

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.10.012

程氏蠲痹汤对佐剂性关节炎大鼠体内氧化应激的影响

田杏杏, 葛月月, 苑华飞, 束曼玉, 徐红梅

(合肥工业大学 食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:为探究程氏蠲痹汤(Cheng Shi Juan Bi Tang, CSJBT)对佐剂性关节炎(adjunct arthritis, AA)大鼠体内氧化应激的影响,文章选用弗氏完全佐剂(complete Freund's adjuvant, CFA)诱导 SD 大鼠建立关节炎模型。动物随机分为正常组、模型组、雷公藤多苷组(glycosides of *Tripterygium wilfordii*, GTW)(剂量 0.01 g/kg)和 CSJBT 组(剂量分别为 2.55、5.10、10.20 g/kg)。大鼠在造模后的第 15 天灌胃给药,连续治疗 2 周后,考察 CSJBT 对 AA 大鼠足爪肿胀度、体质量及氧化应激相关指标的影响,并采用 HE 染色法观察其对 AA 大鼠关节组织病理学变化的影响。结果显示 CSJBT 可缓解 AA 大鼠的关节肿胀,增加其体质量,改善关节滑膜组织病理学变化,减少滑膜组织中活性氧(reactive oxygen species, ROS)的产生以及血清中诱导型一氧化氮合酶(inducible nitric oxide synthase, iNOS)和丙二醛(MDA)的水平,而升高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)及谷胱甘肽(GSH)的水平。结果表明 CSJBT 对 AA 大鼠体内的氧化应激反应有较好的抑制作用。

关键词:程氏蠲痹汤(CSJBT);佐剂性关节炎(AA)大鼠;活性氧(ROS);氧化应激

中图分类号:R285.5

文献标志码:A

文章编号:1003-5060(2024)10-1372-06

Effects of Cheng Shi Juan Bi Tang on oxidative stress in AA rats

TIAN Xingxing, GE Yueyue, YUAN Huafei, SHU Manyu, XU Hongmei

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: To investigate the effects of Cheng Shi Juan Bi Tang (CSJBT) on oxidative stress in adjuvant arthritis (AA) rats, complete Freund's adjuvant (CFA) was used to induce SD rats to establish arthritis model. The animals were randomly divided into normal group, model group, glycosides of *Tripterygium wilfordii* (GTW) group (0.01 g/kg) and CSJBT groups (2.55, 5.10, and 10.20 g/kg, respectively). The rats were given intragastric administration on the 15th day after modelling for two weeks. The effects of CSJBT on paw swelling degree, body weight and oxidative stress related indexes of AA rats were investigated, and its effects on joint histopathological changes of AA rats were observed by haematoxylin and eosin (HE) staining method. The results showed that CSJBT could alleviate joint swelling, increase body weight, and improve synovial histopathological changes of AA rats. And CSJBT could reduce the production of reactive oxygen species (ROS) in synovial tissues and the levels of inducible nitric oxide synthase (iNOS) and malondialdehyde (MDA) in serum, while increasing the levels of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px) and glutathione (GSH) of AA rats. These results indicated that CSJBT had a good inhibitory effect on the oxidative stress response in AA rats.

Key words: Cheng Shi Juan Bi Tang (CSJBT); adjuvant arthritis (AA) rat; reactive oxygen species (ROS); oxidative stress

收稿日期:2022-03-09;修回日期:2022-05-20

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(1908085MH271)

作者简介:田杏杏(1996—),女,安徽亳州人,合肥工业大学硕士生;

徐红梅(1969—),女,安徽安庆人,博士,合肥工业大学副教授,硕士生导师,通信作者, E-mail: xuhongmei@hfut.edu.cn.

