SA-01 型高分子土壤抗蚀剂改良土壤团聚体水稳性的试验研究

李 昊[1], 胡甲均[2], 任红玉[3]

(1. 长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 水利部 长江水利委员会, 湖北 武汉 430010; 3. 水利部山洪地质灾害防治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘 要: [目的] 探讨自研抗蚀剂产品对土壤团聚体水稳性的影响,并分析其影响机理,为坡耕地水土流失治理工作提供支持。[方法] 以自主研发的多糖类高分子抗蚀材料 SA-01 为对象,研究其对红壤团聚体水稳性的影响。[结果] 施用 0.25%浓度 SA-01 后,3 组粒径团聚体水稳性平均提高 2.6 倍,施用 1%浓度 SA-01 后 3 组粒径土壤团聚体水稳性都达到 100%。且施用 SA-01 后,在相同粒径条件下,团聚体水稳性随 SA-01 浓度增加而增加;在相同施用浓度条件下,团聚体水稳性随其粒径增大而减小。[结论] 团聚体水稳性试验表明,SA-01 能大幅提升团聚体水稳性;抗蚀机理分析与讨论表明 SA-01 通过在土壤团聚体表面形成一层透水的保护层是团聚体水稳性提升的关键。

关键词: 土壤抗蚀剂; 多糖高分子; 团聚体; 水稳性

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2018)04-0162-06 **中图分类号**: P642.16

文献参数: 李昊, 胡甲均, 任红玉. SA-01 型高分子土壤抗蚀剂改良土壤团聚体水稳性的试验研究[J]. 水土保持通报,2018,38(4):162-167. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.027. Li Hao, Hu Jiajun, Ren Hongyu. Water-stability property of soil aggregates stabilized by SA-01 polymer soil anti-erosion material [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(4):162-167.

Water-stability Property of Soil Aggregates Stabilized by SA-01 Polymer Soil Anti-erosion Material

LI Hao[1], HU Jiajun[2], REN Hongyu[3]

(1. *Division of Soil and Water Conservation, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei* 430010, *China*; 2. *Changjiang Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, Wuhan, Hubei* 430010, *China*; 3. *Research Center on Mountain Torrent and Geologic Disaster Prevention of MWR, Wuhan, Hubei* 430010, *China*)

Abstract: [Objective] Discussing the influence and the mechanism of a self-developed soil anti-erosion material on the water-stability property of soil aggregates to provide a better theoretical insight for the treatment of sloping farmland. [Methods] Investigating the changes of red soil aggregates water-stability used a self-developed polysaccharide polymer soil anti-erosion material named SA-01. [Results] The soil aggregates water-stability became 2.6 times of the original ones after 0.25% SA-01 treated and became 100% after 1% SA-01 treated. [Conclusion] The SA-01 could greatly enhance the water-stability property of red soil aggregates and the thin permeable film which was formed on the surface of soil was the key factor to the enhancement.

Keywords: **soil anti-erosion material; polysaccharide polymer; soil aggregates; water-stability property**

随着人口的不断增长,人民对粮食的需求日益增大,坡耕地作为重要的农业资源将长期存在,同时也面临严重的水土流失问题,中国坡耕地占耕地总面积 20%,占全国水土流失总面积 6.7%[1],且由于地形、耕作等因素影响,坡耕地侵蚀量十分巨大,产生的土壤流失量占到全国土壤流失总量的 28.3%,是水土流失的主要地类和江河泥沙的主要策源地。坡耕地严重的水土流失使山区丘陵土层变薄,养分流失,保水能力变差,土地生产力低下,下游江河湖库淤积,严重阻碍山地丘陵区农业发展,直接影响国家粮食安

收稿日期:2012-12-20 **修回日期**:2018-02-22

资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费"土壤抗蚀增肥技术研究"(17028),"长江流域坡耕地水土流失机制及防治关键技术研究"(17050)

