

阴离子淀粉对土壤养分离子的吸附作用

沈振明¹, 夏俊², 戴勇³, 沈秋兰³, 李永春³, 徐秋芳³

(1. 浙江省临安市林业科技推广总站, 浙江 临安 311300; 2. 杭州市环境监测中心站, 浙江 杭州 310007; 3. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 减少养分的损失是控制面源污染最有效和经济的方法。通过淋溶试验评价带负电荷的阴离子淀粉对土壤养分离子的吸附作用, 寻找对土壤养分离子吸附效果好的淀粉种类。试验1设置5个处理: 去离子水、硝酸钾, 以及硝酸钾分别与黄原酸酯淀粉、磷酸酯淀粉和羧甲基淀粉等3种不同淀粉混合; 试验2设置去离子水、黄原酸酯淀粉、黄原酸酯淀粉和氯化铵混合、氯化铵等4个处理。阴离子淀粉取代度是决定它们对阳离子吸附强度的主要因子, 供试的3种阴离子淀粉对土壤中的阳离子吸附作用高低顺序: 羧甲基淀粉 > 磷酸酯淀粉 > 黄原酸酯淀粉。以黄原酸酯淀粉为载体, 用氯化铵溶液处理结果表明: 黄原酸酯淀粉对土壤中的钠、钾、镁和钙等4种阳离子均有显著的吸附作用 ($P < 0.05$); 而用硝酸钾溶液处理时, 黄原酸酯淀粉对土壤中的钠离子、铵离子和钾离子吸附效果较好, 而对钙、镁等2种离子的吸附效果不明显, 说明淀粉对阳离子的吸附效果与加入的营养液也有很大的关系。阴离子淀粉对阴离子养分没有吸附作用。试验推测, 具有较高取代度的黄原酸酯淀粉可作为理想的吸附剂, 没有潜在风险; 在降水量较小的地区, 较高取代度的磷酸酯淀粉也可以作为理想的吸附剂, 因为没有铵离子淋失的风险。图4表4参20

关键词: 土壤学; 阴离子淀粉; 土壤阳离子; 吸附; 养分; 流失

中图分类号: S714.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2014)03-0366-07

Absorption efficiency of soil nutrients with anion starch

SHEN Zhenming¹, XIA Jun², DAI Yong³, SHEN Qiulan³, LI Yongchun³, XU Qiufang³

(1. Forest Technology Service General Station of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Hangzhou Municipal Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310007, Zhejiang, China; 3. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Nutrient loss reduction is the most effective and economical method to control non-point source pollution. To find modified starches with favorable absorption of nutrient ions from the soil, two absorbing experiments for a negative charge, anionic starch were conducted. In the first experiment, potassium nitrate solutions were supplied as the nutrient solution and the adsorption effect of three starches: carboxymethyl, phosphate ester, and xanthate, were evaluated. In the second experiment a solution of ammonium chloride was used as the nutrient solution and because of a high sodium ion content in the carboxymethyl starch, the xanthate anion starch was used as the adsorption material for simulation tests such as fertilization, natural drying, and leaching to determine the starch's adsorption effect. Results showed that the tested anionic starches adsorbed nutrient ions well with carboxymethyl > phosphate ester > xanthate. The first experiment showed that when potassium nitrate was supplied as the nutrient solution, the xanthate anion starch had strong adsorption effects with sodium, potassium, calcium, and magnesium; however, in the second experiment when ammonium chloride was used as the nutrient solution there was favorable adsorption with sodium, potassium, and

收稿日期: 2013-11-13; 修回日期: 2013-12-31

基金项目: “十一五”国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-006-06)

作者简介: 沈振明, 高级工程师, 从事森林可持续经营等研究。E-mail: szm1198@sohu.com

ammonium ions but not calcium and magnesium ions. Thus, although the kinds of nutrient solutions used to test the starches affected adsorption, a high degree of substitution was possible with xanthate starch being an ideal adsorbent without potential risk, and the phosphate ester starch could be an ideal adsorbent in semiarid regions without risk of ammonium ions leaching. [Ch, 4 fig. 4 tab. 20 ref.]

