



加固材料对运动场移动式草坪质量及坪床性能的影响

陈佳宝 贾辰雁 李富翠 宋桂龙 范志浩 唐斌 窦伟豪 张亚楠 韩烈保 陈雨峰

Effects of reinforcement materials on the quality and turf-bed performance of turf in a mobile sports field

CHEN Jiabao, JIA Chenyan, LI Fucui, SONG Guilong, FAN Zhihao, TANG Bin, DOU Weihao, ZHANG Ya'nan, HAN Liebao, CHEN Yufeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0207>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

植物纤维在运动场草坪坪床中的应用

Application of plant fibers in sports turf rootzone

草业科学. 2019, 36(10): 2516 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0681>

运动场草坪坪床稳定性研究进展

Research progress on the stability of turfgrass rootzone for sports field

草业科学. 2019, 36(3): 692 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0360>

人造草垫对混合草坪景观质量、生物量及根系生长的影响

Effects of carpet on turf performance quality, biomass, and root growth of hybrid turf

草业科学. 2020, 37(6): 1058 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.20196-0626>

不同类型人造草坪对混合草坪建植质量的影响

The influence of different types of artificial turf on the quality of hybrid turf

草业科学. 2021, 38(7): 1270 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0108>

‘华南’假俭草的坪用性状评价

Evaluation of turf quality characteristics of Huanan Centipede grass

草业科学. 2019, 36(8): 2026 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0586>

污泥对草坪草逆境生理的影响

Effect of biosolid on turf grass stress physiology

草业科学. 2017, 11(8): 1591 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0591>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0207

陈佳宝, 贾辰雁, 李富翠, 宋桂龙, 范志浩, 唐斌, 窦伟豪, 张亚楠, 韩烈保, 陈雨峰. 加固材料对运动场移动式草坪质量及坪床性能的影响. 草业科学, 2023, 40(1): 58-70.

CHEN J B, JIA C Y, LI F C, SONG G L, FAN Z H, TANG B, DOU W H, ZHANG Y N, HAN L B, CHEN Y F. Effects of reinforcement materials on the quality and turf-bed performance of turf in a mobile sports field. Pratacultural Science, 2023, 40(1): 58-70.

加固材料对运动场移动式草坪质量 及坪床性能的影响

陈佳宝¹, 贾辰雁², 李富翠¹, 宋桂龙¹, 范志浩¹, 唐斌¹,
窦伟豪¹, 张亚楠¹, 韩烈保¹, 陈雨峰³

(1. 北京林业大学草坪研究所, 北京 100083; 2. 内蒙古蒙草生态环境(集团)股份有限公司, 内蒙古呼和浩特 010010;
3. 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 北京 100091)

摘要: 本研究以高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 品种‘钛板 2LS’为试验材料, 以无加固材料运动场移动式草坪为对照 (CK), 使用践踏器模拟中等强度践踏, 分析加固剂和植物纤维对移动式运动场草坪坪观质量、坪床性能及运动质量的影响。结果表明: 在践踏两周内, 以 0.4% 纤维网片为加固材料的处理对草坪的色泽、归一化植被指数 (NDVI) 及坪观质量评价分析表明有显著提升效果 ($P < 0.05$), 践踏 4 周后, 各处理色泽、NDVI 及坪观质量评价分析与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$)。以 1% 聚氨酯加固剂为加固材料的处理 (WOH) 可以有效维持土壤紧实度, 以纤维与加固剂复合材料 (0.4% 椰丝 + 0.1% 聚丙烯酰胺) 为加固剂的处理 (YP) 显著提升草坪表面硬度与扭动摩擦, 但 YP 处理会显著增加球员头部损伤风险 ($P < 0.05$)。在践踏 4 周后, 坪床结构受到践踏扰动, 各加固材料处理的加固性能显著下降 ($P < 0.05$)。综上所述, 在中等践踏强度下, 移动式运动场坪床的加固材料使用土壤加固剂 1% 聚氨酯可以有效保证坪床的稳定结构, 降低球员受伤风险, 且能满足高质量运动场的质量要求。

