

桑娜,汪建英,孙雨,等. γ -聚谷氨酸/壳聚糖凝胶制备优化及保水固沙性能[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):251-255.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.059

γ -聚谷氨酸/壳聚糖凝胶制备优化及保水固沙性能

桑娜¹,汪建英²,孙雨³,汪建明¹,乔长晟^{2,3}

(1. 天津科技大学食品营养与安全省部共建教育部重点实验室,天津 300457; 2. 代谢控制发酵技术国家地方联合工程实验室,天津 300457;
3. 天津北洋百川生物技术有限公司,天津 300457)

摘要:以 γ -聚谷氨酸(γ -PGA)和壳聚糖(CS)为原料制备一种用作保水固沙材料的凝胶,利用热重分析研究结构变化,以宁夏沙头坡沙土为材料测试其保水性能和抗风蚀性能。结果表明,最佳制备工艺为: γ -PGA 与 CS 的添加比例为 20:80,其添加总量为 3.0 g,乙酸浓度 0.4 mol/L,乙酸添加量 20 mL,此条件下吸水倍率为 50.89 ± 0.23 。热重分析表明, γ -PGA 和 CS 间发生了相互作用。由保水试验和抗风蚀试验可知,经 8 d 后 γ -PGA/CS 凝胶仍有一定保水性能和抗风蚀能力。使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤中水分蒸发速率明显降低,空白组 15 d 累计蒸发率达到 93%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 8 d 累计蒸发率为 70%; γ -PGA/CS 保水剂添加量为 0.1% 时,风蚀模数从 $35.6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 降低至 $27.3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$,固化层厚度为 1.5 cm;使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤颗粒中 $>0.25 \text{ mm}$ 团聚体含量增加 13.7%。

关键词: γ -聚谷氨酸;壳聚糖;吸水倍率;土壤水分蒸发率;土壤团聚体;风蚀模数

中图分类号:S157 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)01-0251-04

γ -聚谷氨酸(poly γ -glutamic acid, γ -PGA)是以枯草芽孢杆菌或地衣芽孢杆菌通过发酵技术制备的一种高分子化合物^[1],是由 L-谷氨酸、D-谷氨酸单体通过酰胺键聚合而成的一种多肽分子^[2],其分子链中有活性很强的一COOH 基团,有很多可利用的功能^[3],如吸水性、保湿性及吸附重金属等,同时单体谷氨酸属于氨基酸,降解后不会造成任何污染,是环境友好型材料。 γ -聚谷氨酸由于含有较多的羧基和活性基团^[4],故其具有较强的保水性和缓释性,在农业上有较大的应用潜力^[5]。

壳聚糖(chitosan,CS)侧链含有氨基,酸性条件下氨基质子化使其成为一种正电性的聚合物^[6]。 γ -聚谷氨酸由于其侧链羧基的存在,是一种阴离子聚合物^[7]。利用静电相互作用,可以制备 γ -聚谷氨酸/壳聚糖凝胶(γ -PGA/CS 凝胶)。具有生物来源 γ -聚谷氨酸和壳聚糖制备的保水剂,相比于人工合成的高分子材料如聚丙烯酸等,具有更好的生物相容性,作为保水固沙材料更具环境友好性^[8]。

本研究以 γ -聚谷氨酸和壳聚糖为原材料制备一种可用于作保水固沙材料的凝胶^[9]。通过吸水倍率测试、热重分析,研究材料结构和热稳定性;通过保水试验和抗风蚀试验研究材料的保水性能和抗风蚀性能^[10]。本研究为实现 γ -聚谷氨酸/壳聚糖凝胶作保水固沙材料的应用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

γ -聚谷氨酸(γ -PGA),购自北洋百川生物技术有限公司;壳聚糖(CS),购自河南金诚生物科技有限公司;冰乙酸,购自博欧特(天津)化工贸易有限公司。TGA-Q50 热重分析仪,购自美国 TA 公司;磁力搅拌器,购自天津市欧诺仪器仪表有限公司。

