

EN-1 固化剂对土壤抗崩性的影响

郭玉珊¹, 耿玉清¹, 张艳², 张琳琳²

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 沃德兰特(北京)生态环境技术研究院有限公司, 北京 100080)

摘要: [目的] 探讨 EN-1 固化剂对土壤抗崩性的影响, 为固持河岸边坡提供理论依据。[方法] 应用室内静水崩解试验, 研究添加 EN-1 固化剂比例为 0(素土), 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% 和 0.30% 水平时, 分别在压实度 0.85, 0.90 和 0.95 状态下, 养护 3, 7 和 15 d 的崩解量和崩解速率。[结果] 在试验设计的 EN-1 固化剂掺入量、养护龄期和压实度范围内, 随 EN-1 固化剂掺入量的增加、养护龄期的延长和压实度的增大, 固化土的崩解量较素土显著减小。[结论] 从固化剂的有效利用率和经济的角度考虑, 当 EN-1 固化剂掺量为 0.20% 时, 养护龄期为 7 d 及以上时, 压实度为 0.90 及以上时抗崩解固土性能较好。

关键词: EN-1 固化剂; 抗崩性; 崩解试验; 崩解量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0214-04

中图分类号: S152.4, S157.9

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20150601.001

Effects of EN-1 Stabilizer on Soil Anti-collapse Ability

GUO Yushan¹, GENG Yuqing¹, ZHANG Yan², ZHANG Linlin²

(1. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Water-Land (Beijing) Environment Technology Institution, Beijing 100080, China)

Abstract: [Objective] To measure the effect of EN-1 soil stabilizer on soil anti-collapse ability in order to provide the theoretical basis for immobilizing the bank slope. [Methods] By utilizing indoor disintegration experiments in static water, disintegration amount and disintegration rate were studied under certain conditions which included the proportion of EN-1 soil stabilizer at 0 (pure soil), 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, and 0.30%, the compactness at 0.85, 0.90, and 0.95, and the maintaining period during 3 d, 7 d, 15 d, respectively. [Results] Solidified soil disintegration amount decreased significantly compared with pure soil along with the increasing amount of EN-1 stabilizer and maintaining period which were designed in experimental scheme. [Conclusion] With the view of the effective utilization rate and economy, soil-reinforcement is significant when the appropriate proportion of stabilizer was 0.20%, the maintaining period was at least 7 days, and the compactness was no less than 0.90.

Keywords: EN-1 soil stabilizer; soil anti-collapse ability; disintegration experiment; disintegration amount

水土流失是目前最严重的生态环境问题之一。实施水土保持措施是防治水土流失、恢复良好的生态环境的重要途径^[1]。土壤崩解是指土块进入水后, 由于土壤胶体物质分解, 使土粒间失去黏结力进而引起土块的结构破坏或塌落的现象, 是衡量土壤水土保持特性的一个重要指标^[2]。减少土体崩解是减少水土流失的一个重要途径^[3]。采用土壤改良剂已成为改良土壤性质, 提高土壤结构体的稳定性, 降低土壤侵蚀量的重要技术手段^[4-6]。路邦 EN-1 固化剂是一种在浓缩状态下无挥发性, 有强烈刺激性酸味, 不燃烧, 有腐蚀性, 且溶于水的酱黑色酸性液体, 经稀释后则

是无毒, 无公害, 无污染, 不破坏生态环境的高分子复合材料。在土壤中加入适量的 EN-1 固化剂, 促使土壤中的矿物质和土壤分子分解并重新结晶形成金属盐, 同时可胶结土粒, 填充土壤孔隙, 增强土壤颗粒之间的粘聚力, 进而保持土壤的持久稳定^[7]。EN-1 固化剂主要应用于道路交通, 近年来作为一种土壤改良剂在黄土固持作用方面开展了研究^[8]。其研究结果表明: 适量的 EN-1 固化剂可提高土壤颗粒间的联聚力, 增强土壤结构体的稳定性, 促进植物的生长等^[9-11]。

河岸带是指高低水位之间的河床以及高水位之

收稿日期: 2014-05-07

修回日期: 2014-07-21

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“漓江流域水陆交错带生态修复关键技术与示范”(2012 BAC16 B03)

