

DOI: 10.11766/trxb201710160189

黄麻纤维加筋崩岗岩土的无侧限抗压强度研究*

杨彩迪¹ 卫杰¹ 张晓明^{1,2†} 黄新梁¹ 周春辉¹ 牛玉华¹

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

(2 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

摘要 为深入了解黄麻纤维加筋崩岗岩土在增强崩岗抗压强度和um提高其稳定性的作用机理, 采用两因素随机区组设计试验研究了筋土复合体的应力-应变及无侧限抗压强度特性, 探讨了黄麻纤维不同数量、不同分布方式下的筋土抗压强度。结果表明: 崩岗的四层土体分别具有不同的最优加筋条件, 即黄麻纤维数量和分布方式不同, 且四层土体最优加筋条件下的无侧限抗压强度分别较未加筋土样提高7.97%、19.24%、15.35%、42.88%。最优加筋条件下淀粉处理黄麻纤维的研究表明: 纤维经过淀粉处理养护不同时间后, 四层筋土复合体的抗压强度与养护时间达到了显著相关, 分别在养护时间的7、7、5、3d后达到最大, 分别提高14.45%、15.07%、8.90%、8.07%。崩岗侵蚀预防和治理时分层修复的新思路将为崩岗区侵蚀防治工作的开展提供重要的科学依据。

关键词 崩岗; 筋土复合体; 黄麻纤维; 无侧限抗压强度; 淀粉处理

中图分类号 S152.9; TU411.6 **文献标识码** A

纤维加筋是一种新型的土体改良技术, 主要是指按照一定比例将纤维丝或纤维网均匀掺入土体中以提高土体的力学性能^[1], 近年来吸引了国内外许多学者的兴趣, 并开展了大量的研究。张小平和施斌^[2]通过加筋膨胀土的试验研究表明黏聚力和内摩擦角随纤维含量的增加先增大后减小。刘兴东等^[3]通过研究墙面纤维砂浆抹灰对砌体抗剪强度的影响得出, 掺入合适数量纤维的砂浆抹面能显著提高砌体通缝抗剪强度, 砂浆中纤维的掺入可有效延缓砌体表面裂缝的形成并改善剪切破坏的岩性。梁永哲等^[4]的研究表明, 外掺植物纤维可显著提高冻融作用下植被混凝土的抗剪强度。施利国等^[5]通过对聚丙烯纤维加筋灰土的三轴强度特

性研究表明, 聚丙烯纤维加筋灰土的峰值偏应力和抗剪强度均较普通灰土有不同幅度的提高。吴燕开等^[6]得出剑麻纤维在黏性土中含量为0.4%时, 黏聚力可提高61%, 且随纤维含量的增加, 内摩擦角会有所增加。同时Adili等^[7]得出纸莎草纤维在含量为10%时, 也能够极大地提高砂质粉土的内聚力和内摩擦角。Weerasinghe和Hyde^[8]通过无黏性土中随机掺入聚酯纤维, 其抗剪强度和残余剪切强度均能提高; 在含黏土的均质密实砂中掺入随机分布的聚丙烯纤维, 其内摩擦角和黏聚力也均提高。Yetimoglu和Salbas^[9]研究表明, 聚丙烯纤维加筋可以增大砂土的残余抗剪强度。Harianto等^[10]研究表明纤维的拉筋作用可以降低压实试样的体积收缩应

* 国家自然科学基金项目(41771307、41201271)、华中农业大学“国家级大学生创新创业训练计划”项目(105042016015)和华中农业大学“大学生科技创新基金”项目(SRF)(2016076)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41771307、41201271)、the Program of Innovation and Entrepreneurship Training for University Students of Huazhong Agricultural University (No. 105042016015) and Students Research Fund of Huazhong Agricultural University (No. 2016076)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zxm_huanong@mail.hzau.edu.cn

作者简介: 杨彩迪(1995—), 女, 山西运城人, 农业资源与环境专业水土保持方向。E-mail: hzau_yangcaidi@163.com

收稿日期: 2017-10-16; 收到修改稿日期: 2017-12-11; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-04-11

变和表面裂隙数量。同时Miller和Rifai^[11]得出聚丙烯纤维在压实黏土衬垫材料中的掺量达到0.8%时,能减少约90%的裂隙。以上学者研究了不同土体与聚丙烯纤维、聚酯纤维等组成筋土复合体的力学特性关系。但是目前国内外学者利用黄麻纤维加筋崩岗岩土 of 的无侧限抗压强度研究却鲜有报道。

崩岗是指山坡土体或岩石风化壳在水力和重力作用下分解、崩塌和堆积的侵蚀现象,是水土流失的一种特殊形式,尤以花岗岩风化壳形成的崩岗最为发育,危害程度大且难于治理^[12]。崩岗侵蚀损毁和淤埋农田,淤塞河库渠道,破坏水利设施,加剧干旱和洪涝灾害,造成区域生态环境恶化^[13-14]。因此,考虑通过黄麻纤维加筋崩岗岩土以应对上述问题。由于黄麻纤维具有廉价、吸湿性能好、散水快、可再生、可生物降解、绿色环保等优势^[15],使其成为代替化学纤维的良好生物材料。同时将可溶性淀粉制成淀粉糊,利用其良好的凝胶、吸附和封闭性能^[16],在一定程度上可增强黄麻纤维的固土力学性质。