关键词: 移动式草坪; 草坪质量; 坪床性能; 运动质量; 植物纤维; 加固剂; 头部损伤指数

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)01-0058-13

Effects of reinforcement materials on the quality and turf-bed performance of turf in a mobile sports field

CHEN Jiabao¹, JIA Chenyan², LI Fucui¹, SONG Guilong¹, FAN Zhihao¹, TANG Bin¹,
DOU Weihao¹, ZHANG Ya'nan¹, HAN Liebao¹, CHEN Yufeng³

(1. Turfgrass Research Institute, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Inner Mongolia M-Grass Ecology And Environment (Group) Co., Ltd., Hohhot 010010, Inner Mongolia, China;
3. Institute of Ecological Protection and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The ‘Titanium 2LS’ variety of *Festuca arundinacea* was used as the test material, and the mobile sports field turf without reinforcement material was used as control (CK). The performance of turf-bed and quality of movement was investigated by simulating medium intensity trampling with a trampler so as to study the effects of curing agents and plant fibers on the quality of mobile sports turf. The results showed that 2 weeks before trampling, 0.4% fiber mesh (XW)

收稿日期: 2022-03-22 接受日期: 2022-05-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31971770)

第一作者: 陈佳宝 (1998-), 男, 陕西定边人, 在读硕士生, 主要从事草坪科学与管理研究。E-mail: chenjiabao21@163.com

通信作者: 韩烈保 (1965-), 男, 湖北钟祥人, 教授, 博士, 主要从事草坪科学与管理研究。E-mail: hanliebao@163.com

共同通信作者: 陈雨峰 (1989-), 男, 辽宁丹东人, 助理研究员, 博士, 主要从事草坪科学与管理研究。E-mail: goodgalen2008@163.com

treatment significantly improved the color, normalized vegetation index, and turf quality evaluation parameters ($P < 0.05$). There was no significant difference between results for the quality evaluation analysis of Jipingguan and CK ($P > 0.05$). 1% polyurethane (WOH) treatment could effectively maintain soil compaction, (0.4% coconut silk + 0.1% polyacrylamide)YP significantly improved surface hardness and torsional friction of turf, whereas YP treatment significantly increased the risk of head injury in players ($P < 0.05$). After 4 weeks of trampling, the structure of the turf-bed was disturbed by trampling, and the reinforcement performance of each reinforcement material treatment decreased significantly ($P < 0.05$). To summarize, under moderate trampling intensity, the use of WOH in the reinforcement material in the turf-bed of the mobile stadium can effectively ensure the stable structure of the turf-bed to reduce the risk of player injury and meet the quality requirements of high-quality stadiums.

Keywords: mobile turf; turf quality; turf-bed performance; sports quality; plant fibers; curing agents; head injury criterion

Corresponding author: HAN Liebao E-mail: hanliebao@163.com

CHEN Yufeng E-mail: goodgalen2008@163.com

高质量运动场草坪是确保高水平草坪竞技比赛(如足球、橄榄球等)顺利进行与运动员竞技水平充分发挥的重要因素^[1-2]。随着草坪竞技运动的发展和竞技公平及观赛体验的追求,专业体育场建筑结构不断封闭,导致场内形成遮阴严重、风速低、温度及湿度聚集等特殊内环境,严重阻碍草坪草正常生长^[3]。相较于运动场固定式的草坪建植方式,移动式草坪是将完整的草坪分成若干块,分别建植在独立可移动模块上,模块可以拼接组合成一个完整的运动场草坪。移动式草坪可以精准控制每个模块上草坪的生长情况,可根据需求移出场馆进行养护,更便于草坪养护及损伤草坪的更换,解决了运动场高频率和多类型的功能需要,避免专业运动场内特殊环境对草坪草生长产生的不利影响^[4-5]。2008年北京奥运会及2006年德国世界杯等高规格赛事都使用过移动式草坪进行运动场的建植。但由于高质量运动场草坪是以沙为基础建植,而沙具有非常强的流动性,因此在模块建植、运输、使用和拼装移动时,根系层常出现漏沙、稳定性差及易松散等问题,导致草坪的平整度下降,草坪质量降低等问题。采用草坪坪床加固材料可以有效改善移动模块不稳定、漏沙的问题。然而,不同加固材料对草坪草生长、坪床性能和运动质量产生影响,选择何种加固材料、如何配置加固材料是成功建植移动式草坪的关键。

