后浓度差计算吸附量。各种营养元素的初始浓度处理见表 1,氮磷钾的标准溶液分别用硫酸铵、磷酸二氢钾和氯化钾制得。

表 1 氮、磷、钾标准溶液初始浓度

Table 1 The N, P, K initial concentration in standard solution

元素 Element		初始浓度 Initial concentration (mg/L)										
N	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
P	0	5	10	15	20	25	30	35	40	—	—	
K	0	10	20	30	40	50	60	70	80	—	—	

1.1.3 解吸量的测定 将测定吸附等温线后离心管中的上清液全部倒掉,补加蒸馏水和解吸剂,氮的解吸剂为 KCl,磷、钾的解吸剂为 CaCl₂,用 0.10 mol/L 的 HCl(或 NaOH)调节 pH 值到吸附平衡前的原初数据,总体积仍为 100mL,与测定吸附曲线相同条件下解吸,离心后,测定上清液中的氮、磷和钾含量即为解吸量,碱性溶液中氮的解吸量根据解吸前后沉淀中氮含量的差值计算。

1.2 测定项目与方法

NH₄⁺-N 的测定采用开氏半微量定氮法,磷的测定采用钼锑抗比色法,钾用火焰光度计测定^[9]。

按下列公式计算吸附量、解吸量和解析率:

吸附量(mg/g) = (初始浓度 - 平衡浓度) × 溶液体积/称样质量

解吸量(mg/g) = 解吸液浓度 × 解吸液体积/称样质量

解吸率(%) = 解吸量/吸附量 × 100%

2 结果与分析

2.1 腐殖酸对氮的吸附和解吸特性

不同 pH 值条件下腐殖酸对氮的等温吸附曲线

见图 1。从中看出,腐殖酸在各种相同的初始处理浓度中达到吸附平衡后对氮的吸附量,当 pH 值为 8 时,吸附量最高,达 11.8 mg/g,其余处理对氮的吸附量排列顺序为: pH 7(9.5 mg/g) > pH 6(8.5 mg/g) > pH 5(7.8 mg/g) > pH 4(6.8 mg/g)。可见,在 pH 值为 4~8 时,随着 pH 值的升高,腐殖酸对氮的吸附量逐渐增高。当 pH 8 时,腐殖酸对氮的吸附量最高,其原因可能是在弱碱条件下,NH₄⁺ 与 OH⁻ 发生

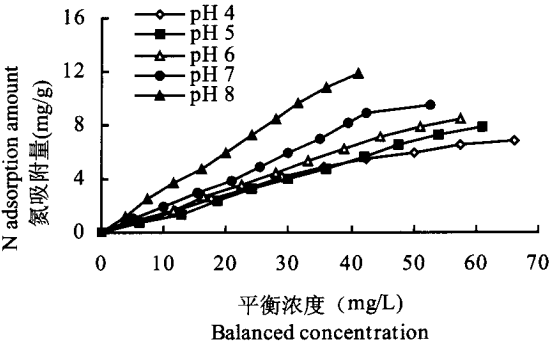


图 1 不同 pH 条件下腐殖酸对氮的等温吸附曲线
Fig.1 The isothermal adsorption curve of nitrogen under different pH values

了化学反应,致使由差减法算出的吸附量增高。在中性或酸性介质中,随着 pH 值的降低,腐殖酸对氮的吸附量降低,可能是介质溶液中的 H^+ 与 NH_4^+ 发生了竞争吸附作用,或者是由于腐殖酸在酸性介质中主要以纤维和纤维素大体积状存在^[4],降低了表面的吸附位点。

不同 pH 值条件下腐殖酸对氮(N)的等温吸附

方程拟合结果(表 2)表明,当介质中 pH 值为 4 时,腐殖酸对氮的等温吸附符合 Langmuir 方程,相关性达极显著水平; pH 值为 5 时,符合 Langmuir 和 Freundlich 方程,相关性显著; pH 值为 6 时,仅符合 Freundlich 方程,相关性显著; pH 值为 7、8 时,符合 Freundlich 和 Linear 方程,分别达极显著和显著水平。