本文通过对黄麻纤维加筋崩岗岩土的无侧限抗压强度试验研究,从而定量评价黄麻纤维加筋崩岗岩土不同形式下的固土效应,为崩岗不同层次土体的针对性治理提供了一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于湖北省东南部的咸宁市通城县,湘、鄂、赣3省交界处,该区崩岗侵蚀数量为1 102处,接近湖北崩岗总数1/2,且崩岗剖面发生层次完整,因此在通城地区开展崩岗研究工作具有很强的代表性。全县四季分明,属亚热带季风气候,光照适中,气候温和。年平均气温16.7℃,年平均降雨量1 513 mm,无霜期260d,多年平均径流深795 mm。取样地位于通城县五里镇五里社区(116° 46' 26" E, 29° 12' 39" N),属于崩壁仍处在侵蚀后退中的活动型崩岗,海拔高度为142 m,土壤类型为棕红壤,结构松散,主要植被有铁芒萁、马尾松等,覆盖度为45%。

1.2 样品采集与分析

2014年8月20日在通城县五里社区选择一处典

型瓢型崩岗,崩岗面积为126 m²,侵蚀沟1条,沟口宽2.9 m,沟道长17 m,崩壁高9 m。将侵蚀区崩壁处的新鲜土壤按颜色特征(从红至白)由上至下按不同深度(0.17、0.49、3.5、3.9 m)分为淋溶层A、黏化层Bt、淀积层B、母质层C。用环刀(20 cm² × 5 cm)在4层土壤中部分别取原状土,将采样后的环刀试件迅速放入塑封袋内密封保存,并在4层土壤最典型的中部分别采取代表性土壤约1 kg,放在搪用。对其理化性质分别采用以下方法测定:烘干法测定土壤质量含水量,环刀法测定土壤容重,吸管法测定土壤颗粒组成,重复3次。试验中使用的黄麻纤维为江西思创麻业有限公司生产的黄麻土工布,制成纤维状备用,直径为1.5 cm。淀粉取自市场上购买的优质淀粉,使用时加水(淀粉:水=1:3)在电炉上加热,并顺一个方向搅拌,直至变成透明糊状的淀粉糊备用。

1.3 试验设计

考虑黄麻纤维数量和分布方式2个因素,设计两因素随机区组试验,各因素考虑3个水平,即纤维数量:1根、3根、5根;纤维分布方式:水平分布、垂直分布和复合分布。分别对崩岗四层土体进行9种组合的无侧限抗压强度试验(表1),筛选出4层土体各自的最优加筋条件。

表1 两因素随机区组设计试验

分布方式 Distribution	筋材数量 Reinforced quantities		
	1(A1)	3(A2)	5(A3)
水平分布(B1) Horizontal distribution	√	√	√
垂直分布(B2) Vertical distribution	√	√	√
复合分布(B3) Complex distribution	√	√	√

在此基础上对最优加筋条件的黄麻纤维进行淀粉处理,设计不同的养护时间:0、3、5、7 d(表2),按时测定筋土复合体的无侧限抗压强度。测定无侧限抗压强度使用YYW-2型应变控制式无侧限压力仪(南京土壤仪器有限公司生产),仪器的主要指标为:量力环系数0.24 kN mm⁻¹,速率2.4 mm min⁻¹,最大测力0.6 kN。

表2 最优加筋条件下淀粉处理黄麻纤维养护试验设计

Table 2 Designing of the tests of starch treatment and curing for optimal effect of jute fiber reinforcement

土壤层次 Soil layers	养护时间 Processing time			
	0d	3d	5d	7d
淋溶层 ^① A	√	√	√	√
黏化层 ^② Bt	√	√	√	√
淀积层 ^③ B	√	√	√	√
母质层 ^④ C	√	√	√	√

①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer

1.4 试样制备与计算

采用三轴仪饱和器(Φ39.1 mm×80 mm)按设计质量含水量200 g kg⁻¹、容重1.35 g cm⁻³(此值为野外实地调查较常见的含水量和密度)制备重塑土试样,计算得到每个试样需干土129.6g,蒸馏水25.92 ml。将所取土样平铺于不吸水的盘内,用喷雾设备喷洒量取的蒸馏水,充分搅拌,用保鲜袋密封并置于保湿缸内24 h备用,使土体中水分均匀分布。

由于受试样规格的限制,控制水平纤维2股,长度为3.5 cm,分别放置在距离土柱两端2 cm的位置;垂直纤维1股,长度为7 cm,放置在土柱中间;复合纤维为1股,长度为7 cm的垂直纤维和2股长度为3.5 cm的水平纤维的组合(试验中每股分别为黄麻纤维数量的3个水平:1根、3根、5根)。水平分布时,试样共分4层装置,每层土体质量为总质量的1/4,在第一层和第三层击实完毕后分别放置1股长3.5 cm的黄麻纤维;垂直分布时,试样分5层装置,其中前3层土样装置和水平分布时相同,为保证7 cm的垂直纤维处于整个试样(高8 cm)的中部,将第四层土样分成3/4份和1/4份分别夯实,装完3/4份后使用略小于纤维直径的铁丝在试样中部打孔,放置垂直纤维并压实剩余的1/4份土样;复合分布时,试样分为5层土样,综合水平分布和垂直分布的制备方式进行(纤维分布具体情况见图1)。装样时将土样充分搅拌后倒入制样器并锤击,使土粒相对密实;每装完一层先用直尺测量其高度,并用锤击实来保证每层高度达到设计高度,将每层表面打毛直至最后一层,保证土样为