0 引言

类风湿性关节炎(rheumatoid arthritis, RA)是一种多发性、全身性关节肿痛的自身免疫性疾病,其主要病理特征为关节滑膜病变、血清炎症因子水平升高、血管翳形成,从而导致软骨破坏和骨侵蚀等,最终造成关节损伤、功能丧失^[1]。中医学认为,RA 属于“痹证”范畴,多采用祛风除湿、通络止痛的疗法。程氏蠲痹汤(Cheng Shi Juan Bi Tang, CSJBT)是由秦艽、羌活、川芎等多味中药组成,是临床治疗 RA 的经典名方^[2]。研究发现 CSJBT 可以抑制佐剂性关节炎(adjunct arthritis, AA)大鼠血清中 IL-6 的分泌并上调 IL-10 的水平,从而减轻炎症反应^[3]。CSJBT 加减方可降低 AA 大鼠外周血中 T 细胞 cAMP 水平和 CD4⁺/CD8⁺T 细胞的比值,以调节 AA 大鼠体内的免疫失衡^[4]。

本课题组在前期研究中发现,CSJBT 可通过调节 CD4⁺/CD8⁺、Th17/Treg 细胞的比例来抑制 AA 大鼠体内 T 细胞、NK 细胞的异常增殖,从而改善 AA 大鼠异常的免疫功能^[5]。尽管近年来对 CSJBT 治疗 RA 的作用机制展开了一系列探索,但其分子作用机制仍未完全阐明,还需进一步深入研究。

在 RA 的发病原因中,氧化应激对 RA 的发生发展起着重要作用^[6]。研究发现,上调 AA 大鼠关节组织中核因子 E2 相关因子 2(nuclear factor erythroid-2 related factor 2, Nrf2)和血红素加氧酶 1(heme oxygenase, HO-1)的 mRNA 及蛋白的表达,增加其肝组织中抗氧化酶(如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT))的活力,可抑制 AA 大鼠体内的氧化应激反应,进而有效缓解 RA 症状^[7]。

基于此,本文在课题组前期工作的基础上,拟通过考察 CSJBT 对 AA 大鼠体内氧化应激的影响,阐明 CSJBT 治疗 RA 的作用机制,为其临床应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验药物及试剂

独活(批号 17785541)、秦艽(批号 71185486)、羌活(批号 71185515)、川芎(批号 71185558)、当归(批号 71185582)、桑枝(批号 71185710)、海风藤(批号 71247247)、木香(批号 71185745)、乳香(批号 71185777)、甘草(批号

71185829)均购于安徽中医药大学第一附属医院门诊部;雷公藤多苷片(glycosides of *Tripterygium wilfordii*, GTW)(批号国药准字 Z43020138)购于湖南千金协力药业公司。

活性氧(reactive oxygen species, ROS)试剂盒(批号 S0033S)购于碧云天生物科技公司;诱导型一氧化氮合酶(inducible nitric oxide synthase, iNOS)(批号 A014-1-2)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)(批号 A005-1-2)、谷胱甘肽(GSH)(批号 A006-1-1)、丙二醛(MDA)(批号 A003-1)、SOD(批号 A001-3-2)、CAT(批号 A007-1-1)试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.2 实验动物及分组

SD 健康雄性大鼠,60 只,8 周龄,体质量(180±20)g,购于安徽医科大学养殖中心(皖医实验准字第 01 号)。实验期间,动物饲养于标准动物房内(温度 20~22℃,湿度 26%~40%,12 h 光照,自由饮水)。

动物分为正常组、模型组、GTW 组(0.01 g/kg)、CSJBT 组(剂量分别为 2.55、5.10、10.20 g/kg)。除正常组外,其他大鼠均在其右后足足趾皮下注射弗氏完全佐剂(complete Freund's adjuvant, CFA)0.1 mL 完成造模,从造模后第 15 天开始灌胃,每日 1 次,连续 2 周。

1.3 实验仪器

JA2004N 精密天平(上海精密科学仪器有限公司);DK-S22 恒温水浴锅(太仓精宏仪器设备公司);YLS-7B 足容积测量仪(淮北振华公司);IKA 旋转蒸发仪(北京长流科学仪器有限公司);荧光显微镜(Nikon);318MC 酶标仪(上海三科公司)。

1.4 实验方法

1.4.1 弗氏完全佐剂的制备

将卡介苗(50 mg)放于水浴锅中,80℃灭活 1 h,将其倒入玻璃研钵中,再加入无菌液体石蜡 5 mL,研磨均匀,得到终质量浓度为 10 mg/mL 的 CFA。