Key words: soil science; anion starch; soil cation; absorption; nutrients; loss

施肥对提高作物产量及保持土壤肥力有着举足轻重的作用。世界粮农组织(FAO)的统计表明, 20 世纪肥料对世界粮食增产贡献为 40%~60%^[1]。Borlaug^[2]认为 20 世纪世界农作物产量增加的一半来自于化肥的作用, 随着高产品种的推广, 粮食对肥料的依赖性将会越来越大。常规化学肥料利用率低下, 并且对环境造成了污染, 这些问题已为世界各国所重视。发达国家氮肥利用率为 40%~60%, 磷肥为 10%~30%, 钾肥为 50%~60%。中国氮肥利用率平均为 30%~40%, 磷肥为 10%~25%, 钾肥为 35%~60%^[3-4]。其原因在于常规化肥的损失不仅是肥料资源的损失, 更为严重的是未经充分利用而进入生态系统的肥料给环境造成的不良后果: 氮肥以硝酸盐淋失和径流的形式流入地下水和地表水, 造成水体富营养化和地下水饮用水污染, 进而影响人类健康^[5-6]; 以气态(氨气、氧化亚氮、甲烷、二氧化碳等)进入大气空间, 则加剧温室效应和破坏臭氧层^[7-11]。土壤对阳离子有一定的吸附能力, 但是如果施肥过量, 超出了土壤的吸附能力, 多余的养分离子就会溶于水中, 随着雨水或地下径流进入水体, 既造成了养分的浪费, 同时又污染了环境。因此, 化肥的合理使用成为解决化肥污染的关键。阴离子淀粉是淀粉化学品中研究和应用最多的一大类淀粉精细化学品, 它是在一定条件下通过酯化、醚化等化学反应在淀粉分子链上引入阴离子取代基团(如羧基、磺酸基)而制得的一种淀粉衍生物。阴离子取代基团的引入可赋予淀粉衍生物在冷水中的可溶性、高黏度等特性^[12]。因此, 阴离子淀粉被广泛地应用于各个领域, 如食品行业中的增稠剂^[13]、石油工业中的降失水剂、纺织行业中的上浆剂^[14]及医药、日用化工、造纸^[15]等诸多行业^[16-17]。之前就已经有淀粉吸附离子的相关研究^[18-19], 但对淀粉吸附土壤养分离子的研究报道尚不多见。淀粉通过化学反应使它们带有电荷, 可以吸附相反电荷的养分离子, 起到保肥的作用。且淀粉是易降解的环境友好型材料, 没有二次污染风险。本研究通过室内模拟试验, 筛选出对阳离子吸附效果好的淀粉种类, 并进一步考察它们对阴离子及速效肥料的吸附效果, 为生产上利用提供理论依据和用量参考。

1 材料与方 法

1.1 土壤采集与理化性质测定

供试土壤采自浙江农林大学东湖校区, 土壤类型为红壤。该地区平均海拔为 39 m, 中亚热带季风气候, 年平均气温为 16.4 ℃, 年平均日照时数 1 847.3 h, 年平均降水量 1 628.6 mm, 全年无霜期 237.0 d。采集土壤自然风干后, 过 2 mm 筛后备用, 土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil

pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	<0.050 mm 颗粒/%	<0.010 mm 颗粒/%	<0.001 mm 颗粒/%
4.33	18.48	0.30	8.00	0.79	45.20	30.20	10.20

本研究中所用淀粉由杭州纸友科技有限公司提供, 供试淀粉的基本参数指标见表 2。

表 2 淀粉的基本参数指标

Table 2 Basic parameters of starch

淀粉种类	pH 值	水分/%	白度/%	取代度	其他
磷酸酯	6.76(5.0%糊液)	7.60	82.00	0.032	洗后含氮 5.5 g·kg ⁻¹ ; 含磷 10.8 g·kg ⁻¹
黄原酸酯	6.32(5.0%糊液)	11.00	亮黄色	0.021	
羧甲基淀粉(钠盐淀粉)	7.31(2.0%糊液)	11.20	90.00	0.430	灰分: 105.0 g·kg ⁻¹ , 其中主要钠离子

1.2 淀粉糊液与营养液的配制

1.2.1 1.0 g·kg⁻¹的淀粉糊液配制 分别称 0.1 g 3 种阴离子淀粉加到 100.0 mL 去离子水中, 混匀后在 90~100 °C 的水浴锅内糊化 5~10 min, 糊化后冷却到室温备用。