一个均匀整体。淀粉处理纤维后的试样制备时,将最优加筋条件下的黄麻纤维放入淀粉糊中使其充分浸润,随后立即取出,在养护缸内分别放置0、3、5、7 d后,按照以上制样的方法进行制备,制好的试样采用YYW-2型应变控制式无侧限压力仪测定其无侧限抗压强度。

在进行测定之前,对每个样品分别用游标卡尺进行上、中、下三个部位直径的测定,以便通过求均值计算校正后试样面积A_a,并通过校正减小制样过程中的误差,保证试验结果的准确性。试验结果的计算公式及过程如下:

$$\text{轴向应变: } \varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100$$

式中,ε₁为轴向应变(%),Δh为轴向变形(mm),h₀为试样的初始高度(mm)。

$$\text{校正后的试样横断面积: } A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\varepsilon_1}$$

式中,A_a为校正后试样面积(cm²),A₀为试样初始面积(cm²)。

$$\text{试样所受的轴向应力: } \sigma = \frac{C \cdot R}{A_a} \times 10$$

式中,σ为轴向应力(kPa),C为测力计率定系数(0.24 kN mm⁻¹),R为测力计读数(0.01 mm),10为单位换算因数。

本次试验未加筋土试样12个(4层土×3次重复),纤维加筋土试样108个(4层土体×9种组合×3次重复);淀粉处理纤维试样48个(4层土×3个养护时间×3次重复),共计试样168个。

2 结果与讨论

2.1 崩岗不同层次土壤基本理化性质

从表3可以看出,崩岗4层土体的基本理化性质存在一定的规律性和特殊性。颗粒组成方面,从表格水平方向的每层土体来看,淋溶层A的黏粒、粉粒、砂粒3种颗粒的含量最为均一;黏化层Bt的黏粒含量较高,约为砂粒含量的2倍;淀积层B和母质层C的砂粒含量较高,分别约为粉粒含量的2倍和黏粒含量的2倍。从垂直方向来看,黏化层Bt

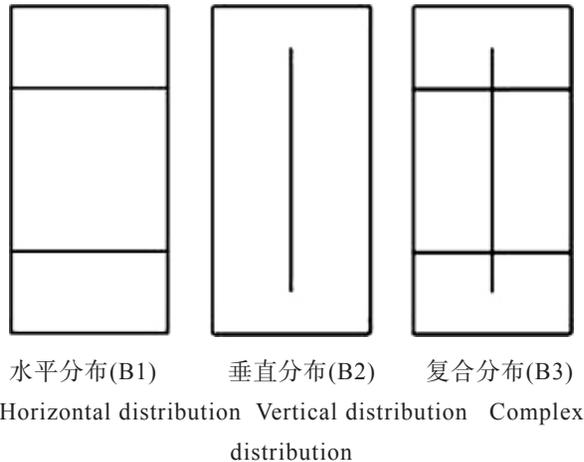


图1 无侧限抗压强度试验黄麻纤维分布方式

Fig. 1 Distribution of jute fiber in unconfined compressive strength test

至母质层C这三层土体的颗粒组成具有明显的规律性,黏粒含量逐步减小,砂粒含量逐步增大,粉粒含量先增大后减小;淋溶层A由于植物根系、土壤动物、微生物等的存在,其土体结构表现出特有的均一性。对于含水量和土壤容重,砂粒含量较高的淀积层B和母质层C均高于淋溶层A和黏化层Bt,淀积层B和母质层C的砂粒含量高使二者的土体结构非常松散,再加上雨季地表径流的入渗或者直接暴露于地表受到冲刷,在重力和水力双重作用下极易发生崩岗崩壁土体的崩塌,使崩岗发育大大加快。由此看出,在垂直方向上崩岗4层土体的颗粒组成变化与崩岗侵蚀的形成有着密切的关系,研究崩岗4层土体的分层治理具有很大的现实意义^[17]。

表3 崩岗不同层次土壤基本理化性质

Table 3 Basic physic-chemical properties of the soil relative to layer of the collapsing hill

土壤层次 Soil layers	含水量 (g kg ⁻¹) Water content	容重 (g cm ⁻³) Bulk density	黏粒含量 (%) Clay content	粉粒含量 (%) Silt content	砂粒含量 (%) Sand content
淋溶层 ^① A	20.2	1.37	38.18	29.53	32.28
黏化层 ^② Bt	24.3	1.36	45.57	31.12	23.31
淀积层 ^③ B	27.6	1.39	34.81	24.17	41.02
母质层 ^④ C	26.1	1.44	24.08	33.46	42.46