表 2 不同 pH 值下腐殖酸对氮(N)的等温吸附方程拟合
Table 2 Humic acid adsorption properties on N depicted with three equations in different pH values

pH	Linear 方程		Freundlich 方程		Langmuir 方程	
	$X = KC + b$	r	$\ln X = 1/n \cdot \ln C + K$	r	$1/X = 1/(KX_m) \cdot 1/C + 1/X_m$	r
4	$X = 0.108C + 0.508$	0.963	$\ln X = 0.913 \cdot \ln C + 0.764$	0.984	$1/X = 7.388 \cdot 1/C + 0.061$	0.997**
5	$X = 0.137C + 0.063$	0.987	$\ln X = 1.036 \cdot \ln C + 0.941$	0.993*	$1/X = 7.718 \cdot 1/C + 0.063$	0.995*
6	$X = 0.153C + 0.104$	0.992	$\ln X = 0.985 \cdot \ln C + 0.783$	0.996*	$1/X = 6.146 \cdot 1/C + 0.091$	0.977
7	$X = 0.191C + 0.054$	0.996*	$\ln X = 0.989 \cdot \ln C + 0.697$	0.997**	$1/X = 4.977 \cdot 1/C + 0.078$	0.968
8	$X = 0.290C + 0.239$	0.997**	$\ln X = 0.972 \cdot \ln C + 0.481$	0.998**	$1/X = 3.267 \cdot 1/C + 0.014$	0.936

* $\alpha = 0.05$; ** $\alpha = 0.01$; 下同 Same as follows.

在相同 pH 值条件下,随着氮初始处理浓度的增高,腐殖酸对氮的解吸量呈上升趋势,但解吸率逐渐降低,最后趋于稳定。表 3 看出,当 pH 值为 8 时,腐殖酸对氮的解吸量和解吸率最高,分别达 2.59mg/g 和 58.9%; 其它 pH 值处理腐殖酸对氮的解吸量和解吸率顺序是 pH 7 > pH 6 > pH 5 > pH 4,

与腐殖酸对氮的吸附量一致。说明在 pH 值为 4~8 时,随着 pH 值的升高,腐殖酸对氮的吸附和解吸过程更易进行,特别是在弱碱性条件下,腐殖酸对氮的吸附和解吸效果更好。这与梁宗存等^[10]的研究结果基本一致。

表 3 不同 pH 值下风化煤腐殖酸对氮的解吸
Table 3 The desorption properties of humic acid to nitrogen in different pH values

pH	项目 Item	初始浓度 Initial concentration(mg/L)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4	DA	0.21	0.40	0.57	0.69	0.84	0.88	0.93	0.96	0.98	1.02
	DR	25.3	25.0	23.2	20.9	20.1	18.1	16.8	16.2	15.0	14.9
5	DA	0.18	0.34	0.51	0.67	0.88	0.96	1.01	1.04	1.15	1.17
	DR	24.8	24.2	21.7	21.0	21.5	20.2	18.3	16.1	16.0	15.4
6	DA	0.27	0.47	0.75	0.91	1.05	1.08	1.12	1.14	1.17	1.27
	DR	30.1	28.3	27.8	25.9	24.4	20.2	18.3	16.0	15.4	15.1
7	DA	0.42	0.49	0.62	0.69	0.81	0.94	1.02	1.20	1.33	1.41
	DR	41.8	24.5	21.4	18.1	16.5	15.6	14.5	14.8	14.9	14.8
8	DA	0.72	1.47	1.85	2.02	2.04	2.09	2.18	2.33	2.48	2.59
	DR	58.9	58.8	50.2	42.3	34.1	29.4	26.0	24.2	23.3	22.1

DA: 解吸量 Desorption amount(mg/g); DR: 解吸率 Desorption rate(%)。下同 Same as follows.