1.2.2 营养液配制 300.0 mg·L⁻¹ 硝酸钾和氯化铵溶液配制, 按照 4 500.0 kg·hm⁻² 的肥料换算出 100.0 g 土壤所需的硝酸钾和氯化铵量, 分别加到 30.0 mL 去离子水中, 充分溶解备用。

1.2.3 淀粉+营养液配制 将所需的硝酸钾和氯化铵的量, 与 30.0 mL 糊化好的 1.0 g·kg⁻¹ 淀粉溶液混合备用。

1.3 试验设计与淀粉对土壤离子吸附作用分析

对植物生长较重要的阳离子养分主要是钾离子和铵离子, 因此, 试验主要通过外加硝酸钾和氯化铵来评价阴离子淀粉对土壤钾离子和铵离子的吸附作用, 同时, 也评价它们对其他阳离子和阴离子的吸附效果。

1.3.1 3 种阴离子淀粉对土壤阳离子的吸附作用分析——试验 1 选择 3 种阴离子淀粉, 外加硝酸钾肥料, 共设置 5 个处理(表 3), 重复 3 次·处理⁻¹: 只加去离子水的处理 1 可检测土壤本身的养分淋失情况; 只加硝酸钾的处理 2 则是测试土壤本身对钾离子及其他阳离子的吸附情况; 处理 3 至处理 5 主要是测试 3 种不同的阴离子淀粉对各种养分离子的吸附情况。实验步骤如下: ①分别取 100.0 g 土壤样品置于 15 个(5 个处理 3 次重复)小烧杯中, 按表 3 设计方案, 分别加入不同处理的溶液 30.0 mL·烧杯⁻¹; ②溶液自然扩散、下渗至全部土壤均匀湿润后, 在室内放置 3 d, 使它们自然干燥至一定程度; ③把土壤分别倒在垫有尼龙布的漏斗上, 用 100.0 mL 的去离子水淋洗土壤(去离子水要分数次加入, 以保证土壤受到充分淋洗), 用干燥的小广口瓶接滤液(以无溶液滴出为淋洗结束); ④将淋洗液用 0.45 μm 的滤膜抽滤, 滤液最终定容到 100.0 mL。⑤用离子色谱定量分析阳离子和阴离子浓度。最后采用 SPSS 18.0 统计软件进行数据处理, 单因素方差分析比较各处理之间的差异显著($P<0.05$)。

1.3.2 黄原酸酯淀粉对土壤养分的吸附作用——试验 2 通过实验 1 中的模拟实验所得的结果, 筛选出对钾离子和铵离子吸附作用都较好的黄原酸酯淀粉, 用氯化铵中铵离子代替硝酸钾中的钾离子作为肥料施入的阳离子, 重点测试黄原酸酯淀粉对铵离子的吸附效果, 同时观察黄原酸酯淀粉对其他阳离子的吸附作用。试验 2 设置 4 个处理, 重复 3 次·处理⁻¹, 分别在 100.0 g 土壤中加入 30.0 mL 不同处理的溶液(表 4)。

2 结果与分析

2.1 不同淀粉种类对土壤阳离子的吸附效果分析

本研究以土壤中加入硝酸钾溶液后淋洗出的离子浓度为对照, 通过分析比较不同处理淋洗后的阳离子浓度来考察 3 种淀粉的吸附效果(图 1)。羧甲基淀粉处理(处理 5)后淋洗液中钠离子浓度显著高于另外的 4 个处理($P<0.05$)(图 1A), 而这 4 个处理之间并没有显著差异; 加去离子水(处理 1)中钠离子浓度低说明土壤中本身钠离子较少, 处理 5 中由于羧甲基淀粉常用的是它的钠盐, 所以它本身含有丰富的钠离子, 使得处理后的钠离子显著高于其他处理。就淋洗出的铵离子浓度而言(图 1B), 黄原酸酯淀粉(处理 3)和羧甲基淀粉(处理 5)两者淋洗液中离子均显著低于只加硝酸钾溶液的处理(处理 2)($P<0.05$),

表 3 3 种淀粉对土壤养分离子的吸附作用试验设计

Table 3 Experimental design of absorption effects of anion starch on soil ions

处理号	加入溶液
处理 1	去离子水
处理 2	300.0 mg·L ⁻¹ (钾离子 K ⁺)
处理 3	1.0 g·kg ⁻¹ 黄原酸酯淀粉溶液+300.0 mg·L ⁻¹ (钾离子 K ⁺)
处理 4	1.0 g·kg ⁻¹ 磷酸酯淀粉溶液+300.0 mg·L ⁻¹ (钾离子 K ⁺)
处理 5	1.0 g·kg ⁻¹ 羧甲基淀粉溶液+300.0 mg·L ⁻¹ (钾离子 K ⁺)