加固剂和植物纤维是提高沙基土壤稳定性及土壤强度最常见的加固方式之一^[6]。一方面,植物纤维和加固剂有助于土壤团聚体的形成,对土体

的抗拉强度、抗剪强度及抗压强度具有显著提升效果,土体的稳定性及强度显著增强^[7-9]。另一方面,加固剂及植物纤维可以有效促进植物生长,加固剂有利于提升土壤保水能力,有助于提升植物的水分利用效率,植物纤维会提高土体的透水能力,有效改善植物根系生长环境^[10-11]。在对沙中添加双聚物加固剂和椰丝纤维的研究中发现,添加双聚物加固剂和椰丝纤维显著提高了土壤颗粒之间的粘聚力,无侧限抗压强度得到提升,而加固剂与植物纤维同时添加增加了纤维与土壤颗粒之间的摩擦力与接触机会,增强了椰丝纤维与土壤颗粒之间的约束力^[12]。在聚丙烯酰胺对小麦(*Triticum aestivum*)生长的研究中发现,聚丙烯酰胺的添加会减少土壤水分的蒸发,进而提升土壤表层的保水能力,促进小麦的分蘖与根系生长,提高小麦总体产量^[13]。目前,针对加固剂及纤维材料对运动场草坪的加固,多集中在以传统方式建植的运动场,如,关于加固剂对于草坪生长影响的研究^[14],以及纤维随机加固对草坪盖度及根系影响的研究^[15]。而对于加固剂和纤维材料对移动式草坪质量影响的研究较少,以及在践踏模拟下,草坪质量的变化情况,尚无相关报道。

本试验以高羊茅(*Festuca arundinacea*)为试验材料,在模拟足球运动践踏的条件下,以无加固材料处理的移动式运动场草坪为对照,探究在不同加固剂和植物纤维材料加固下,对草坪坪观质量、坪床性能及运动质量进行研究,为移动式运动场草坪加固材料的选择及应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

移动式草坪模块为自主设计的托盘式移动草坪模块,模块大小为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$,根系层厚度为 18 cm ,托盘式移动草坪模块结构(图 1)。移动式草坪模块在建植时使用铁质钢板作为围挡固定,建植养护 3 个月后将围挡去除。根系层基质为沙,粒径分析使用筛分法测定(表 1)。试验所种植的草种为高羊茅品种‘钛极 2LS’,播种量为 $40\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,高羊茅具有适应性广、建坪速度快及耐践踏等特点,是我国北方地区建植运动场常用的草种之一。

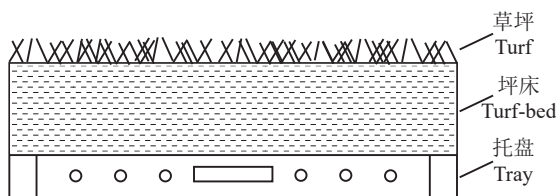


图 1 移动草坪结构

Figure 1 Diagrammatic representation of a mobile turf

表 1 粒径分析表

Table 1 Analysis of particle size of reinforcement materials

类型 Type	粒径 Particle size/mm	含量 Content/%
细砾石 Fine gravel	2.0~3.4	0.84
特粗沙 Very coarse sand	1.0~2.0	1.33
粗沙 Coarse sand	0.5~1.0	0.67
中沙 Medium sand	0.25~0.5	64.55
细沙 Fine sand	0.10~0.25	31.27
特细沙 + 粉粒 + 黏粒 Very + silt + clay	< 0.10	1.34