2.2 腐殖酸对磷的吸附和解吸特性

腐殖酸与磷素相互作用机理有分解与复分解、络合、代换吸附等^[11]。不同 pH 值下腐殖酸对磷的等温吸附线如图 2 所示。与腐殖酸对氮的吸附相比,不同 pH 值下的各等温吸附曲线显著不同,排列

顺序正好相反。在 pH 值为 4~8 范围内,随着 pH 值的增高,腐殖酸对磷的吸附量降低。当 pH 值为 4 时,在各种初始处理浓度下,腐殖酸达到吸附平衡后对磷的吸附量与在其它 pH 值溶液中的吸附量相比均最高,高达 4.5 mg/g; 其余处理对磷的吸附量由

大到小依次为: pH 5(4.0 mg/g)、pH 6(3.0 mg/g)、pH7(2.2 mg/g)、pH 8(1.5 mg/g),pH 值为 4 时的最

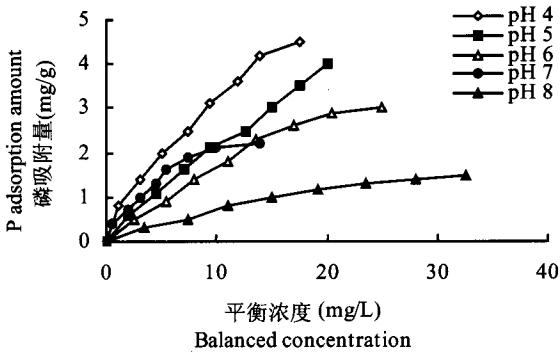


图 2 不同 pH 条件下腐殖酸对磷的等温吸附曲线
Fig. 2 The isothermal adsorption curve of phosphorus under different pH values

大吸附量是 pH 值为 8 时的 3 倍。原因可能是在酸性溶液中,带负电荷的腐殖酸与 H^+ 和 $H_2PO_4^-$ 形成了稳定“双电层”结构,促进了腐殖酸对 $H_2PO_4^-$ 的吸附,而在碱性介质中, OH^- 和 $H_2PO_4^-$ 发生了竞争吸附作用,降低了腐殖酸对 $H_2PO_4^-$ 的吸附。

不同 pH 值下腐殖酸对磷的等温吸附方程拟合结果看出,当溶液中 pH 值为 4 时,腐殖酸对磷的等温吸附符合 Linear 和 Freundlich 方程,相关性达极显著水平; pH 值为 5 时的等温吸附与 Linear 和 Freundlich 方程拟合相关性达显著水平; pH 值为 6 时,仅符合 Freundlich 方程,相关性显著; pH 值为 7 时,符合 Freundlich 和 Langmuir 方程,相关性均为显著; pH 值为 8 时,与 Langmuir 方程显著相关(表 4)。

表 4 不同 pH 值下腐殖酸对磷的等温吸附方程拟合

pH	Linear 方程		Freundlich 方程		Langmuir 方程	
	$X = KC + b$	r	$LnX = 1/n \cdot lnC + K$	r	$1/X = 1/(KX_m) \cdot 1/C + 1/X_m$	r
4	$X = 0.252C + 0.511$	0.998^{**}	$LnX = 0.625 \cdot lnC + 0.123$	0.997^{**}	$1/X = 1.794 \cdot 1/C + 0.130$	0.990
5	$X = 0.192C + 0.168$	0.995^{*}	$LnX = 0.818 \cdot lnC + 0.482$	0.995^{*}	$1/X = 3.126 \cdot 1/C + 0.141$	0.992
6	$X = 0.126C + 0.265$	0.983	$LnX = 0.828 \cdot lnC + 0.623$	0.994^{*}	$1/X = 4.778 \cdot 1/C + 0.126$	0.992
7	$X = 0.078C + 0.172$	0.975	$LnX = 0.788 \cdot lnC + 0.780$	0.993^{*}	$1/X = 6.964 \cdot 1/C + 0.238$	0.993^{*}
8	$X = 0.046C + 0.171$	0.951	$LnX = 0.747 \cdot lnC + 0.916$	0.974	$1/X = 10.732 \cdot 1/C + 0.336$	0.995^{*}