供试土壤采自宁夏沙头坡。试验时间为 2017 年 2—5 月。

1.2 试验方法

1.2.1 γ -PGA/CS 凝胶制备 称取 0.4 g γ -PGA 粉末溶于蒸馏水中,搅拌均匀后加入 1.6 g 壳聚糖粉末,充分搅拌使壳聚糖粉末均匀地分散在 γ -聚谷氨酸溶液中,再加入 20 mL 浓度为 0.4 mol/L 的乙酸溶液,整个反应体系共 60 mL,反应得到 γ -PGA/CS 凝胶,去离子水多次洗涤至中性,真空干燥箱干燥材料,粉碎成粉末状^[11]。

1.2.2 吸水倍率的测定 称取一定质量的干凝胶,将其置于去离子水中,室温溶胀至平衡(5 h)。吸水倍率结果按公式(1)计算^[12-13]。

$$\text{吸水倍率} = (m - m_0) / m_0 \quad (1)$$

式中: m 为溶胀平衡后水凝胶的质量,g; m_0 为干凝胶的质量,g。

1.2.3 γ -PGA/CS 凝胶制备工艺条件的优化 单因素试验:(1) γ -PGA 与 CS 的添加比例。分析 γ -PGA 与 CS 的添加比例分别为 0:100、5:95、15:85、20:80、30:70、50:50 对吸水倍率的影响。(2) γ -PGA 与 CS 的添加总量。分析添加总量分别为 0.6、1.2、2.4、3.0、3.6、4.8 g 对吸水倍率的影

收稿日期:2017-10-11

基金项目:天津市科技支撑计划(编号:09ZCKFSH00800)。

作者简介:桑娜(1994—),女,山西长治人,硕士,主要从事动物资源开发与功能性食品研究。E-mail:shanxisangna@163.com。

通信作者:乔长晟,博士,教授,主要从事代谢控制发酵研究。E-mail:qiaochangsheng@163.com。

响。(3)乙酸浓度。分析乙酸浓度分别为 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mol/L 对吸水倍率的影响。(4)乙酸添加量。分析分别添加乙酸 20、30、40、50、60 mL 对吸水倍率的影响。

在单因素试验基础上进行正交试验。选用 $L_9(3^4)$ 正交

表 1 正交试验因素水平

水平	A: γ -PGA 与 CS 添加比例	B: γ -PGA 与 CS 总添加量(g)	C: 乙酸浓度(mol/L)	D: 乙酸添加量(mL)
1	15 : 85	2.4	0.4	20
2	20 : 80	3.0	0.5	25
3	25 : 75	3.6	0.6	30

1.2.4 热重分析(TGA) 利用 TGA-Q50 热重分析仪^[14]。

1.2.5 保水性能试验 取平行的沙样,在土壤表面喷洒相同量的自来水,将土壤含水量调节至土壤饱和含水率,然后施用保水剂,施加量选定为 2 kg/m²,记录样品质量;然后置于相同的环境条件(40 ℃ 放置 6 h,20 ℃ 放置 18 h,空气湿度 20%)下,每隔 24 h 称质量,计算每天水分蒸发量并绘制出土壤水分蒸发率曲线^[15-16]。

1.2.6 土壤团聚体含量 将沙土置于 20 cm × 35 cm 浅盘内,在其表面均匀洒上事先配制好的 γ -PGA/CS 凝胶(2 kg/m²),待水凝胶完全渗透后放入 60 ℃ 鼓风烘箱内烘干。通过筛分法测定各粒径下团粒体占沙土总质量的含量来评价沙土稳定性团粒结构^[17]。

1.2.7 抗风蚀试验 利用实验室自制风洞进行固沙样品耐风蚀性能的测定。每次试验前先称量固沙样品质量计为 m_1 (g),根据风蚀情况控制风蚀时间在 3 ~ 10 min。试验结束后再次称量样品质量计为 m_2 (g),风蚀时间计为 t (min),根据公式(2)计算样品风蚀模数[g/(m² · min)]。

