

保水剂对橡胶树专用肥氮钾淋出特性的影响

王龙宇^{1,2}, 郑国亮¹, 华元刚¹, 刘海林¹, 林钊沐¹

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所/农业部橡胶树生物学与遗传资源利用重点实验室/

省部共建国家重点实验室培育基地,海南 儋州 571737; 2. 海南博士威农用化学有限公司,海南 海口 570228)

摘要: [目的] 探寻减少橡胶树专用肥淋溶损失的途径,提高橡胶树专用肥利用率。[方法] 采用在橡胶树专用肥中添加保水剂的方法,模拟橡胶树每年第 3 次施肥期(9 月份)的降雨量,开展间歇性土柱淋溶试验。研究了 CMC(羧甲基纤维素钠),PAM(聚丙烯酰胺)和 PAA(聚丙烯酸钠)这 3 种保水剂对橡胶树专用肥氮素、钾素释放特征及淋溶损失的影响,筛选保水剂及合理施用比例。[结果] 3 种保水剂对橡胶树专用肥中氮素、钾素的淋失均有抑制作用,其中保水剂 PAM 用量为 6% 时对橡胶树专用肥中的氮素、钾素淋失抑制效果最佳。该处理对氮素、钾素首次淋失抑制率分别为 44.73%,57.16%,淋溶结束时氮素、钾素累积淋出量分别较未添加保水剂的对照处理减少了 20.20%,14.87%。[结论] 在橡胶树专用肥中添加保水剂可有效降低橡胶树专用肥中氮素、钾素的淋溶损失。

关键词: 保水剂; 橡胶树专用肥; 淋溶损失; 氮素; 钾素; 抑制

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0212-07

中图分类号: S143

文献参数: 王龙宇, 郑国亮, 华元刚, 等. 保水剂对橡胶树专用肥氮钾淋出特性的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 212-218. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.038

Effects of Water-retaining Agent on Leaching Loss of Nitrogen and Potassium from Special Fertilizer for Rubber Tree

WANG Longyu^{1,2}, ZHENG Guoliang¹, HUA Yuangang¹, LIU Hailin¹, LIN Zhaomu¹

(1. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science(CATAS)/Key

Laboratory of Biology and Genetic Resources of Rubber Tree, Ministry of Agriculture/State Key Laboratory Incubation Base, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. Hainan BOSS WELL Agrochemical Co., Ltd, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to explore the ways for reducing the leaching loss of special fertilizer for rubber tree in order to provide reference for increasing the efficiency of special fertilizer for rubber tree utilization. [Methods] An intermittent soil column leaching experiment was conducted by adding water-retaining agent to special fertilizer for rubber tree, and the rainfall in the third fertilizer application-period(September) in each year was simulated. Three water-retaining agents including carboxyl methyl cellulose(CMC), polyacrylamide(PAM) and sodium polyacrylate(PAA) were selected. The effects of water-retaining agents on releasing characteristics and leaching losses of nitrogen and potassium from special fertilizers for rubber trees were explored to choose the proper application ratio of water-retaining agent and special fertilizer for rubber tree. [Results] All the 3 water-retaining agents showed inhibiting effects on leaching losses of nitrogen and potassium from special fertilizer for rubber tree. PAM had the best inhibiting effect at a dosage of 6%, and the relative for nitrogen and potassium losses in the first leaching was 44.73% and 57.16%, respectively. Compared to the control treatment, accumulated leaching losses of nitrogen and potassium was decreased by 20.20% and 14.87%, respectively. [Conclusion] Leaching losses of nitrogen and potassium from special fertilizer for rubber tree can be reduced by adding water-retaining agent to specific rubber fertilizer.

Keywords: water-retaining agent; special fertilizer for rubber tree; leaching loss; nitrogen; potassium; inhibition

收稿日期: 2015-01-02

修回日期: 2015-02-02

资助项目: 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费专项(1630022015024); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-34); 海南耕地改良关键技术研究示范专项(HNGDxf2015)

第一作者: 王龙宇(1989—), 男(满族), 辽宁省抚顺市人, 硕士研究生, 研究方向为新型肥料研发。E-mail: wanglongyu_1989@163.com。

通讯作者: 林钊沐(1955—), 男(汉族), 广东省汕头市人, 学士, 研究员, 主要从事橡胶树营养与施肥研究。E-mail: Lzhm8001@163.com。