1.4.2 程氏蠲痹汤药液的制备

依据文献[2]方法将独活、海风藤分别取 200 g,乳香、木香分别取 120 g,加入蒸馏水进行加热回流,收集挥发油;另取甘草 60 g、桑枝 300 g、羌活 120 g、独活、川芎、当归、秦艽分别 200 g,加入 75%乙醇,热回流,过滤,减压浓缩,得浓缩物 A;将药渣放入水中煎煮、过滤、减压浓缩,得浓缩物 B;将挥发油、浓缩物 A 和浓缩物 B 合并并浓缩,得到 1 020 g 浸膏;实验前用 0.5%

CMC-Na 溶液将药物稀释至质量浓度 1.020、0.510、0.255 g/mL, 4 °C 遮光储藏、备用。

1.4.3 大鼠足肿胀度和体质量的检测

观察造模前、后各组大鼠状态,在致炎后的第 14、17、21、25、28 天测定各组大鼠的足容积,且每 7 d 称量并记录各组大鼠体质量。并根据足肿胀度 $C = [(V_2 - V_1) / V_1] \times 100\%$ 计算其足肿胀度,其中: V_1 为造模前的足容积; V_2 为造模后的足容积。

1.4.4 大鼠血清的制备

麻醉大鼠,腹主动脉取血(3 000 r/min 离心, 15 min),取出血清,于 -80 °C 冻存。

1.4.5 关节组织病理学的检查

给药治疗 2 周后,从各组大鼠中取出膝关节,将其浸泡于福尔马林水溶液中,备用。首先对组织进行脱钙处理,然后用不同体积分数的乙醇脱水,石蜡包埋,再制作组织切片,经 HE 染色后,光显微镜下观察各组织的病理学变化。

1.4.6 大鼠滑膜组织中 ROS 的检测

取大鼠新鲜滑膜组织置于尼龙网上,利用网

搓法收集细胞。将细胞悬液离心 10 min, PBS 洗涤 2 次后,按照 ROS 检测说明书,将收集后的细胞悬浮于 DCFH-DA 中, 37 °C 孵育, 荧光显微镜下观察 ROS 荧光。

1.4.7 大鼠血清中氧化应激相关指标的检测

根据试剂盒说明书,利用酶标仪分别检测各组大鼠血清中 iNOS、SOD、CAT、GSH-Px 的酶活力及 GSH 质量浓度、MDA 浓度。

1.5 实验统计学分析

应用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行统计分析,采用 One-way ANOVA 并结合 LSD 和 Tamhane's T2 进行检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 对 AA 大鼠足肿胀度和体质量的影响

CSJBT 对 AA 大鼠足爪形态的影响如图 1 所示。

CSJBT 对 AA 大鼠足肿胀度和体质量的影响见表 1、表 2 所列。



图 1 CSJBT 对 AA 大鼠足爪形态的影响

表 1 CSJBT 对 AA 大鼠足肿胀度的影响

组别	剂量/ (g/kg)	继发性足肿胀度/%				
		14 d	17 d	21 d	25 d	28 d
正常组		(19.30±2.32)	(20.76±2.32)	(22.25±2.18)	(23.61±1.44)	(25.52±1.75)
模型组		(90.03±8.96)***	(101.36±9.14)***	(124.27±13.80)***	(135.42±9.91)***	(139.67±7.79)***
GTW 组	0.01	(90.61±7.99)	(93.08±7.78)	(89.03±8.16)##	(85.43±7.0)###	(83.18±6.47)###
CSJBT 组	2.55	(86.79±4.66)	(100.46±6.48)	(102.58±5.95)#	(107.97±5.61)###	(110.57±5.29)###
CSJBT 组	5.10	(89.43±4.44)	(101.18±5.19)	(98.31±4.84)#	(90.04±5.13)###	(83.74±5.55)###
CSJBT 组	10.20	(90.46±3.96)	(91.14±3.94)	(88.46±4.06)##	(85.53±3.84)###	(77.14±3.43)###

注:与正常组相比, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$;与模型组相比, # $P < 0.05$, ## $P < 0.01$, ### $P < 0.001$ 。下同。

