

潘 慧,李健鹏,洪 婷,等. 木本泥炭对钾的缓释效果与固持作用[J]. 江苏农业科学,2021,49(7):205-208.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.036

木本泥炭对钾的缓释效果与固持作用

潘 慧¹,李健鹏²,洪 婷¹,傅 欣³

(1. 中向旭曜科技有限公司,江苏江阴 214400; 2. 北京中向利丰科技有限公司,北京 100001;

3. 香港中向国际有限公司北京代表处,北京 100004)

摘要:以木本泥炭为载体,以氯化钾和硫酸钾为钾源,分别制备木本泥炭氯化钾肥和木本泥炭硫酸钾肥。通过沙柱淋溶试验,研究木本泥炭氯化钾肥和木本泥炭硫酸钾肥的钾释放特性及其钾累积释放率曲线方程拟合情况。结果表明,10 次沙柱淋溶后木本泥炭氯化钾肥 MTLK1 处理的钾释放率比纯氯化钾 LK 减少 13.43%。等当量氯化钾条件下,随着木本泥炭用量的增加,钾释放率减小,一级动力学方程对木本泥炭氯化钾肥的钾累积释放率曲线拟合效果最佳(r 为 0.969~0.995, SE 为 0.08%~1.44%)。木本泥炭硫酸钾肥 MTSK1 处理经过 10 次沙柱淋溶后钾累积释放率比纯硫酸钾 SK 处理减少 30.34%。Elovich 方程对木本泥炭硫酸钾肥 MTSK1、MTSK2 处理的钾累积释放率曲线(r = 0.992 **, SE = 1.30%; r = 0.997 **, SE = 0.74%)的拟合度更高,抛物线方程对木本泥炭硫酸钾肥 MTSK3、MTSK4 的钾累积释放率曲线(r = 0.995 **, SE = 0.86%; r = 0.996 **, SE = 0.70%)的拟合度更高。木本泥炭对 2 种不同钾源的吸附固持能力存在一定差异,木本泥炭氯化钾肥与木本泥炭硫酸钾肥都有良好的缓释效果。

关键词:木本泥炭;缓释;钾肥;钾释放率;拟合

中图分类号: S143.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)07-0205-04

钾是植物生长所必需的大量营养元素。我国是农业大国,每年需要的钾肥量巨大。但由于我国的可溶性钾肥资源不足,年生产能力与总需求量相差甚远,因而我国大量钾肥依赖进口^[1-2]。2013 年农业部组织专家完成的《中国三大粮食作物肥料利用率研究报告》显示,我国水稻、玉米、小麦三大粮食作物钾肥当季平均利用率为 42%,虽然我国主要粮食作物肥料利用率水平已经属于国际公认的适宜范围,但仍然处于较低的水平^[3]。因此,在化肥零增长的背景下^[4],提高钾的利用率对降低农业成本,提高作物产量具有重要意义。提高钾肥的利用率除了改变耕作和施肥方式外,在钾肥中加入一些具有吸附效果的物质制成缓释性肥料,是一种提高钾肥利用率的有效方法。泥炭这种绿色、健康、洁净和安全的有机矿产,在我国仍处于初级低值利用阶段^[5]。泥炭分为草本泥炭、木本泥炭、藓类泥炭等,我国草本泥炭储量占国内泥炭总储量的 98.51%^[6],我国相关研究大多集中于草本泥炭,对

储量仅占 0.53% 的木本泥炭研究较少。木本泥炭由木本植物残体转化而成,其腐殖酸含量高于草本泥炭^[6-7]。腐殖酸是一类具有良好生物活性的有机高分子物质,具有刺激作物生长,活化土壤养分的作用,对氮、磷、钾等具有吸附、缓释等作用^[8]。本试验利用木本泥炭作为载体,负载不同钾肥后研究其对钾的缓释效果和固持效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试木本泥炭有机质含量为 89%,总腐殖酸含量为 53.96%^[9],含水量为 40.85%。由中向旭曜科技有限公司提供。

供试钾肥为分析纯硫酸钾(K_2O 含量为 65.66%)、分析纯氯化钾(K_2O 含量为 58.59%)。以纯氯化钾(LK)、纯硫酸钾(SK)为对照。供试木本泥炭钾肥为实验室内自行制备,将木本泥炭与一定质量比例的氯化钾(或硫酸钾)充分吸附、反应,利用挤压造粒的方法,分别配制 K_2O 含量约为 10%、20%、30%、40% 的木本泥炭氯化钾肥和木本泥炭硫酸钾肥;空白木本泥炭同样进行挤压造粒,作为空白对照。由于肥料制备过程中木本泥炭水分减少,导致肥料中 K_2O 实际含量升高,为避免试