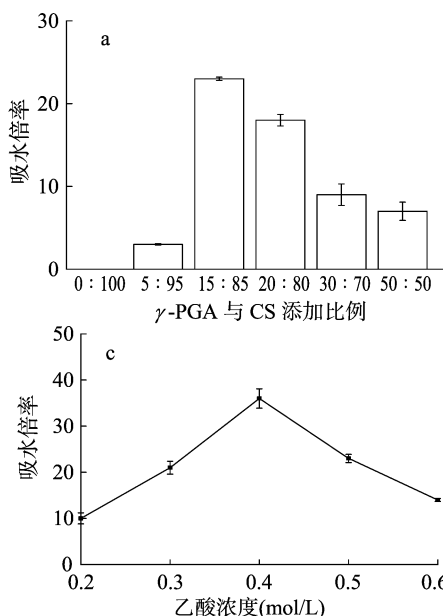
$$\text{风蚀模数}(EM) = (m_1 - m_2) / (S \cdot t) \quad (2)$$

式中: S 为固沙样品表面积,m²。

2 结果与分析

2.1 γ -PGA/CS 凝胶制备工艺条件的优化

2.1.1 γ -PGA 与 CS 添加比例对凝胶吸水倍率的影响



表进行试验,以吸水倍率为响应值,通过正交试验确定 γ -PGA/CS 凝胶最佳的制备条件,试验因素水平见表 1,每组试验重复 3 次。

图 1-a 可知,随着 γ -聚谷氨酸添加量的增加,PGA/CS 凝胶的吸水倍率呈现先增加后减少的趋势, γ -PGA 与 CS 的添加比例为 15 : 85 时,吸水倍率最高,为 23,可能是因为只添加壳聚糖制备的凝胶表面孔隙过大,分布不均匀,随着 γ -聚谷氨酸添加量逐渐增加,表面逐渐变得疏松多孔,但 γ -聚谷氨酸添加量过大时,导致形成的凝胶结构过于疏松,吸水倍率下降。初步确定 γ -PGA 与 CS 的最适添加比例为 15 : 85。

2.1.2 γ -PGA 与 CS 体系添加量对吸水倍率的影响 由图 1-b 可知,当 γ -PGA 与 CS 总添加量较低时(0.6 g),吸水倍率最低;当 γ -PGA 与 CS 总添加量增加时,吸水倍率有所提高;当 γ -PGA 与 CS 体系添加量继续增加时,吸水倍率有所下降,可能是因为总添加量过高时无法形成良好的表面结构。初步确定 γ -PGA 与 CS 的最适总添加量为 3 g。

2.1.3 乙酸浓度对吸水倍率的影响 由图 1-c 可知,当乙酸浓度过低或过高时吸水倍率较低,原因是壳聚糖不溶于水,溶于乙酸,当乙酸浓度过低时,可能会导致凝胶不能形成或形成的结构疏松,乙酸浓度过高导致壳聚糖聚集在一起形成凝胶,不能吸水,而周围由于缺少壳聚糖而不能成形或过于疏松。初步确定最适乙酸浓度为 0.4 mol/L。

2.1.4 乙酸添加量对吸水倍率的影响 由图 1-d 可知,乙酸添加量为 30 mL 时,吸水倍率最高,为 41,加入乙酸溶解壳聚糖使之与聚谷氨酸发生交联形成凝胶,继续增大乙酸添加量,并不能使凝胶的吸水倍率增强。所以初步选择乙酸添加