近几十年来,中国粮食总产量随化肥施用量增加而增长,然而单位肥料增产率却随化肥施用量增加而明显降低,其主要原因是肥料损失严重,导致利用率降低^[1-3]。据统计,中国氮肥当季利用率仅为 30%~35%,钾肥利用率为 35%~50%,远低于世界发达国家水平,每年通过雨水淋溶、挥发损失的化学氮达到 $1.20 \times 10^7 \sim 1.40 \times 10^7$ t,价值 400 亿元以上^[4-6]。严重的肥料流失不仅造成资源浪费,也极大的增加农业生产成本。提高肥料利用率,发展可持续、高效农业是全世界共同关注的问题^[7-8]。

在橡胶产业发展的几十年中,为满足橡胶树正常生长和产胶所必需的养分,橡胶种植园区大量施用化肥。化肥对于整个橡胶产业发展起到了不可估量的作用,但也存在肥料养分流失严重的问题。化肥损失的主要途径是淋失作用,海南为中国最大的植胶区,地处热带,属热带季风性气候,降雨量大且集中,土壤类型为砖红壤,土壤渗透率高、阳离子交换量低,淋失作用更为严重^[9]。据调查显示橡胶产业中化肥投入费用约占生产资料投入总费用的 50%。降低肥料淋溶损失,提高肥料利用率,进而减少肥料用量,是使胶农减投增收,促进中国橡胶产业可持续发展的重要途径。

高吸水性树脂(super absorbent polymer, SAP)是吸水能力强,保水能力高,能吸附肥料、农药,并尔后缓慢释放出来的高分子化合物。农用高吸水性树脂又称保水剂。保水剂可作为土壤结构改良剂调节土壤中固、液、气的三相分布,提高土壤孔隙率、通气性和透水性,降低土壤容重和抗张强度,促进土壤形成稳定的团聚体,防止土壤板结,增强土壤抗侵蚀能力^[10-11]。相关研究表明,保水剂可通过创建、稳定土

壤团粒结构和吸附肥料元素来改善肥料养分所处土壤的化学物理环境,加强土壤对肥料的吸附和保持,抑制肥料养分的流失^[12-13]。保水剂与肥料采用掺混造粒、包膜/包裹、物理吸附或化学合成等工艺复合制备的保水缓/控释肥料可极大地提高肥料的利用效率^[14-17]。

本研究拟采用室内模拟试验,研究 3 种性能较优的水溶性保水剂分别以不同比例与橡胶树专用肥混合施用后,肥料中氮素、钾素释放特征及淋溶损失情况,初步探讨保水剂减少养分损失的机理,以期为提高橡胶树专用肥利用率、减轻肥料污染及研制适宜在橡胶生产上推广应用的保水缓释肥料提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

供试保水剂均由国药集团化学试剂有限公司生产。

保水剂 A(羧甲基纤维素钠 CMC):浅黄色粉末状,是由天然纤维素与苛性碱及一氯醋酸反应后制得的一种高分子化合物,分子量 17 000;保水剂 B(聚丙烯酰胺 PAM):直链状聚合物,白色小颗粒,由十万个以上的单体聚合构成,分子量 3 000 万,它的酰胺基可与许多物质亲和、吸附形成氢键,具有很强的黏聚作用和保水作用;保水剂 C(聚丙烯酸钠 PAA):直链高分子聚合物,白色小颗粒,分子量 3 000 万。

(1) 供试肥料。橡胶树专用肥,用尿素、氯化钾和过磷酸钙按照橡胶树专用肥的配比进行配制,配比为 $N : P_2O_5 : K_2O = 15 : 9 : 6$ 。

(2) 供试土壤。供试土壤采自中国热带农业科学院橡胶研究所 5 队试验基地表层 0—20 cm,自然风干后过 1 mm 筛备用;其基本性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

成土母质	土层深度/cm	全氮/(g·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)
片麻岩	0—20	0.48	40.64	4.15	4.80	11.07

1.2 试验方法

每年 4、6 和 9 月一般为海南橡胶生产中的施肥月,3 个月中 9 月降雨量最大且多为短时强降雨,肥料的淋溶损失最为严重。本试验模拟橡胶树每年第

3 次施肥期 9 月份的降雨量进行间歇性土柱淋溶试验,探究 3 种保水剂对橡胶树专用肥的淋失抑制效果。每种保水剂设 5 个水平,1 个空白对照,共 16 个处理,每个处理 5 次重复(详情见表 2)。

表 2 各处理及保水剂用量

项目	对照		保水剂 A		保水剂 B		保水剂 C	
	处理编号	材料比例/%	处理编号	材料比例/%	处理编号	材料比例/%	处理编号	材料比例/%
处理	CK	0	A2%	2	B2%	2	C2%	2
			A3%	3	B3%	3	C3%	3
			A4%	4	B4%	4	C4%	4
			A5%	5	B5%	5	C5%	5
			A6%	6	B6%	6	C6%	6