收稿日期:2020-07-22

作者简介:潘 慧(1984—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士,工程师,肥料配方师,主要从事腐殖酸新型肥料、土壤改良相关研究。
E-mail:ph18@163.com。

验误差,分析每种木本泥炭钾肥中 K_2O 的实际含量,具体结果见表 1。

表 1 木本泥炭钾肥中氧化钾含量

供试钾肥	处理	K_2O 含量 (%)
氯化钾	MTLK1	12.88
	MTLK2	22.38
	MTLK3	35.28
	MTLK4	47.90
硫酸钾	MTSK1	12.13
	MTSK2	26.47
	MTSK3	37.68
	MTSK4	45.85

注:表中数据均采用 GB/T 17767.3—2010《有机-无机复混肥料的测定方法 第 3 部分:总钾含量》中的方法测定。

1.2 试验方法

沙柱淋溶法:在直径为 3 cm,高 20 cm 的玻璃淋溶管中,事先用 0.075 mm 尼龙滤布封底口,淋溶管分为 3 层,上下 2 层为 30 g 细沙(过 0.25 ~ 1 mm 筛,180 ℃烘干),中间一层为等当量钾的木本泥炭钾肥(氯化钾或硫酸钾,制备后过 2 ~ 4 mm 筛)与 20 g 细沙的混合物,上面覆盖 2 层滤纸以免加水时扰乱沙层,以等当量钾的纯氯化钾或纯硫酸钾以及造粒后的空白木本泥炭原料为对照,每个处理设 5 次重复。首先缓慢而多次地滴加总量为 20 mL 的蒸馏水使沙柱充分润湿,再加入 10 mL 水淋溶沙柱,收集淋溶液。每次淋溶加蒸馏水 10 mL,每隔 1 h 淋溶 1 次,在沙柱下用锥形瓶收集淋溶液,并将收集的淋溶液定容至 50 mL。淋溶液中的钾素含量用火焰光度法测定^[10]。本试验于 2019 年 9 月在中向旭曜科技有限公司实验室进行。

1.3 钾累积释放率曲线方程拟合

本试验利用一级动力学方程、Elovich 方程、抛物线方程^[11]对肥料养分累积释放率曲线进行拟合。一级动力学方程[公式(1)]、Elovich 方程[公式(2)]、抛物线方程[公式(3)]如下:

$$N = N_0 \times [1 - \exp(-k \times f)]。 \quad (1)$$

$$N = a + b \times \ln f。 \quad (2)$$

$$N = a + b \times f^{0.5}。 \quad (3)$$

式中: N 为 t 时间段内养分累积释放率(%); N_0 为最大养分累积释放率(%); a 、 b 为方程常数; k 为速率常数(d^{-1}); f 为淋溶次数(次)。

拟合方程用 SPSS 22.0 统计软件的非线性回归统计分析模块进行拟合,并计算其显著性检验结果。

1.4 数据分析

钾释放速率 = (钾释放量 - 空白对照钾释放

量)/总钾量 $\times 100\%$;

钾累积释放率 = (钾累积释放量 - 空白对照钾释放量)/总钾量 $\times 100\%$;

原始数据均采用 Excel 2007 进行整理计算、绘制图表,数据统计分析采用 SPSS 22.0 统计软件。

2 结果与分析

2.1 木本泥炭氯化钾肥中钾的释放特性

通过比较各点钾累积释放率的大小,可以了解各肥料中钾的释放总量。由图 1 - A 可知,LK 处理在第 1 次淋溶时钾累积释放率已达 90% 以上,第 2 次淋溶已接近 100%,而 MTLK1 和 MTLK2 处理直到第 10 次淋溶时钾累积释放率仍不到 90%,MTLK3 和 MTLK4 均在第 3 次淋溶以后钾累积释放率才达到 90% 左右,说明木本泥炭氯化钾肥具有一定的缓释效果,经过 10 次淋溶尚不能完全洗脱,说明木本泥炭对钾具有一定的吸附固持作用。等当量钾条件下,木本泥炭氯化钾肥的氧化钾含量越低,沙柱内木本泥炭添加量越多,养分释放时间越长。