第一作者:李昊(1989—),男(汉族),湖北省十堰市人,博士,工程师,主要从事土壤侵蚀,水土保持材料研究。E-mail:395365619@qq.com。

全、生态安全和防洪安全,制约经济社会的可持续发展[2]。对于坡耕地水土流失的治理,国内外围绕保护性耕作措施和农田排水方面开展了大量研究[3-4]。我国坡耕地水土保持常用措施主要有 3 种类型[5-8]:一是配套坡面水系工程和田间道路的坡改梯措施;二是对暂时无法改为梯田又必须保留农作的坡耕地,大力推广保土耕作措施;三是以等高植物篱、植物护埂和苎麻种植为代表的植被措施。但由于自然条件、经济条件,或是农耕文化的原因,上述 3 项措施并不能完全满足坡耕地治理的需求。因此急需探索坡耕地水土流失治理新理念、新技术、新材料[9]。研发保土抗蚀新材料是水土保持研究长期重点支持方向,其中土壤抗蚀剂是一种在常温条件下能够直接胶结土壤颗粒或与黏土矿物反应生成凝胶物质的新型材料,能有效稳定土壤,提升土体强度,减少水土流失[10-12]。目前,这类材料按其组成成分可被分为:无机类、有机高分子类和生物酶类[13]。近年来随着技术的进步,土壤抗蚀材料的研究已取得蓬勃发展,被广泛应用于坡面生态防护,荒漠化治理,防治扬尘等领域[14-16]。其中具有良好降解性能的有机高分子类抗蚀材料是坡耕地治理研究的热点[17]。针对此,本课题组以多糖类天然产物为基础,研究开发了一种 SA-01 型高分子土壤抗蚀剂,探讨该抗蚀剂产品对土壤团聚体水稳性的影响,并分析了其影响的机理。土壤团聚体水稳性是指土壤团聚体经水浸泡后的稳定情况,其对土壤孔隙保持和径流产生具有重要影响,与土壤抗蚀性密切相关[18-19],是土壤抗蚀性分析的关键指标,本文就以其水稳性指数 K 的变化来分析 SA-01 材料对土壤抗蚀性能的影响。

1　试验材料与方法

1.1　试验材料

采用的材料为 SA-01 型高分子土壤抗蚀剂,该材料由从天然产物中提取的多糖类化合物为基材经改性制得。其能完全溶于水,形成透明无味的具有一定黏度的水溶液,其 1%浓度溶液 pH 值 7～8,比重 1.01～1.05。试验采用的土样是取自武汉市长江科学院沌口科研基地的红壤,风干后质量含水率为 6.73%。

1.2　试样制备

将从现场取回的土样经过风干、敲碎、过筛后,将粒径分布较集中的 2～20 mm 团聚体分为 2～5 mm,5～10 mm,10～20 mm 这 3 组[20],随后按 500 ml/m^2 的量在团聚体表面均匀喷洒不同浓度的 SA-01 溶液,使溶液充分浸润团聚体表面,并在室温下静置 2 h,以备试验和表征。其中未喷洒 SA-01 的团聚体记为原始组,喷洒 SA-01 的团聚体记为试验组。

1.3　团聚体水稳性试验

1.3.1　*试验方法*　本试验采用静水法对团聚体的水稳性进行了测定[21-22]。试验通过将团聚体放置在静水中,观察团聚体随着时间解体的数量,计算出团聚体的水稳性指数 K,从而测定出团聚体的水稳性,其试验装置如图 1 所示。试验步骤为:①每种试样随机取出 30 颗团聚体均匀放置在口径 1 mm 的金属网上。②向玻璃容器中加水,直至水面高于金属网 5 cm,而后将团聚体浸入水中开始计时。③每组试验一共进行 10 min,记录每 1 min 解体的数量。④每个浓度试验做 3 组平行,取 3 组平行试验结果的平均值计算团聚体的水稳性。