表 4 黄原酸酯淀粉对土壤养分离子的吸附作用试验设计

Table 4 Experimental design of absorption effects of xanthate anion starch on soil ions

处理号	加入溶液
处理 1	去离子水
处理 2	1.0 g·kg ⁻¹ 黄原酸酯淀粉
处理 3	1.0 g·kg ⁻¹ 黄原酸酯淀粉+300.0 mg·L ⁻¹ (铵离子 NH ₄ ⁺)
处理 4	300.0 mg·L ⁻¹ (铵离子 NH ₄ ⁺)

表明这 2 种淀粉对土壤中的铵离子具有明显的吸附作用；而处理 4 的铵离子浓度显著高于($P<0.05$)其他淀粉处理，处理 2 的铵离子浓度明显高于($P<0.05$)去离子水，说明胶体上部分铵离子被外加的钾离子交换下来。3 种不同淀粉处理后土壤中淋失出的钾离子浓度均显著低于($P<0.05$)纯硝酸钾溶液的处理 2 (图 1C)，表明 3 种淀粉对土壤中的钾离子均具有良好的吸附效果。但是，3 种淀粉对土壤中的中量元素钙、镁离子的吸附效果，与上述 3 种离子则不尽相同(图 1D，图 1E)。羧甲基淀粉处理(处理 5)后土壤淋洗液中镁离子和钙离子浓度显著均低于($P<0.05$)纯硝酸钾(处理 2)，表明羧甲基淀粉对土壤中镁、钙离子有显著的吸附作用，但黄原酸酯淀粉和磷酸酯淀粉则对这 2 种离子没有明显的吸附效果。

总的来说，从处理后土壤淋洗液中的各种离子的实际浓度来看，羧甲基淀粉对各种养分离子的吸附作用最强，磷酸酯淀粉淋出液中钾、钙和镁浓度略小于黄原酸酯淀粉，但只有镁离子存在显著差异；磷酸酯淀粉淋出液中铵离子浓度显著高于其他处理。虽然羧甲基淀粉与磷酸酯淀粉对阳离子的吸附能力比黄原酸酯淀粉强，但羧甲基淀粉本身含有较多的钠离子会导致土壤分散，磷酸酯淀粉则存在铵离子淋失的不足。因此，黄原酸酯淀粉对土壤阳离子吸附效果值得进一步研究。