①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer

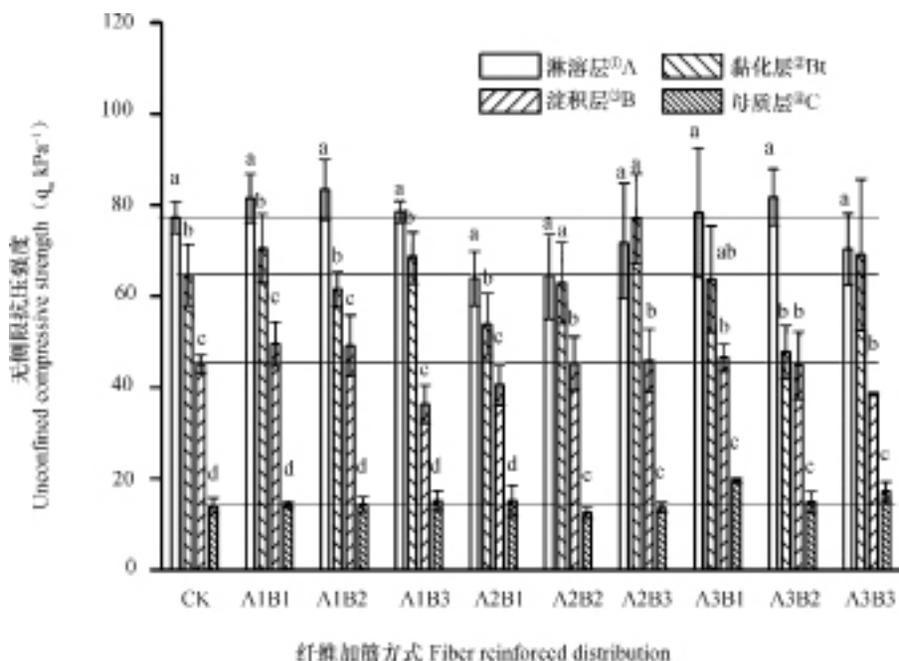
2.2 崩岗4层土体不同加筋方式的无侧限抗压强度

通过对崩岗4层土体进行两因素三水平9种组合的无侧限抗压强度试验,得出4层土体不同处理方式下试样的无侧限抗压强度。从图2可以看出,四层土体的无侧限抗压强度大致呈现以下规律:淋溶层A>黏化层Bt>淀积层B>母质层C。4层土体的最优加筋条件分别为(1)淋溶层A:A1B2,纤维数量1根,分布方式为垂直放置;(2)黏化层Bt:A2B3,纤维数量3根,分布方式为复合放置;(3)淀积层B:A1B1,纤维数量为1根,分布方式为水平放置;(4)母质层C:A3B1,纤维数量为5根,分布方式为水平放置。

对于淋溶层A和淀积层B,最优纤维数量为1根,黄麻纤维数量越多,反而降低了纤维本身对土体强度的增强效果,原因是这两层土体的黏粒、粉粒、砂粒三者的含量最为接近,黏结性也相对较高,过多的黄麻纤维反而占据了土样的大部分面

积,容易在土体内部形成薄弱区,降低了土壤颗粒之间的黏结,损坏了土壤的整体性,抵消黄麻纤维加筋对强度的增强效果;而较细的黄麻纤维可与土壤颗粒形成接触摩擦力,在一定程度上提高了土体的抗压强度^[18]。对于黏化层Bt,最优纤维数量为3根,原因是这层土体黏粒含量最高,砂粒含量最低,黄麻纤维数量过少时,土体中的裂隙会绕过纤维继续发展,因此不能发挥纤维的加固作用,无法提高加筋土的抗压强度;数量过多时,同淋溶层A和淀积层B一样,会因为占据过多的土样面积而形成薄弱点,降低土体的抗压强度。对于母质层C,最优纤维数量为5根,原因是这层土体的黏粒含量最低,砂粒含量最高,土体的黏聚力很小,黄麻纤维数量过多,所占体积越大,增大纤维的锚固力,从而提高土体的抗压强度。

淋溶层A最适纤维分布方式为垂直,原因是该层土体黏粒、粉粒、砂粒含量相对均匀,且制备的土样



①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer注：不同字母表示不同处理间有显著差异。下同。横线表示对照组的无侧限抗压强度，便于不同处理间的比较 Note: Different letters indicate significant differences between treatments.

The same as below. Transverse line indicates the unconfined compressive strength of CK

图2 两因素随机区组设计试验结果图

Fig. 2 Results of the tests in line with the two factor randomized block design

中可以看到细小根系等侵入体，这些因素均会导致土体的理化性质与其他三层相比发生明显地变化，复合纤维的存在增加了土体裂隙出现的可能，水平纤维也具有一定的固土作用，但效果不如垂直分布明显。黏化层Bt最适纤维分布方式为复合，原因是该层土体黏粒含量最高，孔隙连通性较差，土粒之间黏着性较好，在适宜的数量下，水平和垂直纤维相互交织呈网状，增加了纤维和土体之间的接触面积，能最大程度增强土体的抗压强度。淀积层B和母质层C最适纤维分布方式为水平，原因是这两层土体的砂粒含量显著较高，孔隙连通性较好，土粒之间黏着性较差，当施加轴向应力时，垂直分布的纤维反而产生了一种“劈力”效果，在无侧限情况下，加速了土体的劈裂，使土体的抗压强度减小，稳定性下降^[19]。

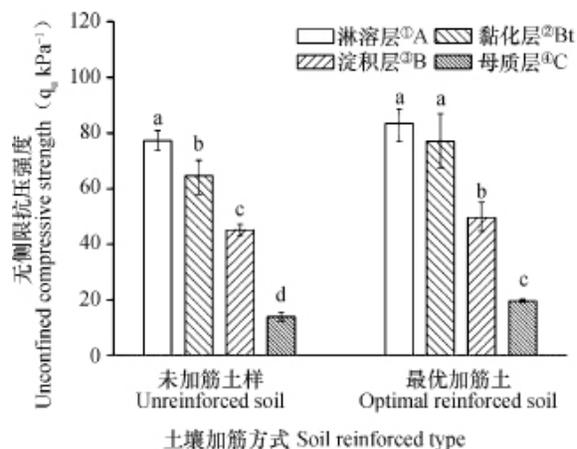
2.3 未加筋与最优加筋条件下试样的无侧限抗压强度

从图3可以看出，4层土体最优加筋条件下加筋土的无侧限抗压强度均大于未加筋土样的无侧限抗压强度。淋溶层A、黏化层Bt、淀积层B、母质层C分别提高了7.97%、19.24%、15.35%、42.88%，这说明一定的纤维数量和分布方式对于维持崩岗土体的稳定性具有一定的作用。原因是加入黄麻纤维