由图 1、表 1 和表 2 可以看出,与正常组相比,模型组 AA 大鼠足爪明显肿胀,甚至溃脓,其足肿胀度也显著增加,体质量下降;而经不

同剂量 CSJBT 治疗 2 周后,各组 AA 大鼠的足肿胀度显著降低($P < 0.001$),体质量显著增加($P < 0.001$)。

表 2 CSJBT 对 AA 大鼠体质量的影响

组别	剂量/ (g/kg)	致炎后体质量/g			
		7 d	14 d	21 d	28 d
正常组		(169.80±7.17)	(192.71±8.43)	(245.61±10.51)	(260.15±11.45)
模型组		(173.01±5.19)	(187.79±7.07)	(214.35±8.69)***	(235.73±7.09)***
GTW 组	0.01	(172.69±6.22)	(184.49±5.74)	(236.66±5.99)###	(267.68±4.69)###
CSJBT 组	2.55	(175.93±4.10)	(191.18±7.36)	(210.72±4.43)	(255.51±4.49)###
CSJBT 组	5.10	(169.60±6.41)	(186.32±7.34)	(219.58±8.23)	(254.30±9.34)###
CSJBT 组	10.20	(166.16±4.93)#	(188.29±7.88)	(225.62±6.68)##	(266.05±7.70)###

2.2 对 AA 大鼠关节组织病理学的影响

CSJBT 对 AA 大鼠关节组织病理学的影响如图 2 所示。由图 2 可知:正常组大鼠关节组织结构完整、正常,软骨表面光滑平整;而模型组大鼠出现滑膜增生、血管翳、炎性细胞浸润以及关节软骨破坏等病理变化。经 CSJBT 治疗后,上述病理学变化均明显减轻。