注:A 表示羧甲基纤维素钠;B 表示聚丙烯酰胺;C 表示聚丙烯酸钠。下同。

向长 40 cm, 内径 5 cm, 用 200 目尼龙网布封底的 PVC 管中加入 3 mm 洗净沙粒 100 g (高约 4 cm), 然后装入过 1 mm 筛供试风干土壤 400 g (高约 20 cm), 压实, 再在其上方装入与保水剂充分混匀的 10 g 橡胶树专用肥, 再加入过 1 mm 筛供试风干土壤 100 g (高约 5 cm), 最后以过 3 mm 筛洗净沙粒覆盖 100 g (高约 4 cm), 以免淋溶时扰乱土层。土柱制备完成后将其摆放在在特制土柱淋溶架上, 第 1 次先少量多次的滴加去离子水 270 ml, 使土壤水分接近饱和, 但不会有过量去离子水自土柱渗出。保湿放置 24 h 后进行土柱淋溶试验, 向土柱中加去离子水 103 ml (去离子水用量根据海南近 10 a 内的 9 月份平均降雨量确定) 进行淋溶, 用锥形瓶收集淋溶液, 待不再有水滴出为止, 对淋溶液进行摇匀, 取样液进行水溶性 K 和全 N 测定。以刺有小孔的塑料薄膜封闭 PVC 管上口, 室温培养 5 d 后, 继续添加 103 ml 去离子水进行第 2 次淋溶, 同时收集淋出液, 对淋溶液进行摇匀, 取样液进行分析。以后各次按同样方法进行, 5 d 淋溶 1 次共淋溶 6 次^[18]。

1.3 分析方法

土壤常规分析参照《土壤农业化学分析方法》^[19]: 淋溶液中全氮采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法进行测定, 全钾采用火焰光度法进行测定。

1.4 统计分析

1.4.1 计算公式

淋失率: $L[t_1, t_2] =$

{(处理在时间 t (d) 区间 $[t_1, t_2]$ 内淋出

养分的量空白—对照处理在区间 $[t_1, t_2]$ 内淋出

养分的量)/肥料中该养分的含量} × 100% (1)

累积淋失率: $SL_t = L_5 + L_{10} + \dots + L_{t-5} + L_t$ (2)

淋失抑制率: $LI_t = [SL_t(\text{对照}) - SL_t(\text{处理})] \times$
100/ $SL_t(\text{对照})$ (3)

1.4.2 数据分析处理 利用 Excel 2007 软件计算各处理累积溶出量、溶出抑制率和绘制图表; 利用 JMP 11.0 软件对各处理溶出抑制率进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 保水剂对橡胶树专用肥在胶园土壤中氮素淋出量的影响

氮素在橡胶树的营养生长和产排胶过程中具有十分重要的作用, 合理施用氮肥是橡胶树速生高产栽培技术中的关键环节。然而, 海南土壤以砖红壤为主, 且降雨量大, 导致胶园土壤中氮素容易淋失, 氮肥利用率较低。为此本研究利用土柱淋溶模拟试验研究了保水剂与橡胶树专用肥混施在胶园土壤中氮素

淋出特性, 以探究通过添加保水剂降低橡胶树专用肥在胶园土壤中氮素淋失量的可行性。图 1, 2, 3 为 3 种保水剂 A, B, C 分别与橡胶树专用肥混施后在胶园土壤中 N 素累积淋出量曲线, 由图可知, 各处理的氮素累积淋出率曲线均为抛物线型, 氮素累积淋出率均随着淋溶次数增加而增大, 氮素单次淋出率随着淋溶次数增加而逐渐减小。当淋溶至第 5 次时, 各处理氮素累积淋出量曲线趋于水平。但是, 不同保水剂种类及用量处理之间氮素累积淋出量曲线存在差异。

图 1 为保水剂 A 与橡胶树专用肥混施处理的氮素累积淋出量曲线图, 由图 1 可发现, 除添加保水剂 A 用量 2% 处理外, 各处理首次淋溶氮素淋出量均为 6 次淋溶中最多的 1 次。第 1 次淋溶后, 保水剂 A 用量 0, 2%, 3%, 4%, 5% 和 6% 的处理氮素淋出量分别占施用氮素总量的 57.62%, 61.99%, 53.08%, 50.23%, 51.11% 和 50.82%。保水剂 A 用量 3%, 4%, 5% 和 6% 的处理较未加保水剂 A 处理 CK 分别减少了 7.88%, 12.83%, 11.30% 和 11.80%。6 次淋溶结束后, 保水剂 A 用量 0, 2%, 3%, 4%, 5% 和 6% 的处理氮素累积淋出量分别占施用氮素总量的 73.98%, 74.16%, 70.61%, 67.14%, 69.54% 和 68.15%。保水剂 A 用量 3%, 4%, 5% 和 6% 的处理氮素累积淋出量分别较未加保水剂处理 CK 减少了 4.56%, 9.25%, 6.00% 和 7.88%。可见, 除添加保水剂 A 用量 2% 处理外, 各处理氮素首次淋出量和 6 次氮素淋出总量都明显低于不加保水剂处理, 但是, A2% 处理和对照 CK 的氮素淋出总量差异不明显。表明当保水剂 A 用量超过 2% 时才对肥料中的氮素有缓释效果, 且随着保水剂 A 用量的增加临时抑制效果逐渐增强, 当用量达到 5% 时缓释效果最佳, 此后再增加用量效果反而减弱。