后，增大了土体和纤维的接触面积，土体的黏聚力增强，在一定的纤维数量和分布方式下，黄麻纤维的存在能够给土样施加很大的围压约束力，从而抵消土样局部缺陷所造成的强度损失，使抗压强度重新增加或保持不变。对比这四层土体，淋溶层A和黏化层Bt的无侧限抗压强度高于淀积层B和母质层C。这是因为淋溶层A和黏化层Bt的颗粒组成中，黏粒含量较高，因此黏聚力也较强，更加有利于发挥筋土复合体的加筋固土作用；相反淀积层B和母质层C的黏粒含量低，土粒之间由于缺乏胶结而使抗压强度降低，因此淀积层B和母质层C一旦暴露，在重力和水力的双重作用下极易加速崩岗崩壁土体的崩塌。这些现象的出现与土壤有机质含量、风化程度、试样制备的微小差异也有一定的关系。如淋溶层A黏粒含量虽低于黏化层Bt，但是其无侧限抗压强度最高，这与表土层富含有机质以及植物根系的存在有密切关系。

2.4 黄麻纤维不同养护时间和未处理的应力-应变关系曲线

从图4可以看出，未经淀粉防腐处理和处理后经过不同养护时间的崩岗4层筋土复合体在应力-应变关系曲线上呈现出一定的相似性和差异性。当



①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer

图3 未加筋与最优加筋土试样的无侧限抗压强度对比图
Fig. 3 Comparison between unreinforced soil and optimally reinforced soils in unconfined compressive strength

轴向应变为0~3%时, 轴向应力随着应变的增大呈线性增大, 且速率较其他阶段较大。应变增大至约3%, 轴向应力达到最大值, 随后轴向应力随着应变的增大逐渐减小, 在此过程中, 4层土体的轴向应力均经历了三个变化阶段: (1) 快速减小阶段。此阶段主要集中在应变为3%~5%, 即轴向应力达到峰值之后, 这是因为轴向应力达到最大值后, 继续对试样增加外部负荷会使其产生很大的形变和裂隙, 破坏土壤颗粒间的联结, 减弱试样对土壤颗粒的侧向约束力。(2) 减速减小阶段。此阶段主要集中在应变为5%~10%, 在经历快速减小阶段后, 继续施加轴向压力试样将不会产生较大裂隙, 因此轴向应力不会发生很大的变化。(3) 稳定减小阶段。此阶段主要集中在10%以上, 与第二阶段无明显的界限, 不同土体出现稳定减小的时段具有差异性。如黏化层Bt在轴向应变达到10%以上时, 其轴向应变仍有明显的衰减, 这与黏化层Bt黏粒含量最高、砂粒含量最小的颗粒组成特性有着密切的关系。

2.5 黄麻纤维不同养护时间无侧限抗压强度的变化规律

经过淀粉处理纤维养护不同时间后, 筋土复合体的无侧限抗压强度与养护时间达到显著相关(图5)。淋溶层A的无侧限抗压强度随着养护天数的增加不断提高, 在养护5d和7d后, 无侧限抗压强度分别提高0.91%和14.45%, 养护7d后抗压强度达