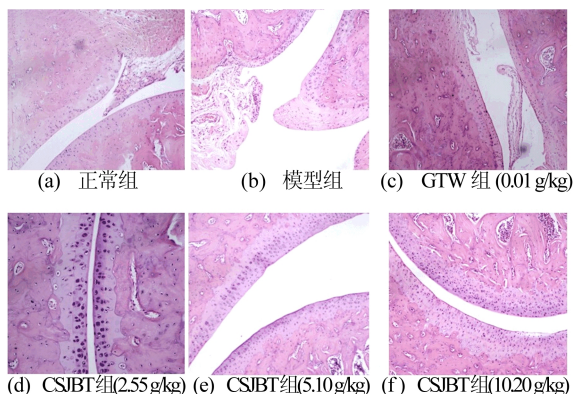


图 2 CSJBT 对 AA 大鼠关节组织病理学的影响

2.3 对 AA 大鼠滑膜组织中 ROS 产生的影响

CSJBT 对 AA 大鼠 ROS 产生的影响如图 3

所示。

由图 3 可知,模型组大鼠滑膜组织中 ROS 的量明显高于正常组,而经不同剂量 CSJBT 治疗后大鼠滑膜组织中 ROS 的量则随着剂量的升高而依次降低。

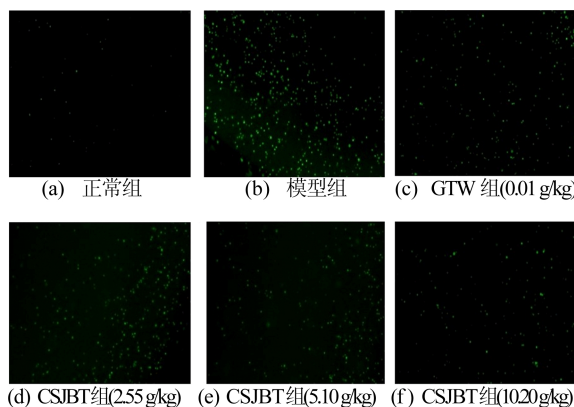


图 3 CSJBT 对 AA 大鼠 ROS 产生的影响

2.4 对 AA 大鼠血清中氧化应激指标的影响

CSJBT 对 AA 大鼠血清中氧化应激相关指标的影响见表 3 所列。

表 3 CSJBT 对 AA 大鼠血清中氧化应激相关指标的影响

组别	剂量/ (g/kg)	酶活力/(U/mL)				ρ (GSH)/ (mg/mL)	c (MDA)/ (nmol/mL)
		iNOS	SOD	CAT	GSH-Px		
正常组		(10.40±1.43)	(55.78±5.19)	(5.68±0.59)	(89.18±4.31)	(5.07±0.61)	(4.33±0.48)
模型组		(17.92±1.34)***	(40.41±4.58)***	(4.23±0.54)***	(81.20±4.98)**	(3.91±0.79)***	(5.60±0.51)***
GTW 组	0.01	(15.62±1.47)##	(52.29±7.21)###	(4.91±0.26)##	(88.50±2.68)##	(4.78±0.45)##	(4.69±0.50)##
CSJBT 组	2.55	(17.31±1.61)	(43.82±3.23)	(4.23±0.35)	(79.81±4.58)	(4.27±0.46)	(5.33±0.85)
CSJBT 组	5.10	(16.63±1.43)	(45.61±3.16)	(4.63±0.46)	(86.46±4.45)#	(4.39±0.43)	(4.96±0.57)#
CSJBT 组	10.20	(14.52±1.94)###	(47.25±6.39)#	(4.95±0.24)##	(87.50±4.54)##	(4.71±0.49)##	(4.86±0.48)#

从表 3 可以看出,与正常组相比,模型组 AA 大鼠血清中 iNOS 的酶活力和 MDA 的浓度均显

著增加($P < 0.001$),而 SOD、CAT、GSH-Px 酶活力和 GSH 质量浓度显著降低($P < 0.01$ 或 $P <$

0.001);经 CSJBT 治疗 2 周后,各组 AA 大鼠血清中 iNOS 酶活力和 MDA 浓度均降低,且 CSJBT 高剂量组有显著性差异($P < 0.001$ 或 $P < 0.05$),而 SOD、CAT、GSH-Px 酶活力和 GSH 质量浓度显著升高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

3 讨 论

RA 是一种以关节部位红肿,并伴有炎性细胞浸润为特征的自身免疫性疾病^[8],其发病机制复杂,目前多认为与炎症反应、免疫功能失调等有关,但具体病因至今尚未阐明。近年来的研究结果表明,氧化应激在 RA 病情的发展中起着重要作用。ROS 作为氧化应激的产物,大量地存在于 RA 患者的关节腔内,过量的 ROS 不仅会导致脂质过氧化、酶蛋白失活和 DNA 损伤等,还可作为重要的内源性信号调节因子,放大滑膜炎反应^[9-10]。

iNOS 主要存在于巨噬细胞和淋巴细胞内,参与诱导氧化应激和炎症反应^[11],且 iNOS 可被 ROS 激活^[12]。SOD、CAT、GSH-Px 和 GSH 等是机体内抗氧化系统的重要成员^[13]。SOD 可以清除机体产生的氧自由基,CAT、GSH-Px 能将 SOD 歧化氧自由基得到的 H_2O_2 转化为无害物质(H_2O 和 O_2),GSH 则将积累的异物排出体外,以防止氧自由基对机体产生氧化损伤,从而减轻氧化应激^[14]。MDA 是细胞膜脂质过氧化的终产物,其在体内产生的水平可反映机体受到氧化损伤的程度^[15]。

CSJBT 是中医临床治疗风湿痹证的经典名方之一,它可通过降低炎性因子水平、调节异常的免疫功能而发挥其治疗 RA 的作用^[3-5],但有关 CSJBT 对 RA 患者体内氧化应激反应的影响的报道并不多。因此,本研究从 ROS 的产生、抗氧化酶的活性等方面探究 CSJBT 治疗 RA 的作用机制。

本实验的模型建立后,AA 大鼠出现足爪红肿,足肿胀度增加,滑膜增生、炎性细胞浸润等病理损伤,体质量明显下降;经 CSJBT 治疗后,AA 大鼠的关节肿胀度明显减轻,滑膜组织病理损伤也有不同程度的改善,且大鼠的食物摄入量增多,体质量有所增加。

进一步的研究发现,AA 大鼠滑膜组织中 ROS、血清中 iNOS 和 MDA 水平显著增加,SOD、CAT、GSH-Px 酶活力和 GSH 的水平明显降低,表明 AA 大鼠体内氧化应激增强;而经 CSJBT 治疗后,AA 大鼠体内 ROS、iNOS 和