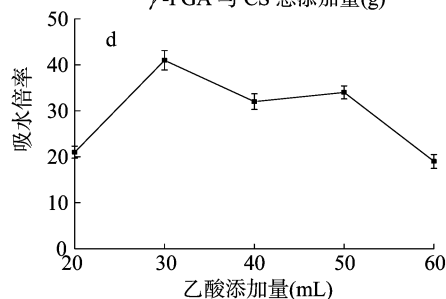
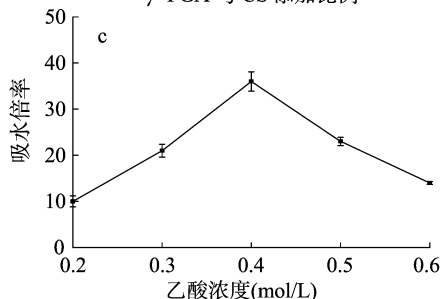
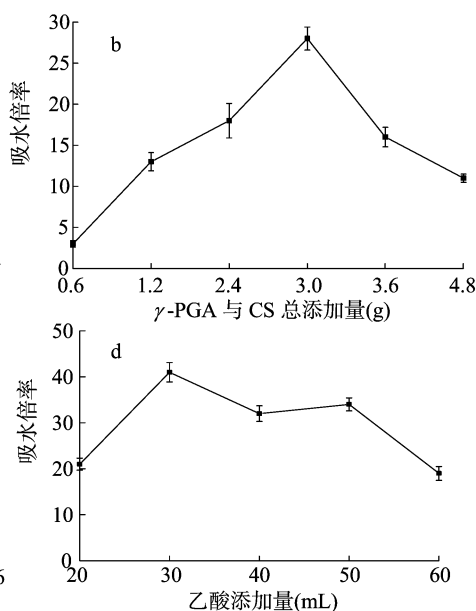


图 1 制备条件对 γ -PGA/CS 凝胶吸水倍率的影响

量为 30 mL,此时凝胶吸水倍率最高。

2.1.5 γ -PGA/CS 凝胶制备正交试验 由表 2、表 3 可知,影响吸水倍率的因素主次顺序为 A > C > B > D,即 γ -PGA 与 CS 添加比例的极差最大,表明添加比例对吸水倍率的影响最大,乙酸浓度次之, γ -PGA 与 CS 总添加量和乙酸添加量对吸水倍率的影响较小。由均值大小可知,最佳组合为 A₂B₂C₁D₃,即 γ -PGA/CS 凝胶制备的最佳工艺条件为 γ -PGA 与 CS 的添加比例为 20 : 80, γ -PGA 与 CS 添加总量为 3 g,乙酸浓度为 0.4 mol/L,乙酸添加量为 30 mL。在实际生产中,乙酸添加量为 20、30 mL 时,得到凝胶的吸水倍率差异不大,考虑到实际生产中的生产成本的投入,综合考虑实际生产情况,确定乙酸添加量为 20 mL,则 γ -PGA/CS 凝胶制备的最佳工艺条件为: γ -PGA 与 CS 的添加比例 20 : 80,

表 2 γ -PGA/CS 凝胶制备正交试验结果

编号	A	B	C	D	吸水倍率
1	3	2	3	1	23.75 ± 0.49
2	3	3	1	2	28.47 ± 0.23
3	2	1	3	2	33.99 ± 0.23
4	2	3	2	1	37.69 ± 0.62
5	2	2	1	3	40.26 ± 0.70
6	1	3	3	3	17.02 ± 0.06
7	1	1	1	1	19.91 ± 0.13
8	3	1	2	3	26.47 ± 0.43
9	1	2	2	2	21.22 ± 0.43
k ₁	19.386	26.791	29.547	27.118	
k ₂	37.312	28.411	28.462	27.896	
k ₃	26.233	27.729	24.922	27.918	
R	17.926	1.620	4.625	0.800	

表 3 正交试验方差分析结果

方差来源	偏差平方和	自由度	F	F _{0.05} (2,2) = 19
A	1 472.998	2	1 371.733 **	
B	11.908	2	11.089	
C	105.279	2	98.042 *	
D	3.763	2	3.479	
误差	0.664	2		

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。

γ -PGA 与 CS 添加总量 3 g,乙酸浓度 0.4 mol/L,乙酸添加量 20 mL。对正交试验的最佳试验条件进行验证,重复 3 次,得到凝胶的吸水倍率为 50.89 ± 0.23。

2.2 γ -PGA/CS 凝胶的热重分析(TGA)