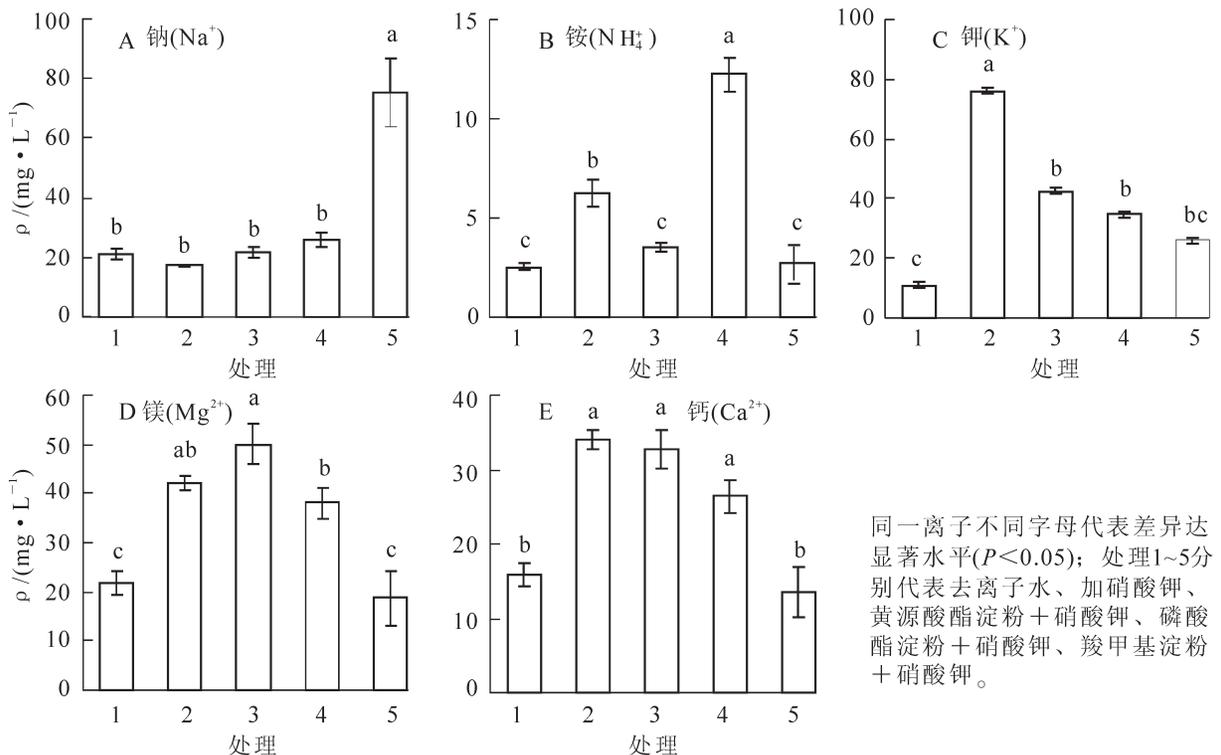


图 1 3 种阴离子淀粉在加入硝酸钾时对土壤阳离子的吸附效果

Figure 1 Absorption effects of anion starches to soil cation after the addition of KNO_3

2.2 不同淀粉种类对土壤阴离子的吸附效果

阴离子淀粉主要是通过自身所带的负电荷吸附土壤阳离子，电荷量越多吸附作用越强。为了探明淀粉是否也具有吸附同电性的阴离子的功能，对上述处理后淋洗液中的氯离子、硝酸根离子和硫酸根离子进行了测定(图 2)。①氯离子，不论是单独的硝酸钾还是淀粉糊液与营养液混合，土壤淋洗液中的氯离子浓度均低于($P<0.05$)去离子水处理，加淀粉后(处理 3~5)虽然氯离子浓度略低于单独硝酸钾(处理 2)，但没有显著差异。②硝酸根离子，不论是单独硝酸钾还是淀粉糊液与营养液混合，土壤淋洗液中的硝酸离子浓度均高于($P<0.05$)去离子水处理，加淀粉后虽然硝酸根离子浓度略低于单独加硝酸钾处理，但没有显著差异，说明 3 种淀粉对硝酸根离子没有明显的吸附作用。③硫酸根离子，该离子的情况与氯离子相似，去离子水处理最高($P<0.05$)。以上结果表明：3 种淀粉对阴离子均没有明显的吸附作用，而外加硝酸根离子时能减少其他阴离子的淋失。

2.3 黄原酸酯淀粉对土壤中阳离子吸附的效应

为了进一步了解黄原酸酯淀粉对土壤阳离子的吸附效果，以黄原酸酯淀粉为研究对象，使用氯化铵

代替硝酸钾进行模拟淋溶试验, 全面分析它们对土壤阳离子和阴离子的吸附作用。在土壤中分别加入氯化铵营养液及营养液与淀粉糊的混合溶液作为处理, 分别以去离子水和淀粉糊为对照(表4)。淀粉糊与氯化铵混合液加入后, 淋洗液中钠离子浓度显著低于只加氯化铵的处理和对照(图3) ($P < 0.05$), 表明淀粉糊对土壤中的钠离子有明显的吸附作用。外加氯化铵的2个处理(加淀粉糊与未加淀粉糊)淋洗液中铵离子浓度显著高于对照和纯淀粉处理 ($P < 0.05$), 淀粉糊与氯化铵混合液处理的铵离子浓度虽然小于纯氯化铵处理, 但没有显著差异, 说明淀粉对铵离子的吸附作用不明显。而对钾、镁、钙等3种离子而言, 淀粉糊与营养液混合后加入, 土壤淋洗液中3种离子的浓度分别显著低于只加营养液的处理 ($P < 0.05$), 表明黄原酸酯淀粉对这3种离子有明显的吸附作用。