由图 1 - B 可知,5 种氯化钾肥处理的钾释放速率峰值均出现在第 1 次淋溶时,LK 的钾释放速率明显高于 4 种 MTLK 处理。随淋溶次数增加,LK 的钾释放速率明显降低,在第 3 次淋溶时钾释放速率已经低于 1%/h,而 4 种 MTLK 处理钾释放速率的减小幅度均比 LK 小,MTLK4 在第 5 次淋溶后钾释放速率才低于 1%/h。随着木本泥炭氯化钾肥的氧化钾浓度降低,MTLK1 在第 10 次淋溶时释放速率尚大于 1%/h。在前期淋溶过程中,木本泥炭氯化钾肥的钾释放速率要小于纯氯化钾肥;而随淋溶次数增加,沙柱中钾含量开始减少,但由于木本泥炭的吸附作用,使钾的流失作用减小,所以在木本泥炭氯化钾肥后期的淋溶过程中,钾的释放速率要高于纯氯化钾肥,木本泥炭氯化钾肥具有一定缓释效果。

2.2 木本泥炭硫酸钾肥中钾的释放特性

由图 2 - A 可知,SK 处理在第 3 次淋溶时钾累积释放率已达 90% 以上,第 5 次淋溶时已达到 96.26%,而 4 种 MTSK 处理直到第 10 次淋溶时钾累积释放率均不到 81%,甚至 MTSK3 和 MTSK4 处理第 10 次淋溶时累积释放率不足 70%,说明木本泥炭对钾有一定的吸附固持作用,木本泥炭硫酸钾肥具有缓释效果。

由图 2 - B 可知,SK 和 4 种 MTSK 处理的钾释放速率峰值均出现在第 2 次淋溶时,第 1 次淋溶时

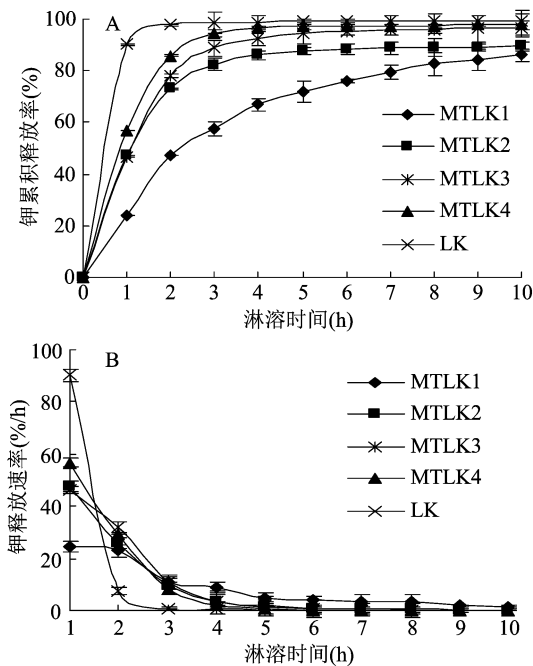


图1 木本泥炭氯化钾肥中钾释放率

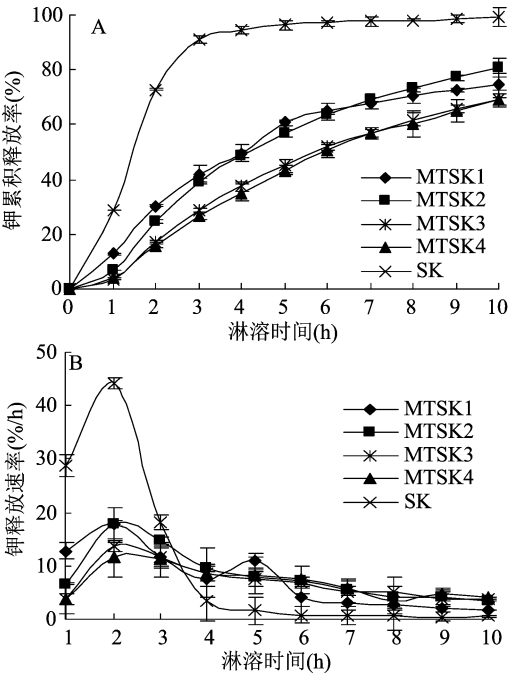


图2 木本泥炭硫酸钾肥中钾释放率

各处理硫酸钾淋出量相对较低。前 3 次淋溶时,4 种 MTSK 处理的钾释放速率均小于 SK,而在后期的淋溶过程中,4 种 MTSK 处理的钾释放速率均高于 SK,SK 在第 6 次淋溶时的钾释放速率已经低于 1%/h,而 4 种 MTSK 处理到第 10 次淋溶时的钾释放速率仍大于 1%/h,说明木本泥炭硫酸钾肥具有缓释效果。