由图 2 可知,第 1 阶段(25 ~ 240 ℃)是样品中水分损失过程, γ -PGA、CS 发生降解的温度分别为 397、345 ℃,此时 γ -PGA 质量损失 37%,CS 质量损失 34%; γ -PGA 和 CS 物理混合时发生降解的温度分别为 397、332 ℃,此时 γ -PGA 质量损失 37%,CS 质量损失 21%。 γ -PGA 因为水分的减少质量损失 18.5%,CS 因为水分的减少质量损失 11.3%。 γ -PGA/CS 凝胶的降解温度与聚合物相比有所降低, γ -PGA/CS 的降解温为 280 ℃,此时 γ -PGA 质量损失 23%,显示了热力学稳定性的降低。热力学稳定性的改变,热力学分析中 γ -PGA 和 CS 的峰的缺失,表明聚合物间发生了相互作用。 γ -PGA 和 CS 间的结构形成依赖于氢键,凝胶形成过程中氢键断裂产生了新的离子键降低了热稳定性。聚合物中取代基的引入导致 CS 结晶度的降低,因此相对于纯 CS 来说,纳米粒子的稳定性有所下降。

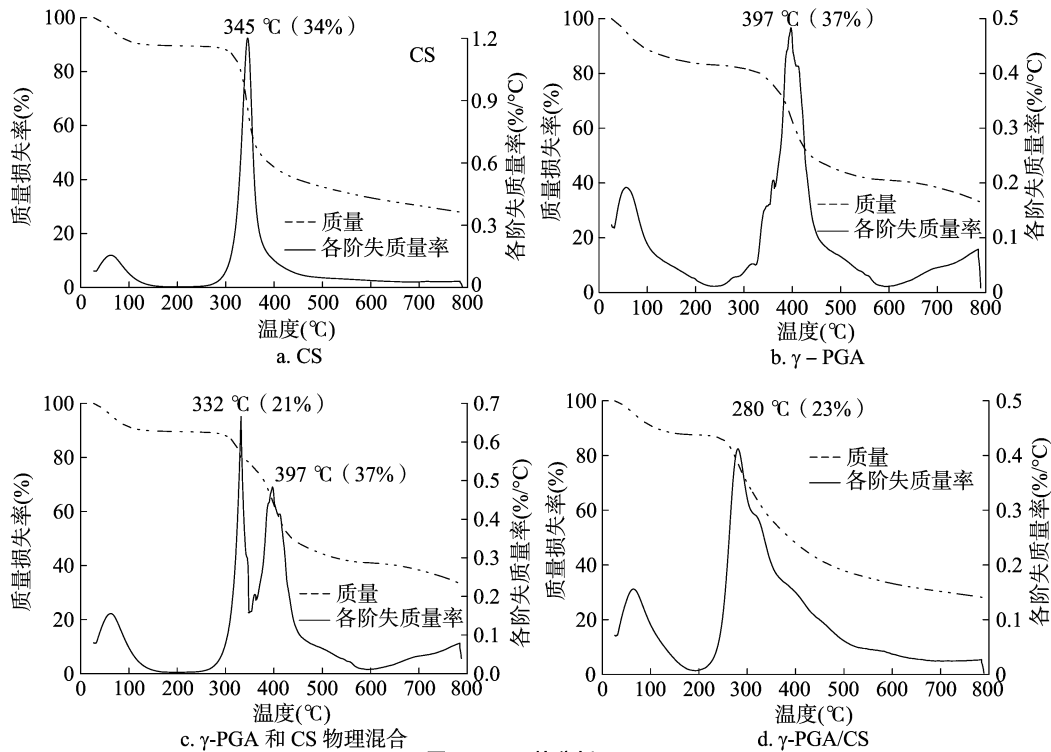


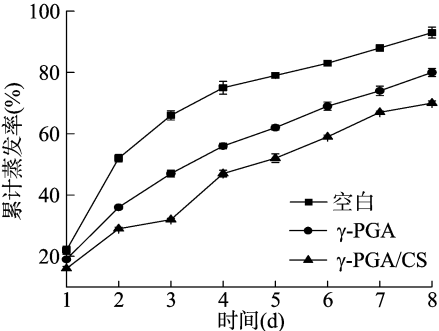
图2 TGA 热分析

2.3 保水和抗风蚀性能

由图 3 - a 可知,使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤中水分蒸发速率明显降低,使用后 8 d 时累计蒸发率为 70%,空白组