第一作者: 郭玉珊(1988—), 女(汉族), 天津市宝坻区人, 硕士生, 研究方向为土壤生态。E-mail: 842899109@qq.com。

通信作者: 耿玉清(1965—), 女(汉族), 河北省衡水市人, 博士, 副教授, 主要从事土壤生态及管理方面的研究。E-mail: gengyuqing@bjfu.edu.cn。

上直至河水影响完全消失为止的地带^[12]。因水冲刷引发的河岸带土壤流失,不仅影响水体质量,而且也影响植被恢复及河岸带景观。如何提高河岸带土壤固土性能,减少土壤流失是生态环境领域急切探讨的课题。由于固化剂固土效果受土壤性质如土壤颗粒大小、胶体类型和土壤类型的影响^[13],对黄土地区固持土壤的研究结果是否适合漓江河岸带的土壤,目前还未见相关研究。本研究通过进行室内试验,研究添加不同 EN-1 固化剂掺入量在不同养护龄期和压实度情况下土壤抗崩解性能的变化,探求 EN-1 固化剂的合理使用方法,可为固持河岸边坡的有效技术或途径提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自广西省桂林市冠岩县潜经村漓江河岸带,地理坐标为 E110°25'57",N25°07'00"。该地属中亚热带湿润季风气候区,全年光照充足,平均气温 17.8~19.1℃,年降雨量 1 814~1 941 mm,年蒸发量 1 377~1 857 mm,雨热基本同期^[14]。按中国土壤分类系统,该区域地带性土壤类型为红壤。但在河岸带由于地形破碎,经过江水的持续冲刷以及土壤的淤积,土层厚度分布不均,土壤性质有一定的改变。供试土壤的基本理化性质见表 1。供试的 EN-1 固化剂,购买于珠海路邦路基工程有限公司(<http://www.lb9000.com>)。

表 1 供试土壤基本理化性质

风干含水率/%	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH 值	颗粒组成/%			土壤质地
			砂粒	粉粒	黏粒	
2.8	19.85	7.33	70.32	14.05	15.63	砂壤土

1.2 试验设计

本试验采用 3 因素全组合试验方法,设计 EN-1 掺入量、压实度和养护龄期 3 个处理。其中 EN-1 掺入量,设 0(为空白试验,以下称素土),0.05%,0.10%,0.15%,0.20%和 0.30%共 6 个水平;压实度(以干密度/最大干密度比值计算)设 0.85,0.90 和 0.95 共 3 个水平;养护龄期设 3,7,15 d 共 3 个水平。每个水平进行 3 次重复。

1.3 崩解试验的方法

1.3.1 制样前的准备 为保持最优的固化性能,首先测定供试土壤的最优含水率及最大干密度:本试验采用 2.5 KG 轻型击实仪(上海宏洲试验仪器有限公司),单位体积击实功约为 592.2 kJ/m³,做击实试验^[15]。试验前将土壤混匀风干使其通过 5 mm 筛。

在击实试验时,把土壤分 3 层,每层 25 击。以土壤含水率(质量比)为横坐标,干密度为纵坐标,绘制土壤含水率—干密度曲线,曲线峰值点对应的横坐标为最优含水率,纵坐标则为最大干密度(见图 1)。由图可知,供试土壤的最大干密度为 1.71 g/cm³,最优含水率为 18%。为确保土壤达到最优含水率,依据供试风干土的含水率,计算并量取应添加的水量。

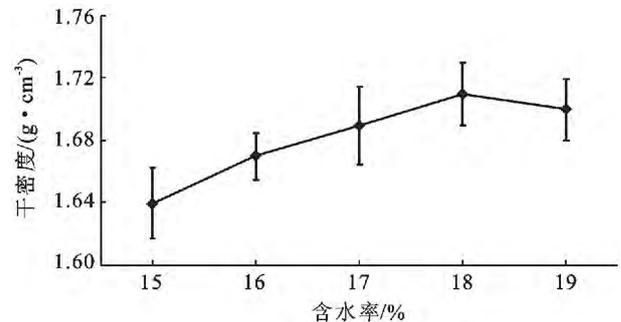


图 1 土壤最大干密度和最优含水率的关系

1.3.2 制样与养护 依据 EN-1 固化剂掺入量,在已量取的水中加入相应比例的固化剂,搅拌均匀后用撒壶分层撒入土中,混合均匀后静置于塑料袋中,密封 24 h,使土壤水分分布均匀。依据不同的压实度制备土样。计算不同压实度下,应称量混有固化剂的土壤重,以静力压力法将土壤压入长宽高均为 5 cm 的特制铝盒中,然后把塑料布盖在铝盒表面,在室内条件下养护。