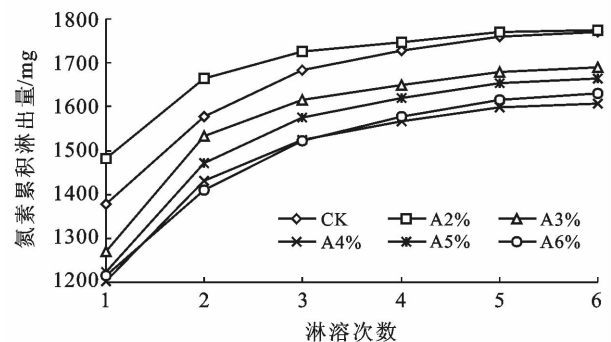


图 1 保水剂 A 对橡胶树专用肥氮素累积淋出量的影响

保水剂 B 与橡胶树专用肥混施处理的氮素累积淋出量关系见图 2。由图 2 可知, 第 1 次淋溶, 保水剂

B用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%的处理氮素淋出量分别占施用氮素总量的 57.62%,51.00%,54.51%,55.05%,45.14%和 31.85%。保水剂 B 用量 2%,3%,4%,5%和 6%的处理较未加保水剂 B 处理 CK 分别减少了 11.49%,5.39%,4.46%,21.67%和 44.73%。6 次淋溶结束后,保水剂 B 用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%的处理 N 素累积淋出量分别占施用氮素总量的 73.98%,68.69%,66.97%,69.98%,62.41%和 59.04%。保水剂 B 用量为 2%,3%,4%,5%和 6%的处理氮素累积淋出量分别较未加保水剂的对照 CK 减少了 7.15%,9.47%,5.41%,15.63%和 20.20%。表明添加保水剂 B 的各处理均比不添加保水剂 B 处理 CK 的氮素淋出量小,且 B6%处理效果最佳。随着淋溶次数的增加对照与添加保水剂 B 的各处理氮素的累积淋出量差异逐渐缩小。总体上保水剂 B 的用量越大对肥料中的氮素淋失抑制越强,但在使用量为 4%时出现异常,具体原因有待进一步探究。

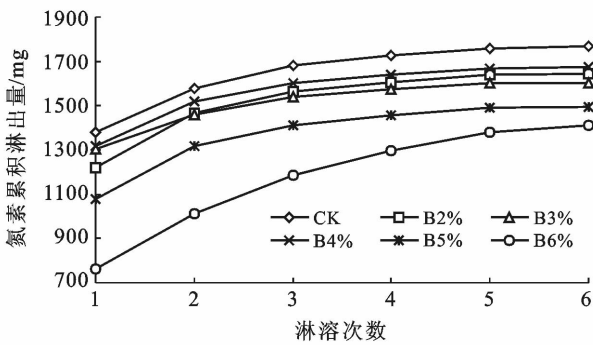


图 2 保水剂 B 对橡胶树专用肥氮素累积淋出量的影响

由图 3 可知保水剂 C 用量显著影响了橡胶树专用肥氮素淋出量,保水剂 C 用量 2%,3%,4%,5%和 6%处理的第 1 次淋溶中氮素淋出量分别较未加保水剂处理 CK 减少了 10.86%,9.26%,30.20%,22.23%和 33.45%,其中以添加 6%保水剂 C 处理第 1 次淋溶淋失量最小。6 次淋溶结束后,添加保水剂 C 各处理氮素淋出量均较不添加保水剂 C 处理 CK 有

显著减少,且用量最大的处理 C6%效果最佳。随着淋溶次数的增加对照与添加保水剂 B 的各处理氮素的累积淋失量差异逐渐缩小。因此,总体上保水剂 C 的用量越大对肥料中的氮素淋失抑制效果越强。