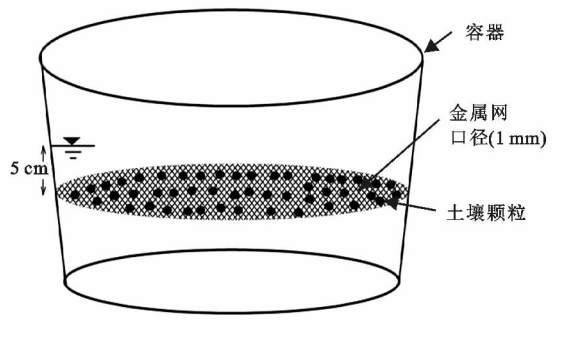


图 1　团聚体水稳性测试装置

1.3.2　*团聚体水稳性计算方法*　由于土粒崩解的时间不同,鉴定其水稳性程度需要采用校正系数,每分钟校正系数 K_i 如下:1 min 为 5%;2 min 为 15%;3 min为 25%;4 min 为 35%;5 min 为 45%;6 min 为 55%;7 min 为 65%;8 min 为 75%;9 min 为 85%;10 min为 95%。在 10 min 内没有分散的土粒的水稳性指数为 100%。

水稳性指数按下列公式计算:

$$K=\frac{\sum P_i K_i+P_j}{A},\qquad (i=1,2,3,\cdots,10)\qquad (1)$$

式中:P_i——第 i 分钟分散的土粒数量;P_j——10 min 内未分散的土粒数;K_i——第 i 分钟校正系数;A——供试土粒总数,本次试验为 30。

1.4　扫描电镜测试

扫描电子显微镜是一种利用电子与物质的相互作用来对物质微观形貌进行表征的方法,常用于测定各种固体的表面形貌,其放大倍数可于 1.00×10^2 至 1.00×10^5 间连续可调。本试验用其观察了原始组与试验组表面的形貌变化以分析 SA-01 材料的固土机理。测试仪器为 Sigma 场发射扫描电镜,测试前将处理好的样品在 60 ℃条件下真空干燥 4 h,并喷金以增强其导电性,减小干扰。

2 结果与分析

2.1 试验结果

表 1 给出了不同条件下团聚体在静水中浸泡 10 min过程中每分钟的崩解情况，由表我们可以看出，所有粒径下的团聚体经 SA-01 处理后其崩解数都有较大程度的下降，表明 SA-01 起到了良好的固土效果。

图 2 给出了不同条件下团聚体累积崩解情况，团聚体初始崩解时间与团聚体最终崩解个数的具体数字分别列于表 2—3。

表 1 团聚体水稳性测试结果

试验编号	浓度/%	团聚体粒径/mm	浸泡时间/min										累积崩解个数
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0.00	2～5	3	4	4	6	6	3	4	—	—	—	30
2	0.25	2～5	0	0	0	2	2	0	1	0	0	4	9
3	0.50	2～5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4
4	0.75	2～5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
5	1.00	2～5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.00	5～10	3	3	6	8	6	3	1	—	—	—	30
7	0.25	5～10	0	0	0	1	1	1	1	2	1	3	10
8	0.50	5～10	0	0	0	1	1	1	1	0	1	2	7
9	0.75	5～10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	4
10	1.00	5～10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.00	10～20	3	4	4	7	8	4	—	—	—	—	30
12	0.25	10～20	0	0	1	2	2	5	1	0	0	5	14
13	0.50	10～20	0	0	1	1	1	1	2	3	0	3	12
14	0.75	10～20	0	0	0	1	1	2	1	0	1	2	8
15	1.00	10～20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注：数据是每分钟解体的团聚体数量。