1.3.3 崩解量和崩解速率的测定 采用土壤静水崩解法,即通过测定固化土在静水中的累计崩解量和崩解速率,比较土壤的抗崩性能的大小^[16]。将养护好的土样铝盒置于底部打有小孔,并附有一层滤纸的容器中,容器放于盆中。向盆中加水至水面距离铝盒上沿 1 cm 处,水从容器底部小孔自下而上浸润固化土 12 h 直至达到饱和。将饱和的固化土从铝盒中原状取出,放置在边长为 5 cm,孔径为 1 cm 的金属网板上,且网板上垫有孔径为 0.3 cm,边长为 5 cm 的网线(以防金属网板孔径过大,土块因重力作用掉落)。用拉力计将其挂起,迅速置于静水中,同时启动秒表并记录拉力计读数。该读数作为浸水瞬间未崩解时固化土重。分别记录 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30 min 时拉力计读数。崩解量为土样浸水后某一时间段内崩解掉的土粒总量。崩解速率为土样浸水后单位时间内崩解掉的土粒重。

2 结果与分析

2.1 EN-1 固化剂掺入量对土壤抗崩性的影响

将不同掺入量的 EN-1 固化剂添加到土壤中,在

土壤压实度为 0.95 的条件下养护至相应天数,对其进行抗崩试验获得的土壤崩解量的结果见表 2。从表中可以看出,加入不同掺入量的 EN-1 固化剂后,在 30 min 内的土壤崩解量均较素土显著减少($p < 0.05$),减少的幅度为 4.5%~87.8%。在养护龄期一定时,崩解量随着 EN-1 固化剂掺入量的增加而减小,当掺入量继续增加到 0.20% 时,崩解量变化趋于稳定。以养护 7 d 为例,掺入量为 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% 和 0.30% 时,土壤崩解量比素土分别减少了 8.4%, 18.9%, 39.8%, 84.3% 和 87.2%。其中掺入量为 0.05%, 0.10% 和 0.15% 时,土壤崩解量显著性达到显著水平,当掺入量为 0.20% 和 0.30% 时,土壤崩解量差异未达到显著水平,也就是说当掺入量达到 0.20% 以上时,固化剂的效果趋于稳定状态。目前对添加 EN-1 固化剂后土壤抗崩解情况的研究较少。但对添加 EN-1 固化剂(0, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.15% 和 0.20%) 后土壤抗蚀性能的研究结果表明,当 EN-1 固化剂在土壤中的掺量为 0.15% (0—100 cm 壤土和 0—30 cm 黄绵土) 或 0.20% (30—100 cm 黄绵土) 时,土壤的抗蚀能力最强^[5]。这与我们的研究结果比较接近。掺入 EN-1 固化剂后,不同程度的影响了土壤的水稳性团聚体含量和土壤结构体稳定性。因此,固化土的抗崩性能增强。

表 2 固化剂掺入量对土壤崩解量的影响

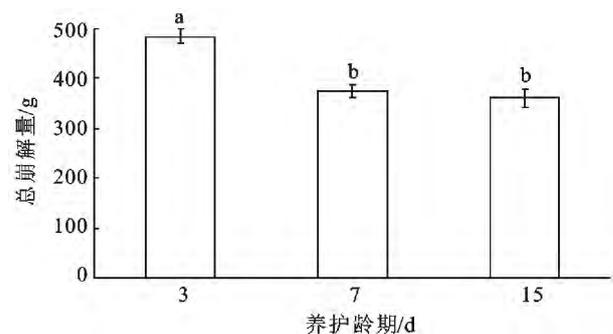
固化剂 掺量/%	不同养护龄期崩解量/g		
	3 d	7 d	15 d
0.00	120±1.38 ^a	120±0.61 ^a	120±0.85 ^a
0.05	93.19±2.07 ^b	88.56±2.6 ^b	84.37±2.85 ^b
0.10	86.3±1.45 ^c	78.45±3.75 ^c	75.23±4.81 ^b
0.15	76.8±1.40 ^d	58.24±4.89 ^d	53.57±11.55 ^c
0.20	54.49±4.42 ^e	15.21±3.03 ^e	14.49±1.99 ^d
0.30	51.49±5.92 ^e	12.36±2.83 ^e	11.74±1.87 ^d