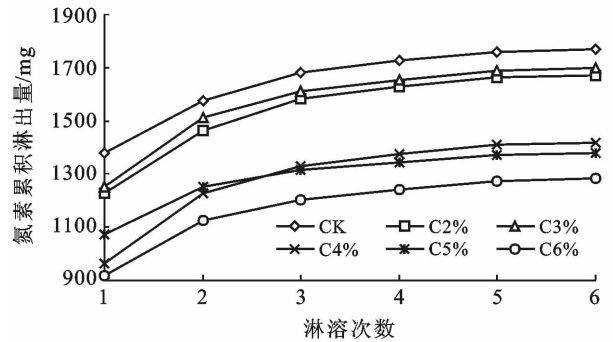


图 3 保水剂 C 对橡胶树专用肥氮素累积淋出量的影响

2.2 保水剂对橡胶树专用肥氮素溶出抑制率的影响

为了进一步探讨保水剂种类和用量对橡胶树专用肥氮素淋出特性的影响,筛选出橡胶树专用肥氮素淋出缓释效果最佳的保水剂及其用量,本文参照郑国亮等研究^[20],引入氮素淋失抑制率概念,分析了保水剂 A,B,C 不同用量对橡胶树专用肥氮素养分淋出特征的影响以及对氮素淋出抑制效果,并根据 2.1 的分析结果从各处理中选出每种保水剂的两个较优处理进行比较。不同保水剂种类及用量对橡胶树专用肥氮素淋失抑制率的影响结果见表 3。由表 3 可知,6 次淋溶中各处理均以首次淋溶的氮素淋出抑制率最大,且第 1 次、第 2 次淋溶中 B6%处理的氮素淋出抑制率均为最大,分别为 44.73%和 35.77%,均显著大于 A4%,A6%,B5%,C5%处理。第 3 次淋溶至第 6 次淋溶中,B%处理与 C6%处理间差异不显著,C6%处理与 C5%处理间差异不显著。但考虑到 B6%处理前两次的氮素淋失抑制率均大于其他处理,说明 B6%处理前期养分释放较其他处理慢,更能避免引起肥害。综合可知,添加 6%的保水剂 B 对橡胶树专用肥 N 素的淋失抑制效果较优,且前期养分淋出量少。

表 3 不同保水剂对橡胶树专用肥氮素淋失抑制率的影响

淋溶次数	不同保水剂氮素淋出抑制率/%					
	A4%	A6%	B5%	B6%	C5%	C6%
1	12.83 ^c	11.81 ^c	21.67 ^{bcBC}	44.73 ^{aA}	22.24 ^{bcBC}	33.45 ^{abAB}
2	9.17 ^{dC}	10.55 ^{cdC}	16.42 ^{cdBC}	35.77 ^{aA}	20.48 ^{bcBC}	28.70 ^{abAB}
3	9.34 ^c	9.50 ^c	16.08 ^{bcBC}	29.52 ^{aA}	21.82 ^{abAB}	28.47 ^{aA}
4	9.39 ^c	8.78 ^c	15.84 ^{bcBC}	25.02 ^{aAB}	22.22 ^{abAB}	28.14 ^{aA}
5	9.19 ^c	8.17 ^c	15.37 ^{bcBC}	21.55 ^{abAB}	22.08 ^{abAB}	27.64 ^{aA}
6	9.25 ^{cd}	7.89 ^{dC}	15.64 ^{bcBC}	20.20 ^{bAB}	22.08 ^{abAB}	27.49 ^{aA}

注:同行不同小写字母表示差异达 0.05 水平;大写字母表示差异达 0.01 水平。下同。

2.3 保水剂对橡胶树专用肥在胶园土壤中钾素淋出量的影响

有研究表明,胶园中因土壤淋溶和水土流失造成的钾素损失达 63.0 kg/hm^2 ^[21],加之橡胶树的吸收、胶乳带走,海南很多胶园出现了钾素亏缺,因此减少肥料中钾素的淋失对解决胶园钾素亏缺的有效途径之一。为此本研究通过保水剂与橡胶树专用肥混合,研究了保水剂种类和用量对橡胶树专用肥在胶园土壤中钾素淋出特性的影响。图 4,5,6 为添加保水剂的橡胶树专用肥在胶园土壤中钾素累积淋出量曲线图。由图 4—6 可知,各处理随着淋溶次增加,钾素累积淋出量逐渐增加,且添加保水剂处理钾素累积淋出量均小于不添加处理。

图 4 为保水剂 A 与橡胶树专用肥混施处理的钾素累积淋出量曲线图。由图 4 可见,添加保水剂 A 各处理的钾素累积淋溶量均小于不添加处理,且不同保水剂 A 用量处理的钾素累积淋出量曲线差异较小。6 次淋溶结束后,保水剂 A 用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%的处理钾素累积淋出量分别占施用钾素总量的 79.84%,72.29%,72.26%,72.52%,74.55%和 73.48%,保水剂 A 用量为 2%,3%,4%,5%和 6%的处理钾素累积淋出量分别较不添加保水剂处理减少了 9.45%,9.49%,9.17%,6.62%和 7.97%。表明保水剂 A 与橡胶树专用肥混施可减少钾素淋出量,添加保水剂 A 具有一定的保钾作用,但在 2%~6%范围内,保水剂 A 用量对橡胶树专用肥钾素淋出量影响较小。