2.4 黄原酸酯淀粉对土壤中阴离子吸附的效应

使用氯化铵作为营养液时, 加入黄原酸酯淀粉后淋洗液中各种阴离子浓度均下降(图4), 但只有氯离子存在显著差异 ($P < 0.05$), 可见淀粉的加入对氯离子有明显的吸附作用, 而对其他2种离子没有吸附作用; 加入氯化铵后淋液中的硝酸根和硫酸根离子浓度均明显低于纯淀粉和去离子水, 而加纯淀粉的淋洗液中硫酸根离子浓度又明显高于去离子水处理, 说明淀粉中含有一定量的硫酸根离子。由于黄原酸酯淀粉是淀粉与二硫化碳反应生成黄原酸(HO—CS—SH)的酯化衍生物, 反应过程中可能产生一定量的硫酸根; 当土壤中加入氯化铵后, 淋洗液中硝酸根和硫酸根离子浓度均小于未加的去离子水对照和纯淀粉处理, 但只有硫酸根离子存在显著差异 ($P < 0.05$), 说明外加氯化铵减少了其他阴离子的淋溶, 这一现象与外加硝酸钾时类似。

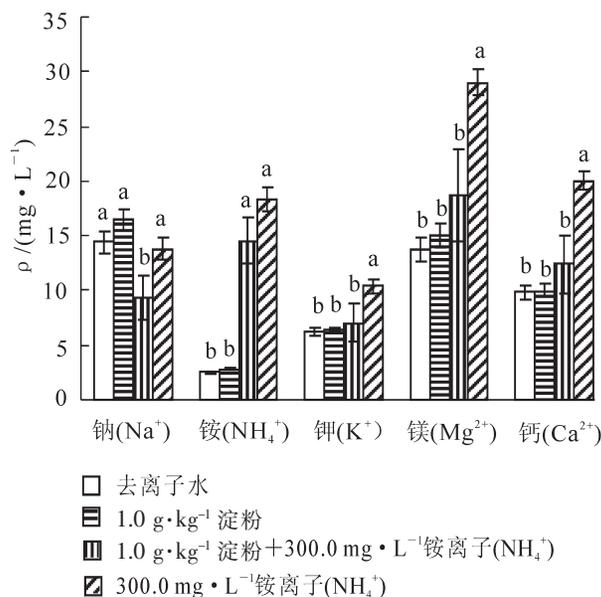
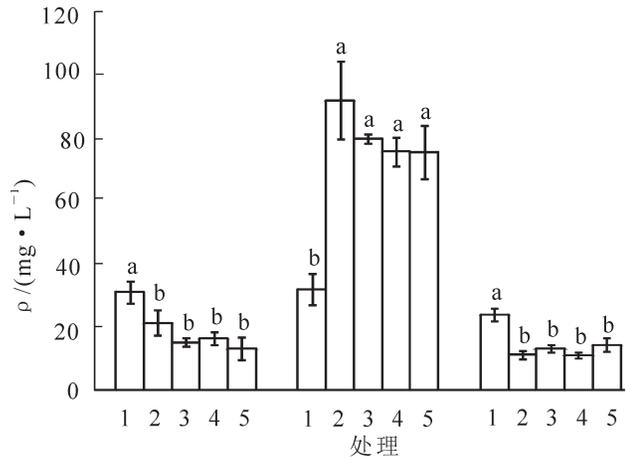


图3 黄原酸酯淀粉在加入氯化铵时对土壤阳离子的吸附效果

Figure 3 Absorption effects of xanthate anion starch to soil cation after the addition of NH_4Cl



同一离子不同字母代表差异达显著水平 ($P < 0.05$); 处理1~5分别代表去离子水、加硝酸钾、黄原酸酯淀粉+硝酸钾、磷酸酯淀粉+硝酸钾、羧甲基淀粉+硝酸钾。

图2 3种阴离子淀粉在加入硝酸钾时对土壤阴离子的吸附效果

Figure 2 Absorption effects of anion starch to soil anion after the addition of KNO_3