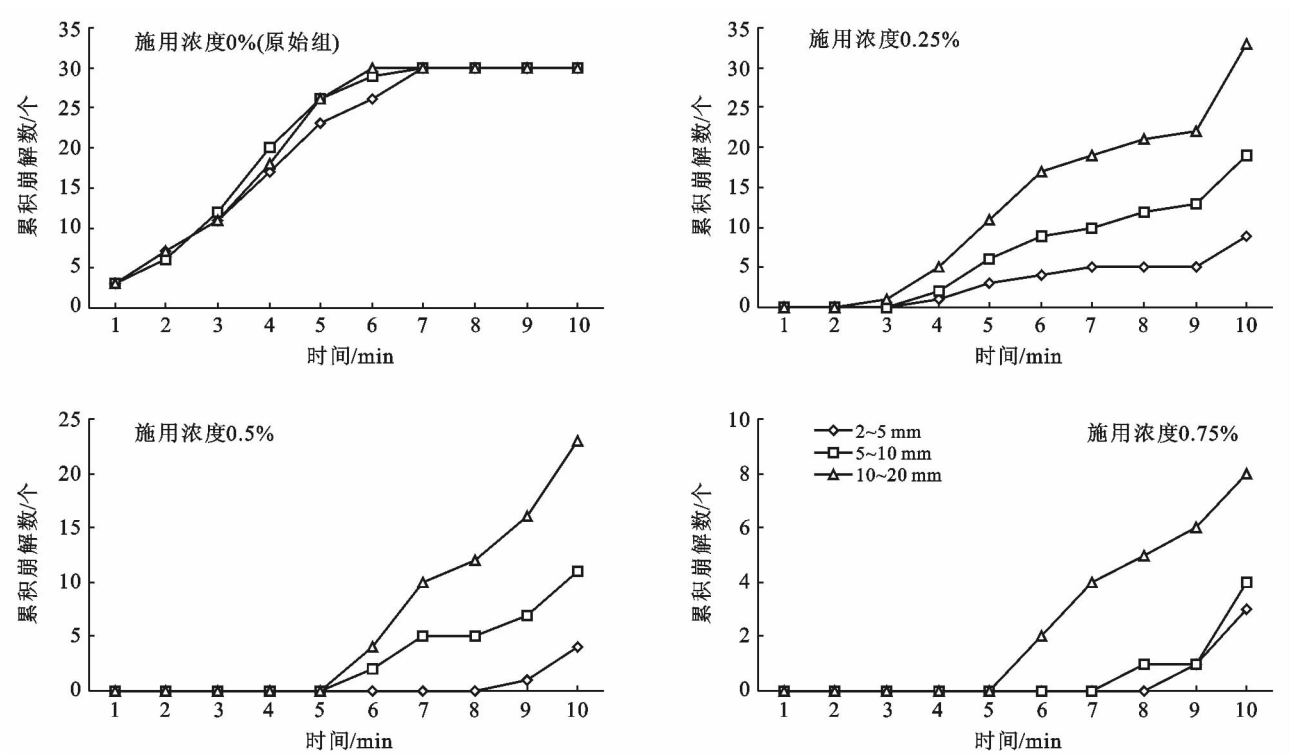


图 2 不同 SA-01 施用浓度条件下团聚体随时间累计崩解数

由图 2 和表 2—3 可以看出，对于未添加 SA-01 的原始组，其放入水中后立即发生崩解，随着试验的进行，所有粒径的试验样品在第 6～7 min 基本都完全崩解，而对于施加材料的试验组，少量的 SA-01 都会对团聚体崩解情况产生巨大影响，无论是其初始崩解时间还是最终崩解个数都小于原始组。同时还发

现,在相同粒径条件下,团聚体初始崩解时间随着 SA-01 施用浓度的增加而增加,团聚体最终崩解个数随着 SA-01 施用浓度的增加而减小。以 2～5 mm 粒径试验组为例,施用 0.25%的 SA-01 后,团聚体于 4 min 后才开始崩解,并最终崩解 9 个,而当施用 1%的 SA-01 后,整个试验过程中 30 个团聚体颗粒无一崩解,且后续的观察中发现,经 1%的 SA-01 处理后的团聚体能在静水中稳定存在 30 d 以上。此外,在相同 SA-01 施用浓度条件下,团聚体初始崩解时间基本随着粒径的增大而减小,团聚体最终崩解个数随着粒径的增大而增大。