的累计蒸发率达到 93%, γ -PGA 对土壤水分蒸发也有一定的抑制作用,使用后 8 d 时累计蒸发率为 80%,表明 γ -PGA/CS 保水剂对土壤中水分具有较好的抑制蒸发作用。风蚀模

数越大,表明抗风蚀能力越差。由图 3-b 可知, γ -PGA/CS 保水剂的添加量为 0.1% 时,风蚀模数从 35.6 g/(m²·min)降低至 27.3 g/(m²·min),随着 γ -PGA/CS 添加量的增大,



土壤的抗风蚀能力逐渐增强。 γ -PGA/CS 保水剂的添加量为 0.1% 时,固化层的厚度为 1.5 cm,添加量超过 0.1% 时,固化层的厚度逐渐降低。

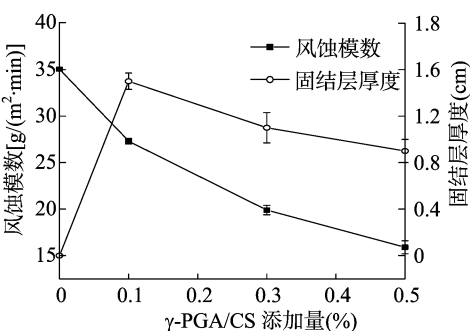


图3 使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤水分蒸发率变化和抗风蚀能力测定

2.4 土壤团聚体含量变化

由表 4 可知,使用 γ -PGA/CS 保水剂 8 d 后,出现大粒径的团聚体含量有明显增加而小粒径团聚体明显减少的趋势,原始土样中 0.425 mm 以下的团聚体含量为 64.8%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 0.425 mm 以下的团聚体含量为 50.1%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 0.425 mm 以下的团聚体含量减少 14.7 百分点;原始土样中 0.85 mm 以上团聚体含量为 5.7%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 0.85 mm 以上团聚体含量为 15.0%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 0.85 mm 以上团聚体含量增加 9.3 百分点,自来水对沙土颗粒也会起到一定

的固结效果。沙土稳定性团粒结构由 >0.25 mm 的团聚体构成,与原始土样相比,使用 γ -PGA/CS 保水剂后沙土稳定性团粒结构含量由 56.4% 增加至 70.1%。使用 γ -PGA/CS 保水剂后,通过固沙剂分子链上羧基和沙粒表面阳离子基团静电作用,颗粒之间发生团聚,使沙土中 >0.25 mm 的团聚体含量明显增加。表明随着固沙剂的加入首先是粒径更小的颗粒之间通过固沙剂的静电键桥接作用形成粒径稍大的团聚体,然后这些团聚体再在固沙剂的连接作用下相互形成更大粒径的团聚体。

表 4 γ -PGA/CS 保水剂对土壤团聚体含量的影响

处理方式	不同粒径团聚体含量(%)							>0.25 mm 团聚体含量比原始土样增(百分点)
	1.4 mm	1.4~0.85 mm	0.85~0.425 mm	0.425~0.25 mm	0.25~0.15 mm	<0.15 mm	>0.25 mm	
原始土样	0.3	5.4	29.5	21.2	19.3	24.3	56.4	0.0
自来水	0.9	5.7	30.0	21.5	18.5	23.4	58.1	1.7
γ -PGA	3.4	6.1	33.8	19.2	15.0	22.5	62.5	6.1
γ -PGA/CS	5.4	9.6	34.9	20.2	12.5	17.4	70.1	13.7