2.3 钾累积释放率曲线方程拟合

将沙柱淋溶得到的钾累积释放率曲线用一级动力学方程、Elovich 方程、抛物线方程进行拟合(表 2)。对于各氯化钾肥处理的钾累积释放率曲线的拟合,均以一级动力学方程的拟合相关系数(r)最

高,为 0.969 ~ 0.995, SE 为 0.08% ~ 1.44%,说明一级动力学方程对各氯化钾肥的钾累积释放率曲线拟合效果最佳;进一步分析一级动力学方程参数钾释放速率(k)可知,MTLK1、MTLK2、MTLK3、MTLK4 处理的钾释放速率逐渐增加,且均小于 LK 的钾释放速率。各硫酸钾肥处理中,对照 SK 的钾累积释放率曲线方程拟合结果显示,一级动力学方程($r=0.918^{**}$, $SE=13.30\%$)的拟合度最佳;而对于木本泥炭硫酸钾肥处理 MTSK1、MTSK2 的钾累积释放率曲线, Elovich 方程($r=0.992^{**}$, $SE=1.30\%$; $r=0.997^{**}$, $SE=0.74\%$)的拟合度更高;

表 2 木本泥炭钾肥中钾累积释放率曲线方程拟合结果

供试钾肥	处理	一级动力学方程					Elovich 方程				抛物线方程			
		N_0	k	r	$SE(\%)$		a	b	r	$SE(\%)$	a	b	r	$SE(\%)$
KCl	MTLK1	86.05	0.374	0.995 **	0.68		27.40	26.67	0.990 **	1.50	7.54	26.77	0.932 **	10.46
	MTLK2	89.42	0.758	0.995 **	0.32		57.44	16.34	0.823 **	12.24	47.50	15.41	0.684 *	21.88
	MTLK3	96.40	0.804	0.982 **	1.44		59.05	19.20	0.808 **	18.70	47.51	18.04	0.667 *	32.50
	MTLK4	97.73	0.954	0.984 **	0.89		69.16	15.01	0.736 **	17.31	60.70	13.86	0.586 *	27.13
	LK	99.48	2.356	0.969 **	0.08		93.25	3.24	0.706 *	0.93	91.43	2.98	0.560	1.40
K ₂ SO ₄	MTSK1	74.35	0.301	0.969 **	4.37		12.38	27.94	0.992 **	1.30	-9.20	28.39	0.957 **	7.29
	MTSK2	80.66	0.244	0.948 **	10.25		4.10	33.04	0.997 **	0.74	-22.27	33.95	0.983 **	3.98
	MTSK3	69.50	0.216	0.928 **	11.37		-0.84	29.56	0.988 **	2.35	-25.18	30.70	0.995 **	0.86
	MTSK4	68.98	0.208	0.920 **	12.80		-2.05	29.58	0.979 **	4.08	-26.75	30.88	0.996 **	0.70
	SK	99.32	0.595	0.918 **	13.30		47.00	26.79	0.792 **	40.32	31.12	25.08	0.648 *	68.10

注: **、* 分别表示相关系数达极显著水平($n=10$ 时, $r_{0.01}=0.708$)、显著水平($n=10$ 时, $r_{0.05}=0.576$); SE 为残差标准误,是残差均方除以自由度的平方根。

抛物线方程对本本泥炭硫酸钾肥处理 MTSK3、MTSK4 的钾累积释放率曲线 ($r = 0.995^{**}$, $SE = 0.86\%$; $r = 0.996^{**}$, $SE = 0.70\%$) 的拟合度更高。

3 讨论与结论

缓释肥料一般都是通过包膜、包囊、涂层等物理方法延长肥效,或利用孔隙丰富、吸附能力强的生物质炭、凹凸棒石等材料,与化学养分混合,制成载体肥料达到缓释效果。将碳基材料与肥料复合制备成炭基缓释肥料,成为生物炭在农业生产中的应用的新发展方向^[12]。然而,由于生物炭是通过对生物质进行高温热解制备而成,在这一高温热解过程中会不可避免地产生一定量的多环芳烃、二噁英或呋喃,并且这些化合物会附着于生物炭的表面或孔隙中^[13-14]。随着生物炭的广泛施用,其中有害物质会随之进入环境,威胁环境健康^[15]。

泥炭作为一种天然碳基材料,目前世界上泥炭开采量的 70% 都应用于农业^[16-17],许多开采泥炭的国家都以泥炭为原料,加工生产有机肥料^[18]。目前,我国的泥炭资源主要是以能源矿产,或者直接开采的形式粉碎作为园艺营养土或土壤有机肥料利用,并不能充分发挥其价值,亟待研发高技术含量的泥炭产品,如新型缓释肥料等耗费资源少、科技含量高的泥炭产品,以提高产品的附加价值^[5]。