表 2　团聚体初始崩解时间

粒径/mm	浓度/%				
	0	0.25	0.5	0.75	1
2～5	1	4	9	9	—
5～10	1	4	4	8	—
10～20	1	3	3	4	—

表 3　团聚体最终崩解个数

粒径/mm	浓度/%				
	0	0.25	0.5	0.75	1
2～5	30	9	4	3	0
5～10	30	10	7	4	0
10～20	30	14	12	8	0

2.2　SA-01 对团聚体水稳性的影响

土壤团聚体水稳性是土壤抗蚀性分析的关键指标,表 4 给出了不同浓度 SA-01 施用后土壤团聚体水稳性的变化。由表 4 可知,施用少量的 SA-01 就可大幅提升团聚体水稳性,在施用浓度为 0.25%的 SA-01 后,3 种粒径的红壤团聚体的水稳性较未处理的试验组平均提高了 2.61 倍,提升作用非常明显,当 SA-01 浓度达到 1.0%时,团聚体的水稳性达到 100%,即在一次试验持续时间内,团聚体完全没有解体的迹象。同时也可以看到,在相同浓度 SA-01 处理条件下,水稳性指数 K 随着团聚体粒径的增大而减小,以施用 0.75%SA-01 试验组为例,其 2～5 mm 粒径组最终崩解个数仅为 3 个,水稳性指数 K 达到 99.2%,但随粒径增大,其 10～20 mm 试验组最终崩解数上升到 8 个,水稳性指数 K 下降到 91%;在相同团聚体粒径条件下,水稳性指数 K 随着 SA-01 浓度的增加而增加,以 5～10 mm 粒径组为例,其初始水稳性指数 K 为 33%,施用 0.25%SA-01 后其水稳性指数 K 提升 2.73倍达到 90.2%,并随着施用浓度的进一步升高而不断增加,最终于 1%施用浓度时达到 100%。

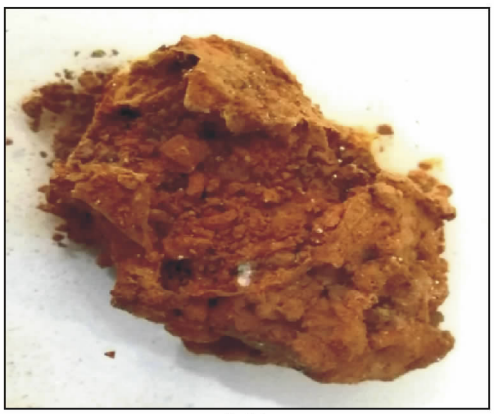
表 4　不同粒径和浓度条件下团聚体水稳性指数

粒径/mm	浓度/%				
	0	0.25	0.5	0.75	1
2～5	36	90.2	99	99.2	100
5～10	33	90.2	93.5	98.7	100
10～20	32.3	83.3	86.3	91	100

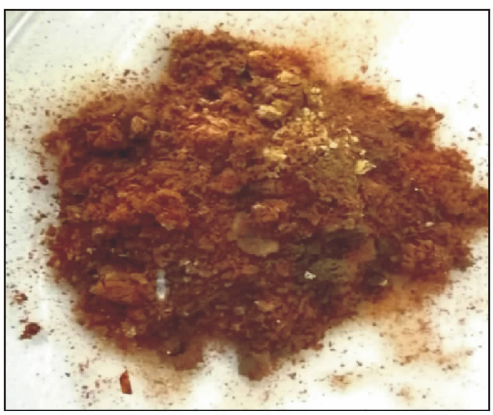
3　讨 论

3.1　SA-01 影响团聚体崩解模式分析

分析可知,SA-01 施用后团聚体崩解数量减少,初始崩解时间延长,水稳性有较大提升。就原始组而言,其与前人研究结果类似[23]展现出渐进的崩解模式:其团聚体与水接触后,其表层土壤颗粒立即开始脱落,随着浸泡时间的延长,土壤颗粒逐渐发生坍塌崩解,并最终完全解体,分散成为细小的颗粒(图 3)。就试验组而言,其崩解过程发生明显变化:其团聚体与水接触后,初期没有发生明显变化,但随着浸泡时间的延长,少数团聚体颗粒表面出现细小的裂缝,随后裂缝逐渐增大,团聚体内部土壤短时间内突然从裂缝中大量流出(图 3)。