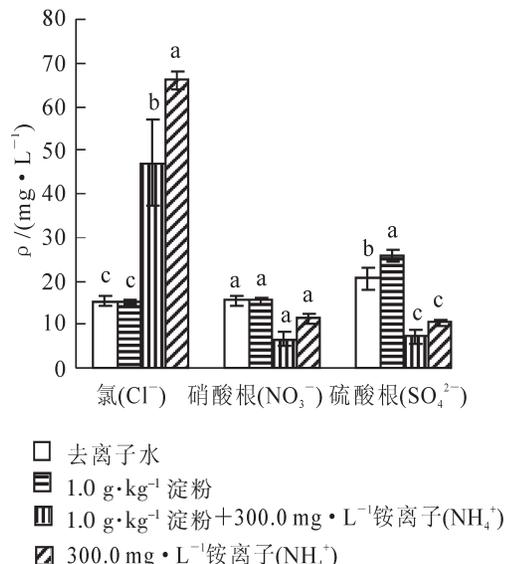


图4 黄原酸酯淀粉在加入氯化铵时对土壤阴离子的吸附效果

Figure 4 Absorption effects of xanthate anion starch to soil anion after the addition of NH_4Cl

3 讨论与结论

本研究中供试的3种阴离子淀粉对土壤中的阳离子均有一定的吸附作用，其高低顺序为羧甲基淀粉粉 > 磷酸酯淀粉 > 黄原酸酯淀粉，这主要与淀粉制作时的取代度有关，三者的取代度依次为0.430, 0.032 和 0.021，吸附效果还与淀粉本身所含的离子种类有关。羧甲基淀粉糊液与营养液混合处理后，淋洗液中钠离子的含量显著高于对照和其他处理，与羧甲基淀粉中的钠盐有关，淀粉本身含有丰富的钠离子。磷酸酯淀粉糊液与营养液混合加入土壤后，淋洗液中铵离子浓度显著高于对照和其他处理，原因在于磷酸酯淀粉中含有铵离子(NH_4^+)，淀粉洗后含氮 $5.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。黄原酸酯淀粉虽然因为取代度较低，其吸附效果不如其他2种淀粉，但黄原酸酯淀粉糊液与硝酸钾营养液混合处理后，对土壤中的钠离子、铵离子和钾离子吸附效果较好，而对钙、镁2种离子的吸附效果不明显。因此，只要提高黄原酸酯淀粉的取代度，可以作为潜在的吸附剂，因为使用羧甲基淀粉有导致土壤分散的风险，磷酸酯淀粉有铵离子淋失的风险。

以黄原酸酯淀粉为载体，外加硝酸钾替换为氯化铵进行淋洗结果表明，黄原酸酯淀粉对土壤中的钠、钾、镁和钙等4种阳离子均有显著的吸附作用，而用硝酸钾营养液混合处理时，黄原酸酯淀粉对土壤中的钠离子、铵离子和钾离子吸附效果较好，而对钙、镁2种离子的吸附效果不明显，可见淀粉对阳离子的吸附效果与加入的营养液也有很大的关系^[20]。2次的淋溶试验结果表明：无论淀粉糊液与硝酸钾或是氯化铵营养液混合处理后，对土壤溶液中的阴离子都没有明显的吸附作用，这是因为阴离子淀粉一般只能吸附带正电荷的土壤离子；而加入的硝酸根和氯离子却能减少其他阴离子的淋溶，具体原因尚不清楚，有待进一步探明。

总之，阴离子淀粉取代度是决定其对阳离子吸附强度的主要因子，外加的肥料或离子(硝酸钾和氯化铵)也能影响淀粉对阳离子的吸附，阴离子淀粉对阴离子养分没有吸附作用。具有较高取代度的黄原酸酯淀粉可作为理想的吸附剂，没有潜在风险；在降水量较小的地区，较高取代度的磷酸酯淀粉也可以作为理想的吸附剂，因为没有铵离子淋失的风险。