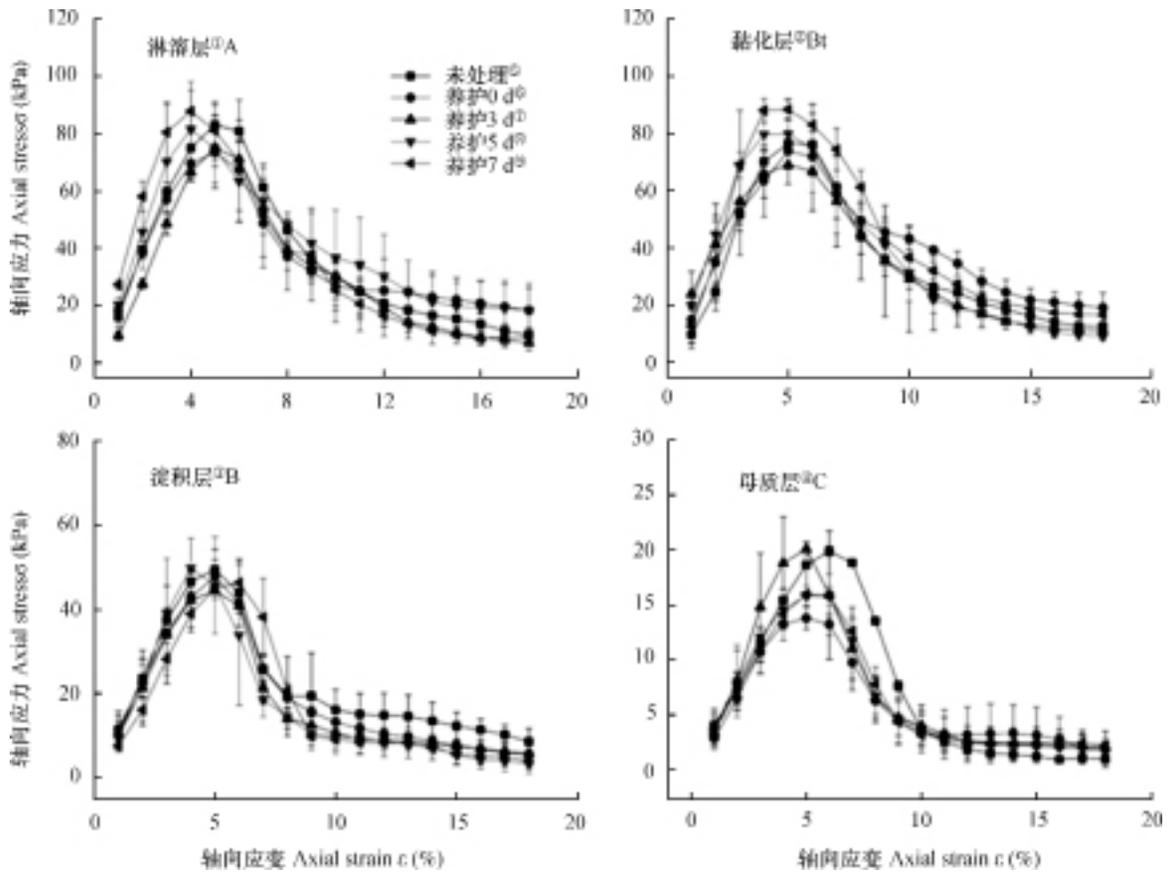
到养护时间的最大值; 黏化层Bt的无侧限抗压强度也随着养护天数的增加不断提高, 在养护5d和7d后, 无侧限抗压强度分别提高4.45%和15.07%, 养护7d后达到养护时间的最大值; 淀积层B在养护5d后无侧限抗压强度提高8.90%; 母质层C在养护3d后无侧限抗压强度提高8.07%。

之所以出现上述结果, 与不同层次土体的结构组成、最优加筋条件、不同养护时间黄麻纤维的性质变化、不同养护时间黄麻纤维与土体的接触机理有关。对于淋溶层A和黏化层Bt, 最优加筋条件分别为垂直放置和复合放置, 随着养护时间的增加, 淀粉对黄麻纤维的凝固力加强, 筋土复合体中纤维抵抗纵向压力的能力不断提高, 因此无侧限抗压强度会随着养护天数的增加而提高, 在养护7d后分别达到最大值; 在颗粒组成上, 这两层土体的黏粒含量均较高, 经过淀粉处理的纤维可与土体形成较大的接触摩擦力, 从而增大筋土复合体的抗压能力, 由于黏化层Bt的黏粒含量高于淋溶层A, 所以其最优处理下的无侧限抗压强度提高百分比更高。对于淀积层B和母质层C, 二者最优加筋条件均为水平放置, 黏粒含量低而砂粒含量相对较高, 当养护时间过短时, 黄麻纤维经淀粉处理后软化, 纤维表面难以与土体充分胶合, 从而降低了二者之间的黏聚力, 使土样在施加压力时更容易遭到破坏, 降低其整体结构的稳定性; 当养护时间过长时, 经淀粉处理的纤维过度凝固, 同样会减小与土体的黏聚力, 抗压强度有所降低; 在处理适当的时间后, 纤维与土体的胶合力达到最大, 因此分别在养护5d、3d后无侧限抗压强度达到最大。

四层土体的抗压强度分别在养护时间7、7、5、3d后达到最大, 分别提高了14.45%、15.07%、8.90%、8.07%。由此可见, 经淀粉处理养护一定时间后的纤维对于加固崩岗不同层次土体具有显著的效果, 同时又有各自特点, 这也进一步验证了崩岗预防和治理中分层修复的新思路。

3 结论

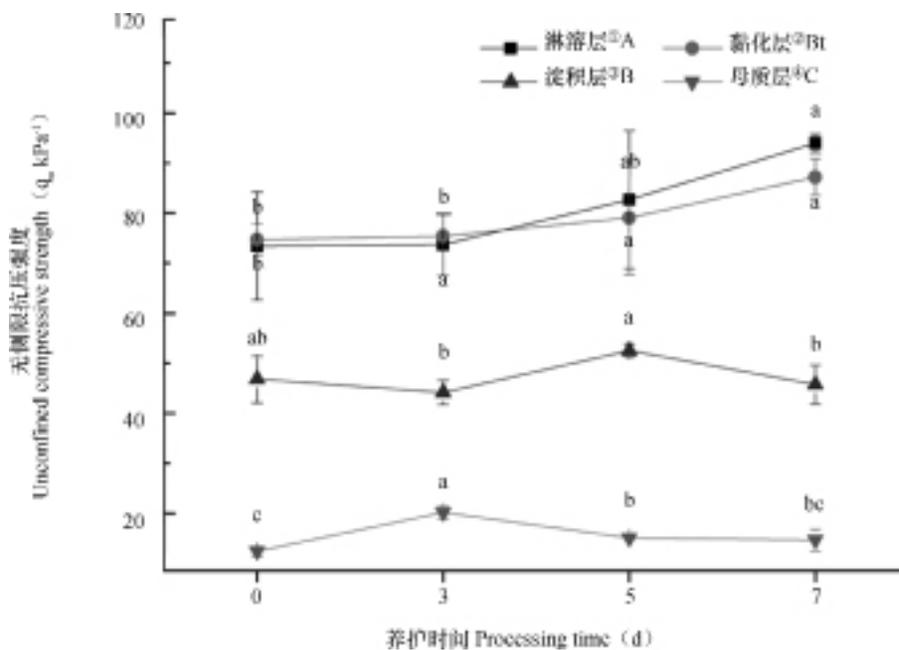
通过对崩岗4层土体进行黄麻纤维数量和分布方式2因素3水平的无侧限抗压强度试验, 得出4层土体的最优加筋条件分别为淋溶层A: A1B2, 纤维数量1根, 分布方式为垂直放置; 黏化层Bt:



①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer ⑤Untreated, ⑥Processing 0 d, ⑦Processing 3 d, ⑧Processing 5 d, ⑨Processing 7 d

图4 最优加筋条件下四层土体淀粉处理和未处理的应力-应变曲线

Fig. 4 Stress-strain curves of the four optimally reinforced soil layers as affected by starch treatment



①Eluvial layer, ②Argic layer, ③Deposition layer, ④ Parent material layer

图5 最优加筋条件下淀粉养护筋材不同时间无侧限抗压强度

Fig. 5 Unconfined compressive strength of the starch-amended and jute fiber fortified soil relative to curing time

A2B3, 纤维数量3根, 分布方式为复合放置; 淀积层B: A1B1, 纤维数量为1根, 分布方式为水平放置; 母质层C: A3B1, 纤维数量为5根, 分布方式为水平放置。4层土体最优加筋条件下纤维加筋土的无侧限抗压强度均大于未加筋土样的无侧限抗压强度。经过淀粉处理后筋土复合体的无侧限抗压强度发生了变化。4层土体的抗压强度分别在养护时间的7、7、5、3d后达到最大, 分别提高了14.45%、15.07%、8.90%、8.07%。此结果进一步表明崩岗预防和治理中分层修复的重要性。

参 考 文 献

- [1] 刘宝生, 唐朝生, 李建, 等. 纤维加筋土工程性质研究进展. 工程地质学报, 2013, 21 (4) : 540—547
Liu B S, Tang C S, Li J, et al. Advances in engineering properties of fiber reinforced soil (In Chinese). Journal of Engineering Geology, 2013, 21 (4) : 540—547
- [2] 张小平, 施斌. 加筋纤维膨胀土的试验研究. 长江科学院院报, 2008, 25 (4) : 60—62
Zhang X P, Shi B. Experimental study on reinforced fiber expansive soil (In Chinese). Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25 (4) : 60—62
- [3] 刘兴东, 李碧雄, 彭娟, 等. 墙面纤维砂浆抹灰对砌体抗剪强度的影响. 四川大学学报 (工程科学版), 2015, 47 (S2) : 97—103
Liu X D, Li B X, Peng J, et al. Impact of fiber mortar plaster layer on masonry shearing strength (In Chinese). Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2015, 47 (S2) : 97—103
- [4] 梁永哲, 陈毅, 刘大翔, 等. 外掺植物纤维对冻融作用下植被混凝土抗剪强度的影响. 水土保持通报, 2016, 36 (2) : 136—145
Liang Y Z, Chen Y, Liu D X, et al. Effect of additive plant fiber on shearing strength of vegetation-compatible concrete under freezing-thawing cycles (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, 36 (2) : 136—145
- [5] 施利国, 张孟喜, 曹鹏. 聚丙烯纤维加筋灰土的三轴强度特性. 岩土力学, 2011, 32 (9) : 2721—2728
Shi L G, Zhang M X, Cao P. Triaxial shear strength characteristics of lime-soil reinforced with polypropylene fiber inclusions (In Chinese). Rock and Soil Mechanics, 2011, 32 (9) : 2721—2728
- [6] 吴燕开, 牛斌, 桑贤松. 随机分布剑麻纤维加筋土力学性能试验研究. 水文地质工程地质, 2012, 39 (6) : 77—81
Wu Y K, Niu B, Sang X S. Experimental study of mechanical properties of soil randomly included with sisal fiber (In Chinese). Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39 (6) : 77—81
- [7] Adili A, Azzam R, Spagnoli G, et al. Strength of soil reinforced with fiber materials (Papyrus). Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2012, 48 (6) : 241—247
- [8] Weerasinghe R B, Hyde A F L. 连续纤维的加筋土. 王小军, 译. 路基工程, 1995 (6) : 83—84
Weerasinghe R B, Hyde A F L. Reinforced soil of continuous fiber (In Chinese). Wang X J. trans. Subgrade Engineering, 1995 (6) : 83—84
- [9] Yetimoglu T, Salbas O. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. Geotextiles and Geomembranes, 2003, 21 (2) : 103—110
- [10] Harianto T, Hayashi S, Du Y, et al. Effects of fiber additives on the desiccation crack behavior of the compacted akaboku soil as a material for landfill cover carrier. Water, Air, and Soil Pollution, 2008, 194 (1) : 141—149
- [11] Miller C J, Rifai S. Fiber reinforcement for waste containment soil liners. Journal of Environment Engineering, 2004, 130 (8) : 891—895
- [12] 唐克丽. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2004
Tang K L. Soil and water conservation in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004
- [13] 张晓明, 丁树文, 蔡崇法. 干湿效应下崩岗区岩土抗剪强度衰减非线性分析. 农业工程学报, 2012, 28 (5) : 241—245
Zhang X M, Ding S W, Cai C F. Effects of drying and wetting on nonlinear decay of soil shear strength in slope disintegration erosion area (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (5) : 241—245
- [14] 张晓明, 丁树文, 蔡崇法, 等. 干湿效应下崩岗区土不均匀沉降变形规律与崩壁崩坍机制. 岩土力学, 2013, 34 (S2) : 299—305
Zhang X M, Ding S W, Cai C F, et al. Mechanism of effects of wetting-drying on nonuniform settlement and caved wall collapse in slope disintegration erosion area (In Chinese). Rock and Soil Mechanics, 2013, 34 (S2) : 299—305
- [15] 杨菲, 徐山青. 黄麻/豆腐渣/淀粉复合材料的制备及其性能. 纺织学报, 2014, 35 (8) : 44—48
Yang F, Xu S Q. Preparation and properties of jute