试验组



原始组

图 3　团聚体最终崩解情况

3.2 SA-01 提升团聚体水稳性机理分析

分析可知，随着 SA-01 的施用，土壤团聚体的水稳性指数 K 大幅提升，且其崩解模式发生较大变化。依据材料的性质，我们猜想这与材料与团聚体颗粒间的反应有关。SA-01 是以多糖为基材的高分子材料，多糖类物质高分子链中含有大量的亲水的羟基(—OH)基团，该基团可通过氢键作用连接土壤颗粒，同时多糖的高分子长 C 链也可通过渗透、扩散作用缠绕土体颗粒也起到加固作用[24-25]，此外 SA-01 材料特有的部分活性基团可与土壤中的 Ca^{2+}，Mg^{2+} 等高价阳离子发生反应，在表层土壤生成能透水透气有一定强度但不溶于水的水凝胶保护层。为了验证我们的猜想，我们对未喷洒 SA-01 的原始组与喷洒 0.5%浓度的 SA-01 的试验组团聚体表面进行了扫描电镜测试，其结果如图 4 所示。图 4 可以看到，未喷洒 SA-01 的原始组团聚体表面具有很多片状原始土壤结构[26]，而对于喷洒 0.5%浓度的 SA-01 的试验组(图 4)而言，其表面未见到这种片状结构，而是覆盖了一层薄膜状的涂层，这些薄膜状结构就是我们猜想中的透水透气的保护层。这也解释了喷洒材料前后团聚体崩解发生变化的现象，喷洒材料前，原始组团聚体是由矿物晶体或黏土微小颗粒通过相互作用集聚而成，当其与水接触后，水分从外到内，逐渐渗入到团聚体内部与团聚体土壤颗粒发生作用，削弱其间的相互作用，当该作用力小于土壤颗粒的重力与浮力差时，土壤颗粒就由外向内逐渐发生崩解。喷洒材料后，SA-01材料在团聚体表面形成一层凝胶保护层，该保护层具有一定机械强度，可在浸水初期，土壤颗粒间的相互作用力削弱后，保护团聚体免于崩解，故试验组初期团聚体没有发生明显变化；但随着浸泡时间的延长团聚体内部水土相互作用加剧，以及土壤浸泡后的膨胀作用，团聚体内部向外的力逐渐增大造成保护层破裂，也就是我们观察到的团聚体颗粒表面出现细小的裂缝，随后随着团聚体内部向外的力进一步增大，裂缝变大，团聚体内部土壤短时间内突然从裂缝中大量流出。其示意图如图 5 所示。