研究发现,将木本泥炭作为缓释载体材料,在等当量钾的情况下,负载氯化钾的木本泥炭氯化钾肥比普通氯化钾肥的钾释放时间更长,在氧化钾含量为 12.88% 时,经过 10 次沙柱淋溶之后木本泥炭氯化钾肥的氧化钾释放率比普通氯化钾肥减少 13.43%,具有一定的缓释效果。氧化钾含量为 45.85% 的木本泥炭硫酸钾肥相比其他氧化钾含量更高的木本泥炭硫酸钾肥的缓释效果更好,其经过 10 次沙柱淋溶后钾累积释放率比普通硫酸钾肥减少 30.34%,缓释效果明显。对比硫酸钾肥料和氯化钾肥料的钾释放率,淋溶 10 次(h)后,木本泥炭氯化钾肥 MTLK1 和 MTLK2 处理的钾释放率低于 90%,而木本泥炭硫酸钾肥的钾释放率均低于 81%,木本泥炭硫酸钾肥缓释时间相比更长。木本泥炭对于不同钾源均有一定的吸附固持作用,相比氯化钾,淋溶 10 次后,木本泥炭对硫酸钾的吸附量更高。木本泥炭氯化钾肥和木本泥炭硫酸钾肥均对钾的释放有缓释效果,木本泥炭硫酸钾肥的缓释效果更强。

木本泥炭的腐殖酸含量高,可以作为土壤改良

剂,制成木本泥炭钾肥后可提高钾肥利用率,研究木本泥炭作为缓释肥料载体的缓释效果有重要意义,可为木本泥炭在农业领域更广阔的研发与应用提供参考。

参考文献:

- [1] 王德汉,彭俊杰,廖宗文. 木质素改性产物对钾肥的缓释作用与作物吸钾量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(3): 308-311.
- [2] 刘爱平,冯启明,王维清,等. 膨润土对钾肥的吸附性能及缓释效果研究[J]. 非金属矿,2010,33(6):49-54
- [3] 四川省农业厅. 我国三大粮食作物肥料利用率处较低水平[J]. 四川农业科技,2013(12):47.
- [4] 中华人民共和国农业部. 到 2020 年化肥使用量零增长行动方案[J]. 青海农技推广,2015(2):3-6.
- [5] 王利伟,孔凡晶,郑绵平,等. 我国泥炭资源开发利用现状及建议[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):142-147.
- [6] 孟宪民. 我国泥炭资源的储量、特征与保护利用对策[J]. 自然资源学报,2006,21(4):567-574.
- [7] 饶娇萍,贾沁贤,王登红,等. 中国泥炭矿成矿规律与开发利用[J]. 地质学报,2020,94(1):192-203.
- [8] 王振振,张超,史春余,等. 腐殖酸缓释钾肥对土壤钾素含量和甘薯吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(1):249-255
- [9] 潘慧,傅欣,赵世军,等. 活化条件对木本泥炭中腐殖酸提取效果的影响[J]. 腐植酸,2016(1):20-23.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 有机-无机复混肥料测定方法 第 3 部分:总钾含量:GB/T 17767.3—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [11] Morgan K T, Cushman K E, Sato S. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production[J]. Horttechnology,2009,19(1):10-12.
- [12] 廖依丹,贺秋华. 生物炭在农业上的研究进展[J]. 安徽农业科学,2017,45(34):112-113,125.
- [13] Hilber I, Blum F, Leifeld J, et al. Quantitative determination of PAHs in biochar: a prerequisite to ensure its quality and safe application[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2012,60(12):3042-3050.
- [14] Schimmelpenninck S, Glaser B. One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41(4): 1001-1013.
- [15] 李增波,王聪颖,蒋新,等. 生物质炭中多环芳烃的潜在环境风险研究进展[J]. 土壤学报,2016,53(6):1357-1370.
- [16] 王利伟,孔凡晶,郑绵平,等. 我国泥炭资源开发利用现状及建议[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):148-153.
- [17] 曹石榴. 泥炭在农业中的研究与应用[J]. 现代园艺,2018(3):81-82,164.
- [18] 侯宪文,王曰鑫. 腐殖酸资源农业利用的现状与前景[C]//第四届全国绿色环保肥料新技术、新产品交流会论文集,北京:2004:11-14.