不同 pH 值下风化煤腐殖酸对磷的解吸量和解吸率见表 5。随着初始处理浓度的增加,解吸量逐渐增大,而解吸率逐渐下降。腐殖酸对磷的最大解吸量,当 pH 值为 4 时达 1.08mg/g,解吸率达 37.9%; pH 值为 5 时,最大解吸量和解吸率分别达

0.68 mg/g和 29.9%; 其它处理依次为 pH 6(0.48 mg/g、27.2%) > pH 7(0.24 mg/g、20.3%) > pH 8(0.13 mg/g、14.3%)。可见,与磷的吸附相同,在 pH 4~8 范围内,对风化煤腐殖酸解吸磷的影响随 pH 值的增加,解吸量亦逐渐降低。

表 5 不同 pH 值下风化煤腐殖酸对磷的解吸量及解析率

pH		初始浓度 Initial concentration(mg/L)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
4	DA	0.30	0.51	0.68	0.82	0.93	0.97	1.05	1.08
	DR	37.9	36.4	34.1	33.2	30.3	27.2	25.0	24.4
5	DA	0.18	0.31	0.43	0.52	0.57	0.63	0.66	0.68
	DR	29.9	28.2	27.3	25.4	23.5	21.0	19.3	17.4
6	DA	0.13	0.22	0.29	0.36	0.41	0.46	0.46	0.48
	DR	27.2	24.9	20.8	20.1	18.2	18.0	16.1	15.9
7	DA	0.08	0.13	0.16	0.18	0.19	0.23	0.23	0.24
	DR	20.3	18.4	16.2	13.8	12.3	12.0	11.5	11.1
8	DA	0.04	0.06	0.08	0.09	0.12	0.12	0.13	0.13
	DR	14.3	12.1	10.4	9.8	9.3	9.1	9.0	8.5

2.3 腐殖酸对钾的吸附和解吸特性

不同 pH 值下腐殖酸对钾的等温吸附线(图 3)表明,与腐殖酸对氮的吸附情况有所不同,不同 pH 值条件下,腐殖酸在相同的初始处理浓度达到吸附平衡后对钾的吸附量各不相同。当 pH 值为 7 时,腐殖酸对钾的吸附量最高,达 8.50 mg/g; pH 值为 6 和 8 时,其吸附量分别达 6.92 和 6.90 mg/g; 而 pH 值为 5 和 4 时,吸附量则达 5.81 和 4.80 mg/g。可见,

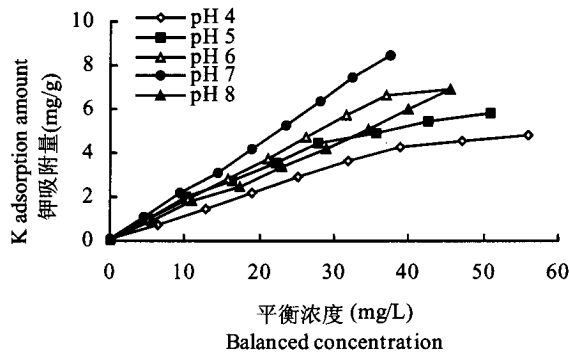


图 3 不同 pH 条件下腐殖酸对钾的等温吸附曲线
Fig. 3 The isothermal adsorption curve of potassium under different pH values

腐殖酸对同是一价阳离子的吸附规律不尽相同。在 pH 7 时腐殖酸对钾的吸附量最高,可能是 K⁺ 在微小颗粒表面的吸附和解吸是扩散控制过程,在中性介质溶液中,这种过程比较容易进行^[12]。

腐殖酸对钾的等温吸附方程拟合结果(表 6)表明,当介质中 pH 为 4 时,腐殖酸对钾的等温吸附符合 Langmuir 方程,相关性达极显著水平; pH 值为 5 时,符合 Langmuir 和 Freundlich 方程,相关性显著; pH 值为 6、7、8 时,符合 Freundlich 和 Linear 方程,相关性分别为极显著和显著水平。