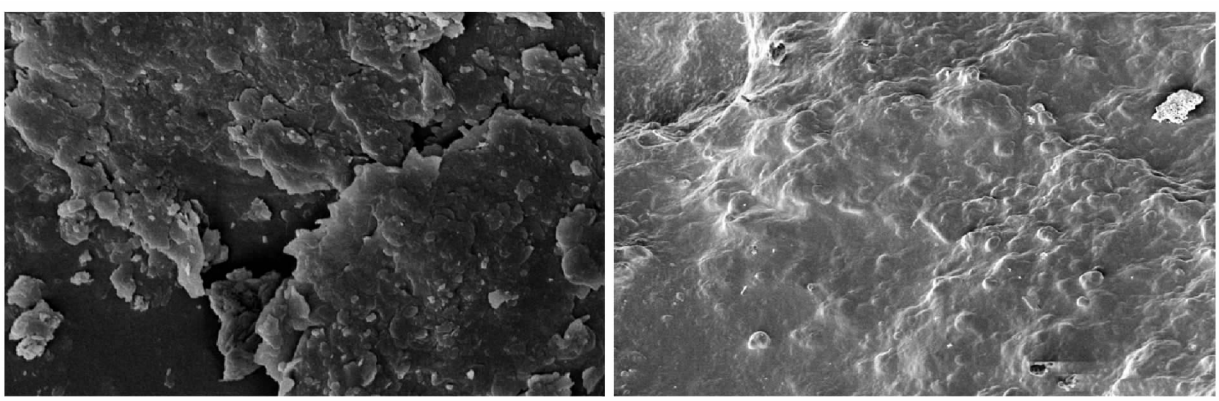


图 4 团聚体表面扫描电镜图

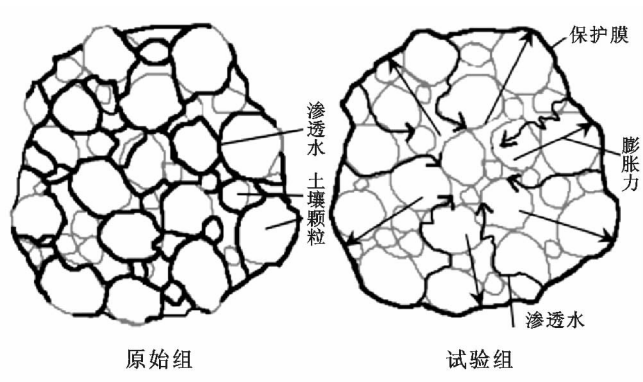


图 5 团聚体崩解机理

3.3 SA-01 浓度与团聚体粒径影响团聚体水稳性机理分析

由前文分析可知，SA-01 材料在团聚体表面形成的具有一定机械强度的保护层是提升土壤团聚体水稳性的关键。同时这一结果也解释了我们之前观察到的在相同浓度 SA-01 处理后，团聚体水稳性指数 K 随着团聚体粒径的增大而减小，在相同团聚体粒径条件下，水稳性指数 K 随着 SA-01 浓度的增加而增加的现象，即：在团聚体粒径相同的情况下，SA-01 喷洒浓度越大，与团聚体发生相互作用的材料越多，在团聚体表层形成的保护层强度就越大，破坏保护层所需的力就越大，团聚体颗粒就越难崩解，其水稳性就越大，因此水稳性指数 K 随着 SA-01 浓度的增加而增加；在相同浓度 SA-01 处理后，粒径越大，团聚体比表面积越小，单位面积保护层所需保护的土壤体积就越大，单位面积保护层所需对抗的膨胀力就越大，保护

层越容易破裂,且粒径越大,在团聚体表面形成均匀保护层的难度就越大,保护层的强度就越小,因此水稳性指数 K 随着团聚体粒径的增大而减小。

4　结 论

(1) SA-01 型多糖类高分子土壤抗蚀剂能有效提高土壤团聚体水稳性,且少量添加就能达到良好的效果,施用浓度为 0.25%的 SA-01 后,3 种粒径的红壤团聚体的水稳性较未处理的试验组平均提高了 2.61倍,当 SA-01 浓度达到 1.0%时,团聚体的水稳性达到 100%。

(2) SA-01 型多糖类高分子土壤抗蚀剂能在土壤团聚体表面形成一层可透水的保护层,该保护层能改变团聚体崩解模式,延缓团聚体崩解是团聚体水稳性提升的关键。

(3) SA-01 型多糖类高分子土壤抗蚀剂对土壤团聚体水稳性的提升随材料喷洒浓度的增加而增加,随团聚体粒径的增大而减小。

[参 考 文 献]

[1] 陈雷.认真贯彻中央水利工作会议精神扎实推进坡耕地水土流失综合治理工作[J].中国水土保持,2011(9):1-4.

[2] 张彦军,郭胜利,南雅芳,等.水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响[J].生态学报,2012,32(18):5777-5785.