注:同列不同小写字母表示相同养护龄期下不同固化剂掺入量处理间差异显著($p < 0.05$)。

2.2 养护龄期对土壤抗崩性的影响

在土壤压实度为 0.95 的条件下,对不同养护天数,添加不同掺入量的 EN-1 固化剂所测定的崩解量数据进行加和,结果如图 2 所示。从图 2 可知,在养护龄期不同时,总的土壤崩解量随养护龄期的延长而逐渐减小。养护龄期由 3 d 延长到 7 d, 15 d 时,总崩解量减少的比例分别为 22.7% 和 25.5%。以养护龄期 3 d 相比,养护龄期 7 d 时的总土壤崩解量的差异达到显著水平;而养护龄期为 7 d 与 15 d 总土壤崩解量差异不显著。这说明养护龄期在 7 d 时,土壤抗崩解的效果比较理想。目前有关养护龄期抗崩解的研

究不多。但对添加 EN-1 固化剂后不同养护龄期(7, 14, 21 和 28 d)土壤饱和导水率的研究表明,随着固化土养护龄期的增加,土样的饱和导水率下降明显,当培养期大于 14 d 时,土样的饱和导水率近似为 0^[13]。本文研究结果与上述结果有一定的差异。张丽萍等^[17]对添加 SSA 固化剂在 1, 4, 7 和 15 d 后固化土的渗透系数研究表明,随养护龄期的延长渗透系数减小。建议在实际应用中,养护龄期至少 7 d 以上。这一结果与我们的研究比较接近。土壤中加入一定量的 EN-1 固化剂后,随着养护龄期的延长土壤抗崩解性能提高的原因是随着时间的增加,固化剂与土壤颗粒反应较充分,但这种反应是有时间限制的,并不是养护龄期越长,效果增长的越显著。

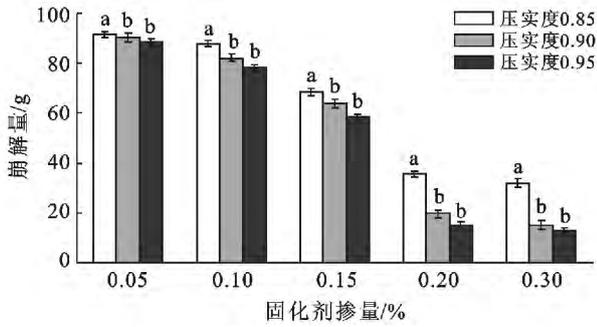


注:不同小写字母表示不同养护龄期下处理间差异显著($p < 0.05$)

图 2 养护龄期对土壤总崩解量的影响

2.3 压实度对土壤抗崩性的影响

将不同掺入量的 EN-1 固化剂添加到土壤中,制备不同压实度的固化土土样。以 7 d 为例,土壤养护 7 d 后对其进行抗崩试验,结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,土壤添加不同比例 EN-1 固化剂,养护 7 d 后,固化土进行抗崩试验时,崩解量均随压实度 η 的增大而减小。在各个 EN-1 固化剂掺量下,压实度为 0.90 和 0.95 时的崩解量与 0.85 相比,崩解量均差异显著,压实度为 0.90 和 0.95 时,崩解量差异未达到显著水平。养护时间在 3 d 和 15 d 时也表现出类似的规律。苏涛对添加 EN-1 固化剂后砒砂岩固化土的抗剪强度进行了研究。研究结果表明抗剪强度随压实度的增大而增大,压实度为 0.80 和 0.85 时与压实度为 0.90 和 0.95 时处理间有显著差异^[18]。我们认为压实度能提高固化土抗崩性能的现象,与压实度增大后,土壤颗粒间的空隙减小,作用面积增加,固化剂与土壤的反应更快更充分,土壤颗粒表面的相互作用力更强有关^[19]。由于土粒之间作用力增强,在用水浸泡固化土时,固化土的结构就不易被破坏,固化土的崩解量也就相应减少。