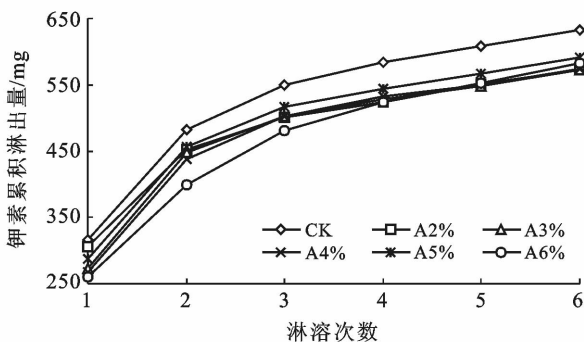


图 4 保水剂 A 对橡胶树专用肥钾素累积淋出量的影响

保水剂 B 与橡胶树专用肥混施处理的钾素累积淋出量曲线见图 5。由图 5 可知,第 1 次淋溶,保水剂 B 用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%处理的钾素淋出量分别占施用钾素总量的 39.91%,31.43%,36.88%,37.21%,33.07%和 17.10%,其中以 B6%处理的首次钾素淋出量最小,仅为 17.10%,说明添加 6%保水剂 B 可较好地减少橡胶树专用肥前期养分的淋出量。

6 次淋溶结束后,添加保水剂 B 处理的钾素累积淋出量均小于不添加处理,其中保水剂 B 用量 6%处理的钾素累积淋出量分别占施用钾素总量的 68.81%,低于其他处理,其钾素累积淋出量分别较不添加保水剂处理减少了 14.87%。这表明添加保水剂 B 对橡胶树专用肥中的钾具有一定的缓释作用,且当保水剂 B 的用量为 6%时,缓释效果最佳。

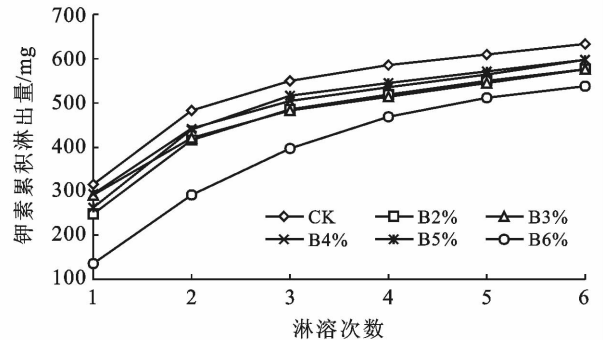


图 5 保水剂 B 对橡胶树专用肥钾素累积淋出量曲线的影响

如图 6 所示保水剂 C 与橡胶树专用肥混施处理的钾素累积淋出量曲线图可看出,第 1 次淋溶时,保水剂 C 用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%处理的钾素淋出量分别占施用钾素总量的 39.91%,33.30%,34.92%,33.43%,38.76%和 33.33%,添加保水剂 C 处理均小于不添加处理。而 6 次淋溶结束后,保水剂 C 用量 0,2%,3%,4%,5%和 6%处理的钾素累积淋出量分别占施用钾素总量的 79.84%,72.23%,70.78%,72.19%,70.08%和 67.97%,其中以 C6%处理最小,较不添加保水剂处理减少了 13.82%。由此可见,保水剂 C 与橡胶树专用肥混施可降低橡胶树专用肥中钾素的淋失强度,当添加 6%保水剂 C 时效果最佳。