腐殖酸对钾的解吸量和解吸率与氮、磷相似,在各种不同的 pH 值条件下,随着钾初始处理浓度的增高,腐殖酸对钾的解吸量均呈上升趋势,解吸率是下降趋势。表 7 表明, pH 值为 7 时,在相同的初始浓度下,腐殖酸对钾的解吸量和解吸率最高,分别达 1.95 mg/g 和 41.3%; 其它处理依次为 pH 6 > pH 8 > pH 5 > pH 4。这可能是 K⁺ 在微小颗粒表面的解吸是扩散控制过程^[10],在中性介质溶液中,这种过程比较容易进行。说明与腐殖酸对钾的吸附相同,在中性条件下钾在腐殖酸上的解吸易于进行,其次是弱酸或弱碱条件。

表 6 不同 pH 值下腐殖酸对钾的等温吸附方程拟合

Table 6 Humic acid adsorption properties on K depicted with three equations in different pH values

pH	Linear 方程		Freundlich 方程		Langmuir 方程	
	X = KC + b	r	LnX = 1/n · lnC + K	r	1/X = 1/(KX _m) · 1/C + 1/X _m	r
4	X = 0.091C + 0.349	0.936	LnX = 0.913 · lnC + 0.851	0.982	1/X = 8.751 · 1/C + 0.017	0.997 * *
5	X = 0.114C + 0.648	0.955	LnX = 0.773 · lnC + 0.510	0.993 *	1/X = 4.792 · 1/C + 0.064	0.996 *
6	X = 0.162C + 0.250	0.995 *	LnX = 0.950 · lnC + 0.687	0.996 * *	1/X = 5.354 · 1/C + 0.013	0.992
7	X = 0.227C + 0.012	0.999 * *	LnX = 0.973 · lnC + 0.609	0.997 * *	1/X = 4.044 · 1/C + 0.019	0.986
8	X = 0.148C + 0.048	0.994 *	LnX = 0.951 · lnC + 0.755	0.995 *	1/X = 5.971 · 1/C + 0.023	0.968

表 7 不同 pH 值下风化煤腐殖酸对钾的解吸量与解析率

Table 7 The desorption properties of humic acids to potassium in different pH values

pH	项目 Item	初始处理浓度 The initiatory concentration treatments(mg/L)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
4	DA	0.17	0.31	0.42	0.50	0.54	0.51	0.50	0.53
	DR	23.9	22.1	19.3	17.0	15.4	11.8	11.6	11.2
5	DA	0.26	0.47	0.60	0.67	0.75	0.78	0.87	0.88
	DR	26.7	24.3	22.2	19.1	17.6	16.4	16.2	15.5
6	DA	0.36	0.62	0.85	1.08	1.28	1.31	1.38	1.45
	DR	37.9	33.3	30.0	28.8	27.4	23.3	21.4	21.1
7	DA	0.45	0.81	1.08	1.38	1.59	1.60	1.72	1.95
	DR	41.3	38.2	34.9	33.3	30.4	25.4	23.2	23.0
8	DA	0.28	0.48	0.62	0.74	0.88	0.92	0.96	1.03
	DR	31.1	27.3	24.0	22.2	21.4	17.8	15.7	15.1

3 讨论与结论

在各种 pH 值条件下,随着初始处理浓度的增加,腐殖酸对氮、磷、钾的吸附量和解吸量均呈上升趋势,但解吸率均呈下降趋势。在相同的初始处理浓度下,随着 pH 值(在 4~8 范围内,7 除外)的升高,腐殖酸对氮的吸附量、解吸量和解吸率逐渐增加。当 pH 值为 8 时,腐殖酸对氮的吸附量、解吸量和解吸率均最高,分别高达 11.8 mg/g、2.59 mg/g 和 58.9%;而腐殖酸对磷的吸附和解吸随着 pH 值的升高均呈下降趋势,即 pH 值为 4 时,腐殖酸对磷的吸附量、解吸量和解吸率均最高,分别高达 4.5 mg/g、1.08 mg/g 和 37.9%;而腐殖酸对钾的吸附和解吸作用在中性条件下最易进行,其次是在弱酸和弱碱条件下,当 pH 值为 7 时,腐殖酸对钾的吸附量和解吸量高达 8.50 mg/g、1.95 mg/g 和 41.3%。在各种 pH 值的介质溶液中,腐殖酸对氮、磷、钾的等温吸附可用 Linear、Langmuir 和 Freundlich 三个吸附方程拟合,但以 Freundlich 方程为最优。