注:不同小写字母表示相同养护龄期下不同压实度处理间差异显著 ($p < 0.05$)

图 3 在各种固化剂掺量下,不同压实度对土壤崩解量的影响

2.4 EN-1 固化剂掺入量、养护龄期与压实度对土壤崩解速率的影响

土壤崩解速率反映土体在水中发生分散的能力,决定给径流携带提供松散物质的多少。土壤固化后崩解时间及崩解速率结果见表 3。从试验结果来看,在压实度为 0.85,养护龄期为 3,7 和 15 d 时,素土分别在 7,8 和 8.5 min 内就崩解完毕,崩解速率分别为 17.14,15 和 14.12 g/min。随着固化剂掺入量的增加,崩解时间显著延长,崩解速率逐渐减慢。如在养护 7 d 时,掺入量为 0.05% 时的崩解速率为 3.05 g/min,其崩解速率是掺入量为 0.3% 时的近 3 倍。在压实度为 0.90 和 0.95 时,但在不同养护龄期不同的 EN-1 固化剂掺入量对土壤崩解速率变化的影响与此表相似(未完全列出所有测定数据)。

表 3 土壤在不同固化剂掺入量和不同养护龄期时的崩解速率

压实度	养护龄期/d	固化剂掺量/%	崩解时间/min	崩解速率/(g · min ⁻¹)
0.85	3	0	7	17.14
		0.05	30	3.21
		0.10	30	3.08
		0.15	30	2.87
		0.20	30	2.45
		0.30	30	2.06
	7	0	8	15.00
		0.05	30	3.05
		0.10	30	2.94
		0.15	30	2.29
		0.20	30	1.91
		0.30	30	1.06
	15	0	8.5	14.12
		0.05	30	2.95
		0.10	30	2.71
		0.15	30	2.08
		0.20	30	1.06
		0.30	30	0.91

3 结论

(1) 添加 EN-1 固化剂后,能有效提高土壤的抗崩性。随着 EN-1 掺入量的增大和养护龄期的延长,EN-1 固化土的崩解量较素土有显著的减小。但并不是 EN-1 掺入量越大,养护龄期越长,固化土的抗崩能力越好,当掺入量超过 0.20%,养护龄期超过 7 d 时,固化土崩解量减小的不显著。因此,从固化剂的有效利用率和经济的角度考虑,建议固化剂掺入量为 0.20%,养护龄期为 7 d 及以上。

(2) 添加 EN-1 固化剂后,土壤的崩解量随压实度的增大而减小,压实度为 0.90 与 0.95 时,二者崩解量差异不显著,因此,建议使用中压实度控制在 0.90 及以上。

(3) 固化土的崩解速率随 EN-1 固化剂掺入量的增加、养护龄期的延长和压实度的增大,其崩解速率均减小。

由于所做试验有限,不同 EN-1 固化剂掺入量的研究与土壤性质有关。由于河岸带土壤性质空间变化较大,建议选择更多的土壤样本开展研究。

[参 考 文 献]

[1] Nunes A N, De Almeida A C, Coelho C O A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portuga[J]. *Applier Geography*, 2011, 31(2):687-699.

[2] 邹翔,张平仓,陈杰.小江流域土壤抗崩性试验研究[J].*水土保持研究*,2008,15(1):244-246.

[3] 依艳丽.土壤物理研究法[M].北京:北京大学出版社,2009:79-80.

[4] 吴淑芳,吴普特,冯浩.高分子聚合物对土壤物理性质的影响研究[J].*水土保持学报*,2003,23(1):42-45.

[5] 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.

[6] Liu Jin, Shi Bin, Jiang Hongtao, et al. Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers [J]. *Catena*, 2009, 77 (3): 175-179.

[7] 刘月梅,张兴昌. EN-1 对黄土性固化土水分垂直入渗特征的影响[J].*农业机械学报*,2012,43(11):65-73.

[8] 单志杰.离子固化剂加固黄土边坡机理研究[D].陕西杨凌:中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心,2010.

[9] 张丽萍,张兴昌,孙强. EN-1 固化剂加固黄土的工程特性及其影响因素[J].*中国水土保持科学*,2009,7(4):60-65.