3 讨论与结论

本研究探讨了制备 γ -PGA/CS 凝胶的工艺条件,得出最佳条件: γ -PGA 与 CS 的添加比例为 20 : 80,其添加总量为 3.0 g,乙酸浓度为 0.4 mol/L,乙酸添加量为 20 mL,此条件下吸水倍率为 50.89 ± 0.23。红外光谱分析和热重分析表明, γ -PGA 和 CS 间的结构形成依赖于氢键,凝胶形成过程中氢键作用造成了基团频率位移和热稳定性的改变。通过对 γ -PGA/CS 凝胶的保水性能和抗风蚀性能研究得知,经 8 d 后, γ -PGA/CS 凝胶对土壤水分蒸发有一定的抑制作用和抗风蚀能力。使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤中水分蒸发速率明显降低,空白组的累计蒸发率达到 93%,使用 γ -PGA/CS 保水剂后 8 d 时累计蒸发率为 70%; γ -PGA/CS 保水剂的添加量为 0.1% 时,风蚀模数从 35.6 g/(m²·min)降低至 27.3 g/(m²·min),固化层的厚度为 1.5 cm;与原始土样相比,使用 γ -PGA/CS 保水剂后土壤颗粒中 >0.25 mm 的团聚体含量增加 13.7%。综上所述, γ -PGA/CS 凝胶可作为一种良好的保水固沙材料。

参考文献:

[1] 乔长晟,张苗苗,刘晓晨,等. 全水化无醇提取 γ -聚谷氨酸工艺

的研究[J]. 食品工业科技,2015,36(13):247-251.
[2] 石冬霞,梁金钟,党建宁,等. 以聚 γ -谷氨酸为原料制备高吸水树脂的研究[J]. 现代化工,2009,29(增刊 2):91-95.
[3] Sung M H, Park C, Kim C J, et al. Natural and edible biopolymer poly- γ -glutamic acid: synthesis, production, and applications[J]. Chemical Record, 2005, 5(6):352-366.
[4] Ogunleye A, Bhat A, Irore V U, et al. Poly- γ -glutamic acid: production, properties and applications[J]. Microbiology, 2015, 161(1):1-17.
[5] Fraceto L F, Grillo R, Medeiros D, et al. Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have? [J]. Frontiers in Environmental Science, 2016, 4(20):1-5.
[6] Caddeo C, Diez-Sales O, Pons R, et al. Cross-linked chitosan/liposome hybrid system for the intestinal delivery of quercetin[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2016, 461:69-78.
[7] Badawy M E I, Rabea E. A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection [J]. International Journal of Carbohydrate Chemistry, 2011, 13:243-247.
[8] 王静心,李 政,张健飞,等. γ -聚谷氨酸水凝胶研究与应用进展[J]. 微生物学通报,2014,41(8):1649-1654.
[9] 庄华红,王淑芳,高靖辰,等. γ -聚谷氨酸水凝胶的制备、性能及其应用[J]. 应用化学,2014,31(3):245-255.

蔡娜,谢静,党华美,等. 贵州省主要猕猴桃果园土壤重金属安全评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(1):255-260.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.01.060

贵州省主要猕猴桃果园土壤重金属安全评价

蔡娜¹, 谢静², 党华美³, 刘晗⁴, 高安勤⁵, 何腾兵¹

(1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省农业资源环境管理站, 贵州贵阳 550001;

3. 河南省驻马店市城乡一体化示范区刘阁办事处, 河南驻马店 463000; 4. 广东省深圳市龙岗区香山里小学, 广东深圳 518053;

5. 贵州省六盘水市农业农村委员会, 贵州六盘水 553000)

摘要:探讨贵州省主要猕猴桃果园土壤中镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)、铅(Pb)、砷(As)、铜(Cu)、锌(Zn)的重金属含量特征,采用单因子污染指数法和多因子污染指数法分析猕猴桃果园土壤环境质量。在猕猴桃果园中土壤重金属Cd、Hg、Pb、As和Zn的平均含量处于正常水平,但是Cr和Cu的含量偏高,分别达到了385.20 mg/kg和215.57 mg/kg;7种重金属中Cd和Cu存在单因子综合污染,Pb和Hg的单因子污染指数(P_i)均小于0.7,污染等级为安全。基于国家土壤环境质量二级标准的水城县的4个园区Pb、As和Hg的单因子污染指数都小于0.7,污染等级为安全,污染水平为清洁,而Cd的单因子污染指数都大于1,土壤重金属平均 P_i 大小排序为Cd > Cr > Cu > Zn > As > Hg > Pb;基于国家土壤环境质量二级标准的修文县2个乡(镇)的4个猕猴桃果园土壤中Zn、Pb和Hg单因子污染指数均未超过0.7,污染等级为安全,污染水平为清洁;基于国家土壤环境质量二级标准的Cd单因子污染指数除猕猴桃小于0.7外,其余果园都大于1,土壤重金属平均 P_i 排序为Cd > Cu > Cr > As > Hg > Zn > Pb;基于国家土壤环境质量二级标准的修文县和水城县猕猴桃果园土壤重金属综合污染指数分别为1.38、2.03,污染等级分别为轻度和中度。Cu、Cd、Cr和As在一些地方甚至达到了重度污染,各果园在进行土壤Cu和Cd治理的同时,需要对Cr和As进行密切监测,找出外在污染源。