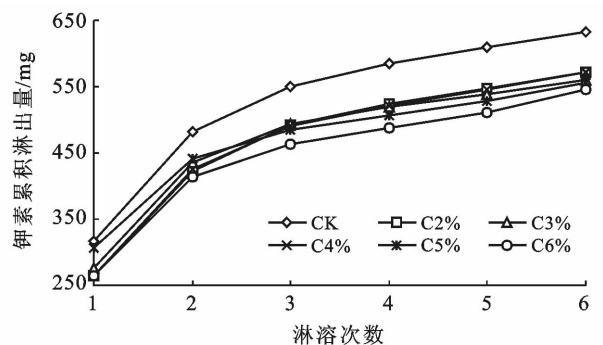


图 6 保水剂 C 对橡胶树专用肥钾素累积淋出量曲线的影响

2.4 保水剂对橡胶树专用肥钾素溶出抑制率的影响

为了深入分析保水剂种类和用量对橡胶树专用肥钾素淋出特性的影响,比较不同保水剂对橡胶树专

用肥中钾素的缓释效果,本文参照郑国亮^[20]、何向东^[21]等的研究结果,引入钾素淋失抑制率概念,研究了保水剂 A,B,C 对橡胶树专用肥钾素养分淋出特征的影响以及对钾素淋出抑制效果,并根据 2.3 的分析结果从各处理中选出每种保水剂的 2 个较优处理进行比较。添加保水剂的橡胶树专用肥钾素淋失抑制率统计分析结果见表 4。由表 4 可知,从第 1 次淋溶至第 4 次淋溶均以 B6% 处理的钾素淋出抑制率最大,其中第 1 次至第 3 次淋溶时,B6% 处理的钾素淋

出抑制率显著大于其他处理。首次淋溶时,B6% 处理的钾素淋失抑制率为 57.16%,显著大于其他处理,为 C5% 处理的 19.8 倍;第 2 次淋溶时,B6% 处理的钾素淋失抑制率为 39.46%,为 A2% 处理的 6.4 倍;第 3 次淋溶时为 A3% 处理的 3.3 倍。当淋溶至第 4 次以后,各处理间的钾素淋失抑制率差异不显著。由此可见,橡胶树专用肥与用量为 6% 的保水剂 B 混施时,橡胶树专用肥在土壤中的钾素淋失强度最小,添加 6% 的保水剂 B 对橡胶树专用肥钾素的缓释作用最佳。

表 4 不同保水剂对橡胶树专用肥钾素淋失抑制率的影响

淋溶次数	钾素淋失抑制率/%					
	A2%	A3%	B3%	B6%	C5%	C6%
1	3.26 ^{bcB}	13.49 ^{bcB}	7.59 ^{bcB}	57.16 ^{aA}	2.89 ^{cB}	16.49 ^{bb}
2	6.17 ^{cB}	6.99 ^{bcB}	12.59 ^{bcB}	39.46 ^{aA}	8.56 ^{bcB}	14.29 ^{bb}
3	9.02 ^{bb}	8.58 ^{bb}	12.3 ^{bb}	28.11 ^{aA}	11.95 ^{bb}	15.81 ^{bb}
4	10.52 ^{bb}	9.68 ^{bb}	12.32 ^{baB}	19.95 ^{aA}	13.33 ^{abAB}	16.46 ^{abAB}
5	9.54 ^{aA}	9.86 ^{aA}	10.45 ^{aA}	16.08 ^{aA}	13.28 ^{aA}	16.12 ^{aA}
6	9.45 ^{aA}	9.49 ^{aA}	9.05 ^{aA}	13.82 ^{aA}	12.22 ^{aA}	14.86 ^{aA}

3 结论与讨论

本研究结果表明,羧甲基纤维素钠,聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠这 3 种保水剂与橡胶树专用肥混合施入土壤后均能显著减少肥料养分的淋溶损失。3 种保水剂中聚丙烯酰胺对于橡胶树专用肥中的氮素、钾素淋失抑制效果最佳,试验中聚丙烯酰胺用量 6% 的处理抑制效果最强;聚丙烯酸钠的效果次之;羧甲基纤维素钠的效果略差。

3 种保水剂对橡胶树专用肥淋失抑制效果存在差异,其主要原因可能和 3 种水溶性保水剂自身理化性质及其与橡胶树专用肥中养分离离子吸附作用强弱等相关。本研究中羧甲基纤维素钠属阴离子型纤维,且分子量相对较小;聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠属于直链状聚合物,每个分子是由 10 万个以上的单体聚合构成,且存在较多化学活性基团,分子链上所含基团数量远多于羧甲基纤维素钠。

另外,聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠可缓慢溶于水形成极黏稠的透明液体,分子内许多阴离子基团的离子现象使分子链增长,表现黏度增大而形成高黏性溶液,而羧甲基纤维素钠水溶液的黏性是由于吸水膨润产生,所以聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠溶液的黏性远大于羧甲基纤维素钠,从而可能致使羧甲基纤维素钠创建和稳定水稳性团粒结构效果及对养分吸附和抗淋溶作用相对较弱。而聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠在创建和稳定水稳性团粒结构方面的作用较强,聚丙烯酰

胺,聚丙烯酸钠分子链上数量众多的酰胺基、羧基等基团对 NH_4^+ 和 K^+ 等养分离离子产生较强的交换性化学吸附,对橡胶树专用肥养分吸附量和抗淋溶作用较羧甲基纤维素钠强,因此聚丙烯酰胺,聚丙烯酸钠对提高土壤吸附和保持氮素、钾素,抑制其淋失的效果相对较好,羧甲基纤维素钠的效果较弱。