[10] 张丽萍.黄土边坡坡面稳定及防治技术研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.

(下转第 221 页)

径流与降水年际变化如图 2b 所示, 降水量和径流量年际变化趋势一致, 1980—1985 年降水量较小, 对应的径流量也较小, 1984 年汛期降雨量较大, 径流量也大, 并引发了白龙江流域的大洪水。由此可以看出 HBV 水文预报模型很好的模拟出了洪水对降水的响应过程。

表 4 HBV 模型模拟效果

时期	观测平均	模拟平均	R^2	E_{ns}
率定期(1973—1975 年)	181.85	125.78	0.74	0.65
验证期(1977—1985 年)	144.46	108.96	0.70	0.60

注: R^2 为确定性系数; E_{ns} 为效率系数。

4 结论

(1) HBV 模型在白龙江武都水文站以上流域具有较好的适用性, 模型率定期和验证期的 Nash—Sutcliffe 效率系数均在 0.6 以上, 模拟效果比较理想, 能较好的模拟出径流变化特征。

(2) 由于受气象站点数量与分布的限制, 模型对径流模拟存在局限性, 模拟径流偏小, 因此应用 HBV 模型需尽可能多地增加流域内雨量点密度, 提高降水插值精度。

(3) 模拟径流与降水量年际变化趋势相对应, 说明 HBV 模型可以较好地模拟洪水对降水的响应过

程, 因此可进一步用于研究气候变化对白龙江流域水资源的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 向亮, 刘学锋, 郝立生, 等. 未来百年不同排放背景下滦河流域径流特征分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 861-866.
- [2] 顾万龙, 竹磊磊, 许红梅, 等. SWAT 模型在气候变化对水资源影响研究中的应用: 以河南省中部农业区为例[J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 395-400.
- [3] 高红凯, 何晓波, 叶柏生, 等. 1955—2008 年冬克玛底河流域冰川径流模拟研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(1): 171-181.
- [4] Bergström S. The HBV model [M] // Singh V P. Computer Models of Watershed Hydrology. Little Town, Colorado, USA: Water Resources Publications, 1995: 443-476.
- [5] 赵彦增, 张建新, 章树安, 等. HBV 模型在淮河官寨流域的应用研究[J]. 水文, 2007, 27(2): 57-60.
- [6] 靳晓莉, 张奇, 许崇育. 一个概念性水文模型的参数区域化研究: 以东江流域为例[J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 723-732.
- [7] 赵艳萍, 宁娜, 齐识. 白龙江流域近 40 a 气候变化特征分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(10): 41-43.
- [8] 尹道举. 白龙江流域暴雨洪水特性[J]. 西北水电, 1992(4): 21-24.
- [9] 赵万奎, 张富, 安平山. 甘肃白龙江流域水土流失成因分析及治理对策[J]. 甘肃科技, 2013, 29(20): 5-7.
- [10] 王有恒, 李强, 王冬梅, 等. 白龙江流域不同土地利用类型间分异规律[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 121-128.
- [11] 刘月梅, 张兴昌. EN-1 固化剂、N 肥与土壤体积质量对黑麦草生长及水分利用效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2014, 42(1): 1-8.
- [12] Nilsson C, Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation[J]. Bioscience, 2000, 50(9): 783-793.
- [13] 丁小龙, 张兴昌, 窦晶晶. EN-1 固化剂对 4 种土壤饱和和导水率的影响研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 132-134.
- [14] 李扬, 王冬梅, 信忠保. 漓江水陆交错带植被与土壤空
- [15] 谢小妍. 土力学[M]. 北京: 农业出版社, 2006: 26-28.
- [16] 王健, 刘旦旦, 张鹏辉. 土壤密度对土壤抗侵蚀性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 65-68.
- [17] 张丽萍, 张兴昌, 孙强. SSA 土壤固化剂对黄土击实、抗剪及渗透特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 45-49.
- [18] 苏涛, 张兴昌, 王仁君. EN-1 对砒砂岩固化土抗剪强度特征的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 86-91.
- [19] 张丽萍, 张兴昌, 孙强. 2 种离子固化剂改善黄土抗剪强度和抗渗性的研究[J]. 节水灌溉, 2009(5): 35-38.

(上接第 217 页)