MDA 水平下降,血清中抗氧化酶和 GSH 水平上调。

4 结 论

综上所述,CSJBT 可能通过抑制 ROS 和 iNOS 的生成,增强 SOD、CAT、GSH-Px 等抗氧化酶活性,降低脂质过氧化水平来抑制 AA 大鼠体内的氧化应激和炎症反应,发挥其治疗 RA 的作用。

[参 考 文 献]

- [1] LIU P, WANG J, WEN W, et al. Cinnamaldehyde suppresses NLRP3 derived IL-1 β via activating succinate/HIF-1 in rheumatoid arthritis rats[J]. *International Immunopharmacology*, 2020, 84: 106570.
- [2] 陈培柱,牛小雪,杜玉芝,等.程氏蠲痹汤治疗佐剂性关节炎大鼠的实验研究[J].*合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2018, 41(3): 415-419.
- [3] 吴亚兰,许霞,程卉,等.程氏蠲痹汤加减方对风寒湿型佐剂性关节炎大鼠影响[J].*辽宁中医药大学学报*, 2019, 21(6): 24-27.
- [4] 许霞,杜欢,吴亚兰,等.程氏蠲痹汤加减方降低佐剂性关节炎大鼠外周血 T 细胞 cAMP 水平和 CD4⁺/CD8⁺ T 细胞比值[J].*细胞与分子免疫学杂志*, 2018, 34(2): 110-114.
- [5] 牛小雪,陈培柱,杜玉芝,等.程氏蠲痹汤对佐剂性关节炎大鼠免疫功能的影响[J].*中药药理与临床*, 2018, 34(3): 6-10.
- [6] SHAHMOHAMADNEJAD S, VAISI-RAYGANI A, SHAKIBABA Y, et al. Association between butyrylcholinesterase activity and phenotypes, paraoxonase192 rs662 gene polymorphism and their enzymatic activity with severity of rheumatoid arthritis: correlation with systemic inflammatory markers and oxidative stress, preliminary report[J]. *Clinical Biochemistry*, 2015, 48(1/2): 63-69.
- [7] CHU J, WANG X, BI H, et al. Dihydropyridinone relieves rheumatoid arthritis symptoms and suppresses expression of pro-inflammatory cytokines via the activation of Nrf2 pathway in rheumatoid arthritis model[J]. *International Immunopharmacology*, 2018, 59: 174-180.
- [8] SUN S, DU Y, LI S, et al. Anti-inflammatory activity of different isolated sites of *Chloranthus serratus* in complete Freund's adjuvant-induced arthritic rats[J]. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2021, 22(2): 1-14.
- [9] BALA A, MONDAL C, HALDAR P K, et al. Oxidative stress in inflammatory cells of patient with rheumatoid arthritis: clinical efficacy of dietary antioxidants[J]. *Inflammopharmacology*, 2017, 25(6): 595-607.
- [10] PHULL A R, NASIR B, HAQ I U, et al. Oxidative stress, consequences and ROS mediated cellular signaling in rheumatoid arthritis[J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2018, 281: 121-136.

(下转第 1403 页)

为均匀。竖直方向基础内部土压力呈非线性分布,加筋土路基内部土压力峰值均出现在土工袋垫层附近。

2) 土工袋加固层数对路基基础加固效果的增强作用存在有效区间。在一定加固层数范围内,土工袋加固层数越多,路基坡面裂缝率及基础沉降量越小,加固效果越好。超出该范围后,加固效果虽有提升但不明显。可见在保证经济成本的情况下并不是加固层数越多越好。

3) 相同荷载作用下,路基坡面裂缝率及沉降量随土工袋加固宽度增大逐渐减小,基础内部土压力分布更趋均匀。当土工袋加固宽度超过一定值后,继续增大土工袋宽度对加固路基及改善土压力分布的作用提升有限。

4) 土工袋首层埋置深度对路基基础沉降有明显影响。相同荷载作用下,土工袋首层埋置深度越小基础沉降量越小,水平方向土压力分布越均匀,然而对控制裂缝率的效果越差。因此,建议留有一定的首层埋置深度以有效抑制路基基础坡面裂缝的开展。

[参 考 文 献]