保水剂与橡胶树专用肥混合施用是减少肥料养分淋失、提高肥料利用率的有效途径之一。然而,保水剂与胶园土壤、保水剂与橡胶树专用肥养分的互作机理等问题还有待于进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张智峰,张卫峰. 我国化肥施用现状及趋势[J]. 磷肥与复肥,2008,23(6):9-12.
- [2] 栾江,仇焕广,井月,等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报,2013,28(11):1869-1878.
- [3] 刘小虎,邢岩,赵斌,等. 施肥量与肥料利用率关系研究与应用[J]. 土壤通报,2012,43(1):131-135.
- [4] 牛永生,明大增,李志祥,等. 缓/控释肥料的研究进展[J]. 化学工业与工程技术,2012,33(6):36-39.
- [5] 韩季璋,龚渝明. 世界肥料的发展方向:缓释肥料[J]. 化肥设计,2005,43(5):60-61.
- [6] 褚清河,强彦珍. 也谈中国主要粮食作物生产中肥料利用率及其提高途径[J]. 山西农业科学,2010,38(9):3-8.
- [7] Shaviv A. Advances in controlled release of fertilizers[J]. Advances in Agronomy, 2001,71(1):1-49.

- [8] 王宜伦,张许,谭金芳,等. 农业可持续发展中的土壤肥料问题与对策[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 278-281.
- [9] 华元刚,潘长兵,贝美容,等. 橡胶园砖红壤中磷和钾素径流失特征研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(9): 1540-1547.
- [10] Hussien R A, Donia A M, Atia A A, et al. Studying some hydro-physical properties of two soils amended with kaolinite-modified cross-linked poly-acrylamides[J]. *Catena*, 2012(92):172-178.
- [11] Paluszczek J. Physical quality of eroded soil amended with gel-forming polymer[J]. *International Agrophysics*, 2011, 25(4):375-382.
- [12] Tao Jiang, Teng Lingling, Wei Shiqiang, et al. Application of polyacrylamide to reduce phosphorus losses from a Chinese purple soil: A laboratory and field investigation[J]. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(7):1437-1445.
- [13] Islam M R, Mao Shuaisi, Xue Zhangxu, et al. A lysimeter study of nitrate leaching, optimum fertilisation rate and growth responses of corn(*Zeamays L.*) following soil amendment with water-saving super-absorbent polymer[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2011, 91(11):1990-1997.
- [14] Tyliszczak B, Polaczek J, Pielichowski J, et al. Preparation and properties of biodegradable slow-release PAA super absorbent matrixes for phosphorus fertilizers[J]. *Macromolecular Symposia*, 2009, 279(1):236-242.
- [15] Guilherme M R, Reis A V, Paulino A T, et al. Pectin-based polymer hydrogel as a can ier for release of agricultural nutrients and removal of heavy metals from wastewater [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, 117(6):3146-3154.
- [16] Liang Rui, Liu Mingzhu. Preparation of poly(acrylic acid-co-acrylamide)/kaolin and release kinetics of urea from it[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, 106(5):3007-3015.
- [17] Ni Boli, Liu Mingzhu, Lu Shaoyu, et al. Novel slow-release multielement compound fertilizer with hydroscopicity and moisture preservation[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2010, 49(10):4546-4552.
- [18] 何绪生,廖宗文,黄培钊,等. 一种新型保水缓释氮肥有关特征及性能[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(10):2048-2055.
- [19] 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.
- [20] 郑国亮,华元刚,林钊沐,等. 保水剂 A 对橡胶树专用肥养分溶出的影响[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(9):1841-1847.
- [21] 何向东,吴小平. 海南垦区胶园肥力演变探研[J]. *热带农业科学*, 2002, 22(1):16-22.

(上接第 87 页)

- [17] Winchell M, Srinivasan R, Luzio M D, et al. ArcSWAT Interface for SWAT2012-user's Guide [Z]. 2013.
- [18] 李呈罡. SWAT 模型在黑河中上游流域的改进与集成模拟研究[D]. 南京:南京师范大学, 2012.
- [19] 驻马店市水利基本资料汇编[EB/OL]. 驻马店市水利网, http://www.zmdslj.gov.cn/City_View.asp (2014-12-19)
- [20] 庞靖鹏,徐宗学,刘昌明. SWAT 模型中天气发生器与数据库构建及其验证[J]. *水文*, 2007, 27(5):25-30.
- [21] 左德鹏,徐宗学. 基于 SWAT 模型和 SUFI-2 算法的渭河流域月径流分布式模拟[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2012, 48(5):480-496.
- [22] 万荣荣,杨桂山. 流域 LUCC 水文效应研究中的若干问题探讨[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3):25-33.