由此可见,在不同 PH 条件下,风化煤腐殖酸对氮、磷、钾各养分的吸附量和解吸量差异较大,选用风化煤腐殖酸作胶结包膜材料的缓释复合肥,在碱性土壤中磷有缓释效果,在酸性土壤中氮有缓释效果,而对于钾,无论是碱性土壤还是酸性土壤,均有缓释效果。在生产此种复合肥时,应根据作物对养分的需求和土壤的酸碱性选择适合的氮、磷、钾养分配比,达到缓释肥的“缓释”效果。

参考文献:

- [1] 李丽,武丽萍,成绍鑫. 腐殖酸对磷肥增效作用的研究概况[J]. 腐殖酸,1998(4): 1-4.
Li L, Wu L P, Cheng S X. Positive effect of humic acids to phosphate fertilizers[J]. Humic Acids, 1998(4): 1-4.
- [2] 王振川,段惠敏,赵韵琪. 利用风化煤生产腐殖酸类肥料的研究[J]. 河北化工,1996(4): 15-17.
Wang Z C, Duan H M, Zhao Y Q. Research on production of humic acids fertilizers from airslake-coal [J]. Hebei Chemical Technology, 1996(4): 15-17.
- [3] 陈玉玲. 腐殖酸对植物生理活动的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(1): 11-16.
Chen Y L. Influence of humic acids on physiological activities of plants [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2000, 17(1): 11-16.
- [4] 郑平和. 煤炭腐殖酸的生产与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991. 300-308.
Zheng P H. Production and application of humic acids from coal[M]. Beijing: Chemical Technology Press, 1991. 300-308.
- [5] 成绍鑫,武丽萍,柳玉琴. 风化煤高纯腐殖酸新工艺的开发[J]. 腐殖酸,(1): 22-31.
Cheng S X, Wu L P, Liu Y Q. Technologic exploitation of high pure humic acids from airslake-coal [J]. Humic Acids, 1995(1): 22-31.
- [6] 王如阳,王泓. 褐煤对 Cr(VI)离子吸附特性试验[J]. 云南民族学报(自然科学版),1999(4): 41-44.
Wang R Y, Wang H. Adsorption characteristic test on lignite humic acids for Chromium(VI) [J]. Journal of Yunnan Institute of the Nationalities (Natural Sciences Edition), 1999(4): 41-44.
- [7] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社,1988.
Yan C S. Researchful technique of soil fertility[M]. Beijing: Agriculture Press, 1988.
- [8] 刘维屏. 粘土矿物、腐殖酸对异丙甲草胺的吸附[J]. 上海环境科学,1995,14(12): 42-44.
Liu W P. Adsorption of herbicide metolachlor on clay and humic acid [J]. Shanghai Environmental Science, 1995, 14(12): 42-44.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社,2000.
Lu R K. Analysis technique of agricultural chemistry in soil [M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [10] 梁宗存,成绍鑫,武丽萍. 煤中腐殖酸与尿素相互作用机理的研究[J]. 燃料化学学报,1999,27(2): 176-181.
Liang Z C, Cheng S X, Wu L P. Study on mechanism of interaction between coal humic acids and urea [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 1999, 27(2): 176-181.
- [11] 李丽,武丽萍,成绍鑫. 腐殖酸磷肥的开发及其作用机理研究进展[J]. 磷肥与复肥,1999(3): 58-61.
Li L, Wu L P, Cheng S X. Research on synergistic effect of humic acids on phosphate fertilizer[J]. Phosphate and Compound Fertilizer, 1999(3): 58-61.
- [12] 熊明彪,雷孝章,田应兵. 钾离子在土壤中吸附和解吸附动力研究进展[J]. 生态环境,2003,12(1): 115-118.
Xiong M B, Lei X Z, Tian Y B. Research on adsorption and desorption kinetics of potassium [J]. Ecology and Environment, 2003, 12(1): 115-118.