- / soybean dregs / starch composites (In Chinese) . Journal of Textile Research, 2014, 35 (8) : 44—48
- [16] 廖卢燕, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系. 农业工程学报, 2014, 30 (15) : 332—338
Liao L Y, Wu W G. Relationship between gelatinization and gel properties of different starch and their noodles (In Chinese) . Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30 (15) : 332—338
- [17] 卫杰, 张晓明, 丁树文, 等. 黄麻纤维加筋条件对崩岗岩土无侧限抗压强度的影响. 水土保持学报, 2015, 29 (6) : 59—63
Wei J, Zhang X M, Ding S W, et al. Effects of reinforcement conditions of jute fiber on unconfined compressive strength of soil in collapsing hill (In Chinese) . Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (6) : 59—63
- [18] 张瑞敏, 王晓燕, 柴寿喜. 稻草加筋土和麦秸秆加筋土的无侧限抗压强度比较. 天津城市建设学院学报, 2011, 17 (4) : 232—235
Zhang R M, Wang X Y, Chai S X. Unconfined compressive strength comparison between saline soils reinforced with rice straw and with wheat straw (In Chinese) . Journal of Tianjin Institute of Urban Construction, 2011, 17 (4) : 232—235
- [19] 包承纲, 丁金华. 纤维加筋土的研究和工程应用. 土工基础, 2010, 26 (1) : 80—83
Bao C G, Ding J H. Researches and applications of fiber reinforced soils (In Chinese) . Soil Engineering and Foundation, 2010, 26 (1) : 80—83

Unconfined Compressive Strength of Jute-Fiber-Fortified Collapsing Hill Soil

YANG Caidi¹ WEI Jie¹ ZHANG Xiaoming^{1,2†} HUANG Xinliang¹ ZHOU Chunhui¹ NIU Yuhua¹

(1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2 Key Laboratory of Arable Land Conservation, Middle and Lower Reaches of Yangtze River of Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

Abstract 【 Objective 】 Collapsing hill is a phenomenon of slope erosion of soil or weathered rocks, collapsing and accumulating at the foot of the hill under hydraulic and gravity actions. Its harm is great in degree and hard to control. Fiber reinforcement is a new type of soil improvement technology to improve mechanical properties of the soil by amending a certain amount of fiber or fiber mesh into the soil evenly. It has, in recent years, been attracting much interest of scholars in conducting researches and experiments. But so far little has been reported on unconfined compressive strength of jute-fiber-fortified collapsing hill soil. Therefore, in this study experiments were carried out to explore mechanism of amending jute fiber into collapsing hill soil enhancing compressive strength and stability of the soil composite. 【 Method 】 In this study, the experiment was laid out in two-factor randomized block design and carried out to characterize stress-strain and unconfined compressive strength of the jute fiber- fortified collapsing hill soil composite. In the experiment, unconfined compressive strength of the composite was investigated relative to quantity and distribution of the jute fiber amended in four layers of the soil composite, i.e.. Eluvial layer A, Argic layer Bt, Deposition layer B and Parent material layer C. 【 Result 】 It was found that optimal reinforcement conditions (quantity and distribution) varied with the soil layer. For Eluvial layer A, jute fiber should be applied at 1 and distributed vertically; for Argic layer Bt, applied at 3 and blended evenly; for Deposition layer B, applied at 1 and distributed horizontally; and for Parent material layer C, applied at 5 and distributed horizontally, thus improving the unconfined compressive strength of the four layers by 7.97%, 19.24%, 15.35% and 42.88%, respectively, as compared with the unfortified soil. When starch was amended to jute fiber in the experiment, it took some time to cure the composite. And it was found that unconfined compressive strength of the four-layers was significantly related to the curing time. The strength was

maximized after 7, 7, 5 and 3 days of curing, increasing by 14.45% 15.07%, 8.90% and 8.07%, respectively.

【 Conclusion 】 Based on the experimental study, effect of the reinforcement is evaluated quantitatively, which demonstrates that a new technology of layered fortification for preventing and managing slope disintegration. All the findings in this study may serve as important scientific basis for prevention and control of collapsing slope erosion.

Key words Collapsing hill; Jute fiber-fortified collapsing hill soil composite; Jute fiber; Unconfined compressive strength; Treatment of starch

(责任编辑: 檀满枝)