关键词:土壤;重金属;安全评价;猕猴桃;果园

中图分类号: X825 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)01-0255-06

猕猴桃营养丰富,且适应性强,栽培种植容易,成本低,效益高,是重点打造的重要果品之一,贵州六盘水市(水城)和修文县都是典型的猕猴桃种植基地。重金属污染因具有毒性、易通过食物链在植物、动物和人体内累积,对生态环境和人体健康构成严重威胁,其污染导致的安全问题也成为全球

关注的环境问题之一。目前,我国大部分地区的土壤重金属污染问题比较突出,已经成为影响农产品产地环境质量,进而影响农产品质量安全的凸显问题。果园土壤重金属是构成猕猴桃产地环境监测的一项重要指标,土壤重金属含量被认为是影响农产品安全的重要因素,也是影响果品中重金属含量的主要因素之一^[1-2]。在果园土壤重金属风险评价方面,前人研究主要集中在火龙果^[3]、苹果^[4]、柑橘^[5]、梨^[6]、葡萄^[7]、樱桃^[8]等果园,对于猕猴桃的研究则主要是溃疡病、产业化、品质等方面,在猕猴桃果园方面,李晓彤等对陕西省眉县和周至县猕猴桃果园中土壤重金属进行了研究,发现陕西省眉县和周至县猕猴桃果园土壤属尚清洁水平,土壤环境质量合格^[9]。杨玉等研究湖南省54个猕猴桃果园,发现有31.5%

收稿日期:2018-04-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:U1612442);贵州省发展和改革委员会项目(编号:黔发改高技[2017]950号)。

作者简介:蔡娜(1992—),女,贵州思南人,硕士研究生,研究方向为土壤学。E-mail:2270618955@qq.com。

通信作者:何腾兵,教授,硕士生导师,主要从事土壤学、环境科学的教学与科研工作。E-mail:hetengbing@163.com。

[10] Sung H W, Sonaje K, Liao Z X, et al. pH-responsive nanoparticles shelled with chitosan for oral delivery of insulin: from mechanism to therapeutic applications[J]. Accounts of Chemical Research, 2012, 45(4): 619-629.

[11] 王建涛,潘晓晨,王淑芳. γ -聚谷氨酸/壳聚糖/纳米银复合水凝胶的制备和表征[J]. 离子交换与吸附, 2016, 32(4): 297-305.

[12] Riteau N, Sher A. Chitosan: an adjuvant with an unanticipated STING[J]. Immunity, 2016, 44(3): 522-524.

[13] Zargar V, Asghari M, Dashti A, et al. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications[J]. ChemBioEng Reviews, 2015, 2(3): 204-226.

[14] Sarmiento B, Ferreira D, Veiga F, et al. Characterization of insulin -

loaded alginate nanoparticles produced by ionotropic pre-gelation through DSC and FTIR studies[J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 66(1): 1-7.

[15] Pereira A E S, Sandoval-Herrera I E, Zavala-Betancourt S A, et al. γ -Polyglutamic acid/chitosan nanoparticles for the plant growth regulator gibberellic acid: characterization and evaluation of biological activity[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 1862-1873.

[16] 李继成,张富仓,孙亚联,等. 施肥条件下保水剂对土壤蒸发和土壤团聚性状的影响[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 48-53, 89.

[17] 王丹,宋湛谦,商士斌,等. 高分子材料在化学固沙中的应用[J]. 生物质化学工程, 2006, 40(3): 44-47.