1.2 试验设计

试验地位于北京市昌平区北京林业大学草坪试验基地。本试验选用 5 种不同的加固材料,在建植时将加固剂或植物纤维均匀混入根系层,分别为纤维加固材料:0.4% 椰丝 (YS) 和 0.4% 纤维网片 (XW);加固剂:0.1% 聚丙烯酰胺 (PAM) 和 1% 聚氨酯 (WOH);纤维与加固剂复合材料:0.4% 椰丝 + 0.1% 聚丙烯酰胺 (YP),百分数为质量比 (W/W),共 5 个处理组,每个处理重复 4 次,对照组 (CK) 为根系层不添加任何加固材料。建植时施入复混肥料 (硫酸钾型) 作为基肥,氮:磷:钾 = 15:15:15,施用量为 $45\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

试验于 2019 年 10 月 20 日播种,11 月 3 日发芽,在草坪建植成坪后,随后草坪进行成坪养护,喷灌采用预埋的自动喷灌系统,每日 1~2 次,每次 1~2 h,喷灌遵循“见干见湿”的原则,修剪高度为 2.5~3.5 cm。种植期间施用复混肥料 (硫酸钾型),氮:磷:钾 = 18:5:18,每月施用一次,施用量为 $30\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。试验期间手工拔除杂草以及交替使用绘绿和扮绿两种广谱性杀菌剂防治草坪病害等。

本试验所使用的模拟践踏器根据 Kowalewski 等^[16]研发的模拟践踏器改造制成。模拟践踏依照专业足球运动员在实际比赛中跑动时产生的压强和平均鞋钉数,依据相关模拟践踏器的文献进行设计,与国外的相似模拟践踏器效果相同。模拟践踏从 2020 年 10 月 16 日开始,本试验按照中度践踏强度模拟践踏,既使用践踏器模拟每周进行两场足球比赛的践踏强度,通过连续 4 周的践踏模拟,对坪观质量、坪床性能和运动质量进行测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 坪观质量

在每周践踏模拟结束后,对草坪色泽、盖度、归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 和坪观质量评价分析进行测定,每个小区重复测定 3 次。草坪色泽与 NDVI 采用 TCM500 草坪色彩分析仪进行测定。草坪坪观质量评价分析采用九分制打分法,对草坪进行综合评价。草坪盖度采用网格法进行测定。

1.3.2 坪床特性

坪床特性测定分别于践踏 1、2、3、4 周测定,每个重复小区重复测定 3 次。草坪地上坪床土壤紧实度使用坪床土壤紧实度仪 TJSJ-750 II 进行测定,单位为 kPa,测定深度为 5 和 10 cm。表面硬度使用 CIST/883 型 Clegg 土壤冲击仪测定,测锤为圆柱形,质量为 2.25 kg,直径 50 mm,在 60 cm 高的导管中下落,记录草坪硬度计所示数值,单位为 Gm。

1.3.3 运动质量

在每周践踏后,对草坪运动质量进行测定,每个小区重复测定 3 次。运动质量测定包括反弹率、扭动摩擦及头部损伤指数 (head injury criterion, HIC) 的测定。其中反弹率的测定采用足球反弹法,将足球从 2 m 的高度处自由释放,使足球落下,测定足球的初次反弹高度,其中所使用足球需为国际

足联认证比赛专用球, 气压为 0.6~1.1 个大气压 (在海平面)。反弹率计算公式如下:

$$\text{反弹率} = \text{反弹高度} / \text{下落高度} \times 100\%$$

扭动摩擦采用扭动摩擦测定仪, 由北京天仁科技发展有限公司生产, 参照国际足联 (International Federation of Association Football, FIFA) 标准规范测定。头部损伤指数 (head injury criter, HIC) 采用 HS2005 冲击强度测试仪测定。