[3] 刘孝盈,汪岗,陈月红,等.美国水土保持的特点及对我国的启示[J].中国水土保持科学,2003,1(2):102-107.

[4] 欧阳钺人,吴伯志.水土保持耕作措施的研究进展及展望[J].云南农业大学学报,2017,32(4):718-726.

[5] 曹艳,刘峰,包蕊,等.西南丘陵山区坡耕地植物篱水土保持效益研究进展[J].水土保持学报,2017,31(4):57-63.

[6] 冯洋,郭成久,李勇,等.不同水土保持措施对黑土区坡耕地氮、磷流失的影响[J].水土保持研究,2014,21(3):47-50.

[7] 史立人.长江流域的坡耕地治理[J].人民长江,1999,30(7):25-27.

[8] 隋媛媛,刘明义,许晓鸿,等.坡式条田在黑土区坡耕地水土流失治理中的应用及效益分析[J].水土保持学报,2014,28(6):52-55.

[9] 张平仓,程冬兵.南方坡耕地水土流失过程与调控研究[J].长江科学院院报,2017,34(3):35-39.

[10] Garcia O F, Guerrero C, Mataix S J, et al. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids [J]. Soil & Tillage Research, 2005,82(1):65-76.

[11] 单志杰,张兴昌,赵伟霞,等.EN-1 固化剂对土壤抗蚀性的影响[J].水土保持学报,2010,24(5):6-9.

[12] 王浩然.土壤结构改良剂的改土效果及其使用的探讨[J].北京农业,2011(33):103-104.

[13] Zang YunXiao, Gong Wei, Xie Hao, et al. Chemical sand stabilization: A review of material, mechanism, and problems [J]. Environmental Technology Reviews, 2015,4(1):119-132.

[14] 郭玉珊,耿玉清,张艳,等. EN-1 固化剂对土壤抗崩性的影响[J].水土保持通报,2015,35(3):214-217.

[15] 梁止水,吴智仁,杨才千,等.基于 W-OH 的砒砂岩抗蚀促生机理研究[J].水利学报,2016,47(9):1160-1166.

[16] 刘军,张宇清,秦树高,等.不同喷洒浓度沙蒿胶固沙效果试验[J].农业工程学报,2016,32(5):149-155.

[17] Maghchiche A, Haouam A, Immirzi B. Use of polymers and biopolymers for water retaining and soil stabilization in arid and semiarid regions[J]. Journal of Taibah University for Science, 2010,4(1):9-16.

[18] Li Zhaoxia, Cai Chongfa, Shi Zhihua, et al. Aggregate stability and its relationship with some chemical properties of red soils in subtropical china[J]. Pedospher, 2005,15(1):129-136.

[19] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-421.

[20] 瑾.新型高分子土壤稳定剂的研制及其应用研究[D].江苏 南京:南京大学,2011.

[21] Eybold C A, Herrick J E. Aggregate stability kit for soil quality assessments [J]. Catena, 2001, 44 (1): 37-45.

[22] Errick J E, Whitford W G, Soyza A G D, et al. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations [J]. Catena, 2001, 44 (1): 27-35.

[23] 刘瑾,施斌,姜洪涛,等.STW 型高分子土壤稳定剂改良粘性土团聚体水稳性试验研究[J].水文地质工程地质,2009,36(2):77-80.

[24] Tadayonfar G, Shahmiri N, Bazoobandi M H. The effect of polyvinyl acetate polymer on reducing dust in arid and semiarid areas[J]. Open Journal of Ecology, 2016,6(4):176-183.

[25] Kang J, Mclaughlin R A, Amoozegar A, et al. Transport of dissolved polyacrylamide through a clay loam soil[J]. Geoderma, 2015, 243/244:108-114.

[26] 隽英华,武志杰,陈利军,等.东北 4 种典型土壤黏粒矿物的初步表征[J].光谱学与光谱分析,2010,30(7):1918-1921.