参考文献：

- [1] 段路路. 缓控释肥料养分释放机理及评价方法研究[D]. 泰安：山东农业大学，2009.
DUAN Lulu. *Mechanism and Evaluation of Nutrient Release of Slow and Controlled-Release Fertilizers* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2009.
- [2] LONERAGAN J F. Plant nutrition in the 20th and perspective for the 21st century [J]. *Plant Soil*, 1997, **196**: 163 – 174.
- [3] 林葆, 李家康. 当前我国化肥的若干问题和对策[J]. 磷肥与复肥, 1997(2): 1 – 5, 23.
LIN Bao, LI Jiakang. Problems and countermeasures of current our country fertilizer [J]. *Phosph & Comp Fert*, 1997 (2): 1 – 5, 23.
- [4] 朱兆良. 我国氮肥的使用现状、问题和对策[G]//李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌：江西科学技术出版社，1998：38 – 51.
- [5] HOWARTH R W, SWANEY D P, BUTLER T J, *et al.* Rapid communication: climate control on eutrophication of the Hudson River Estuary [J]. *Ecosystems*, 2000, **3**(2): 210 – 215.
- [6] XING Guangxi, CAO Yacheng, SHI Shulian, *et al.* N pollution sources and denitrification in water bodies in Taihu Lake region [J]. *Sci China B*, 2001, **44**(3): 304 – 314.
- [7] AULAKH M S, DORAN J M, MOSIER A R. Soil denitrification significance measurement effects of management [J]. *Adv Soil Sci*, 1992, **18**: 1 – 57.
- [8] MATTHEWS E. Deriving global emission from agriculture [G]//*Presentation to the Workshop on Greenhouse Gas Emissions from Agriculture Systems*. Washington D C: [s. n.]. 1989: 12 – 14.
- [9] OLIVER J G J, BOUWMAN A F, HOEK K W V, *et al.* Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990 [J]. *Environ Poll*, 1998, **102**(1): 135 – 148.
- [10] XING Guangxi. N₂O emission from cropland in china [J]. *Nutr Cycl Aroecosyst*, 1998, **52**: 249 – 254.

- [11] XING Guangxi, ZHU Zhaoliang. An assessment of N loss agricultural fields to the environment in China [J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2000, **57**: 67 – 73.
- [12] 张东方. 阴离子淀粉的合成与分散性能研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 1 – 2.
ZHANG Dongfang. *Synthesis and Dispersing Performance of Anion Starch*[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008: 1 – 2.
- [13] 洪雁, 顾正彪. 变性淀粉在食品工业中的应用[J]. 食品科技, 2002(11): 44 – 45.
HONG Yan, GU Zhengbiao. Application of modified starches in food industries [J]. *Food Sci Technol*, 2002(11): 44 – 45.
- [14] 李广芬, 张友松, 陈雷, 等. 变性淀粉在纺织工业中的应用[J]. 印染, 1998, **24**(1): 34 – 38.
LI Guangfen, ZHANG Yousong, CHEN Lei, *et al.* Application of modified starch in textile industry [J]. *Dye Fin*, 1998, **24**(1): 34 – 38.
- [15] 张友全, 郑海, 潘广庆. 羧甲基两性淀粉的合成及其在造纸中的应用[J]. 化工进展, 2007, **26**(6): 889 – 892.
ZHANG Youquan, ZHENG Hai, PAN Guangqing. Synthesis of carboxylic methyl amphoteric starch and application in papermaking [J]. *Chem Ind Eng Pro*, 2007, **26**(6): 889 – 892.
- [16] 何禄. 阴离子淀粉的制备与应用性能研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 10 – 15.
HE Lu. *Synthesis and Application Properties of Anionic Starch* [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008: 10 – 15.
- [17] 刘跃平, 哈成勇. 羧甲基淀粉的应用与合成[J]. 广州化学, 2001, **26**(1): 52 – 56.
LIU Yueping, HA Chengyong. Uses and syntheses of carboxymethyl starch [J]. *Guangzhou Chem*, 2001, **26**(1): 52 – 56.
- [18] 刘明华, 张新申, 邓云. 羧甲基淀粉吸附剂对水溶液中铬和铝离子的吸附研究[J]. 水处理技术, 2000, **26**(4): 222 – 227.
LIU Minghua, ZHANG Xinshen, DENG Yun. Research on adsorbing of chromium and aluminium ions in aqueous solution by carboxymethyl starch adsorbent [J]. *Technol Water Treat*, 2000, **26**(4): 222 – 227.
- [19] 黄祖强, 谭义秋, 农克良, 等. 木薯羧甲基淀粉对铜离子的吸附性能. 化学研究与应用[J]. 2010, **22**(2): 171 – 175.
HUANG Zuqiang, TAN Yiqiu, NONG Keliang, *et al.* Adsorption ability of carboxymethyl starch on Cu²⁺[J]. *Chem Res Appl*, 2010, **22**(2): 171 – 175.
- [20] 钱欣, 郑荣华, 钱伟江, 等. 淀粉黄原酸酯吸附性能研究[J]. 离子交换与吸附, 2001, **17**(5): 341 – 345.
QIAN Xin, ZHENG Ronghua, QIAN Weijiang, *et al.* The study of adsorption properties of starch xanthate [J]. *Ion Exch Adsorpt*, 2001, **17**(5): 341 – 345.