- [1] 刘松玉,周建,章定文,等.地基处理技术进展[J]. 土木工程学报,2020,53(4):93-110.
- [2] 刘斯宏,松冈元. 土工袋加固地基新技术[J]. 岩土力学,2007(8):1665-1670.
- [3] MATSUOKA H,LIU S H. New earth reinforcement method by geotextile bag (“Donow”)[J]. Soils and Foundations, 2003,43(6):173-188.
- [4] 文华,曹兴,邹娇丽,等. 建渣土工袋力学特性试验研究[J]. 浙江工业大学学报,2017,45(2):217-222.
- [5] 毕鑫洋. 土工袋地基处理加固技术发展前景[J]. 山西建筑,2016,42(31):80-81.
- [6] 黄波,刘斯宏,吴平,等. 土工袋技术在农村地区的应用[J]. 水利水电技术,2020,51(增刊2):401-404.
- [7] SHEN C M,FAN K W. A simple unified stress-strain model for geotextile-wrapped soils [J]. Geotextiles and Geomembranes,2021,27(9):27-31.
- [8] 盛涛,肖畅,李水明,等. 砂袋垫层的竖向承载力试验研究[J]. 工业建筑,2018,48(6):96-100.
- [9] MOHAMMAD O,SAEED K. Efficiency of cellular geosynthetics for foundation reinforcement [J]. Geotextiles and Geomembranes,2016,45(2):11-22.
- [10] NADER H,MEHDI S. Experimental and numerical study on the bearing capacity of soils reinforced using geobags [J]. Journal of Building Engineering,2018,15:290-297.
- [11] 方斌昕,刘斯宏,鲁洋,等. 土工袋竖向承载及循环压缩特性试验研究[J]. 西南交通大学学报,2023,58(1):210-218.
- [12] 段园煜,张仪萍,郭书魁,等. 土工袋装砂桩复合地基室内模型静载试验[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2013,34(5):599-604.
- [13] 杨平,赵磊军,刘星,等. 土工袋装砂桩复合路基的理论研究和数值模拟分析[J]. 公路交通科技,2017,34(4):32-38.
- [14] TATSUYA D,YOSHITAKA M. Numerical investigation of dynamic behavior of composite foundation composed of soilbags and piles by 3D elastoplastic FEM[J]. Soils and Foundations,2022,62(3):1-20.
- [15] 李丽华,崔飞龙,肖衡林,等. 轮胎与格室加筋路堤性能及承载力研究[J]. 岩土工程学报,2017,39(1):81-88.
- [16] 李丽华,肖衡林,郑俊杰,等. 废旧轮胎加筋路堤边坡模型试验研究[J]. 工程力学,2015,32(11):79-85.
- [17] 李伟,张帆,郎雷. 外墙围袋装砂土地基室内模型试验研究[J]. 科学技术与工程,2019,19(19):274-281.
- [18] 李伟,孙肇坤,赵鑫,等. 袋装土平铺层数对路基沉降影响的数值模拟研究[J]. 水利与建筑工程学报,2020,18(5):54-59.

(责任编辑 张 镛)

(上接第 1376 页)

- [11] BALASUBRAMANIYAN V,DHAR D K,WARNER A E, et al. Importance of Connexin-43 based gap junction in cirrhosis and acute-on-chronic liver failure [J]. Journal of Hepatology,2013,58(6):1194-1200.
- [12] IADECOLA C,ZHANG F,CASEY R, et al. Inducible nitric oxide synthase gene expression in vascular cells after transient focal cerebral ischemia [J]. Stroke,1996,27(8):1373-1380.
- [13] 胡樱凡,符佳,张艳,等. 妇科千金胶囊对 LPS 诱导 RAW 264.7 细胞炎症及氧化应激的影响 [J]. 中成药,2021,43(11):3152-3158.
- [14] 许家栋,上官熳婉,徐孟杰,等. 类风湿关节炎的氧化应激与 SOD 抗氧化研究进展 [J]. 风湿病与关节炎,2016,5(7):65-70.
- [15] SALEEM A,SALEEM M,AKHTAR M F, et al. Moringa riv-ae leaf extracts attenuate complete Freund’s adjuvant-induced arthritis in Wistar rats via modulation of inflammatory and oxidative stress biomarkers [J]. Inflammoparmacology,2020,28(1):139-151.

(责任编辑 闫杏丽)