1.4 数据分析

数据使用 Excel 2010 进行整理, 使用 SPSS18.0 进行单因素方差分析, One-Way ANOVA 方法对数据进行分析, 并利用最小显著差异法 (LSD) 检验不同数据组间的差异显著性, 使用 Origin 2019b 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同加固材料对移动式运动场草坪坪观质量的影响

2.1.1 盖度

随着践踏时间的增加, 各处理草坪盖度均呈现下降趋势 (图 2)。在践踏 4 周后, CK、YS、WOH、

XW、PAM 和 YP 处理盖度相较于第 1 周践踏后分别降低了 22.61%、10.22%、10.61%、8.64%、5.38% 和 4.35%, CK 下降幅度显著高于其他各处理 ($P < 0.05$)。在第 1 周和第 2 周, 各处理盖度与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$), 而在践踏第 3 周时, YS、WOH 及 XW 处理盖度显著高于 CK ($P < 0.05$)。践踏第 4 周, CK 盖度显著低于 YS、WOH、XW 和 YP 处理 ($P < 0.05$), 而 CK 与 PAM 处理盖度无显著差异 ($P > 0.05$), YS、WOH、XW、PAM 和 YP 处理盖度相比于 CK 分别提升了 21.80%、23.14%、23.67%、8.01% 和 20.86%。

2.1.2 草坪色泽

随着践踏时间的增加, 草坪色泽均呈现下降的趋势 (图 3)。在践踏 4 周后, CK、YS、WOH、XW、PAM 及 YP 处理相较于第 1 周践踏后草坪色泽显著降低 ($P < 0.05$), 分别下降 35.12%、34.41%、37.59%、33.94%、34.39% 和 35.23%, 各处理下降幅度相较于 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 2 周, YS、WOH、XW、PAM、YP 草坪颜色相较于第 1 周践踏后显著下降 ($P < 0.05$), 而 CK 草坪颜色与第 1 周践踏后差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周, 各处理和 CK 草坪颜色相较于第 2 周践踏后均显著下降 ($P < 0.05$),

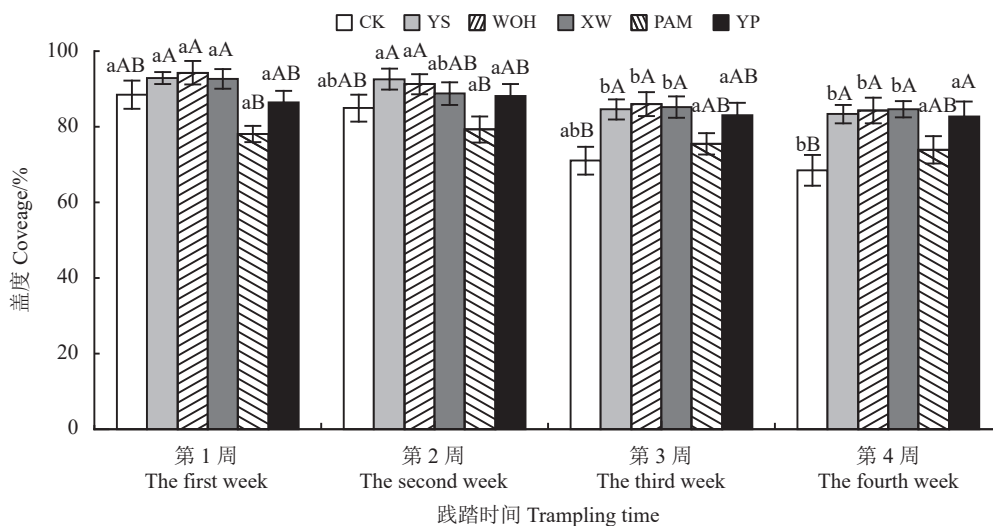


图 2 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪盖度的影响

Figure 2 Effect of different reinforcement materials and trampling time on turf coverage in a mobile sports field

不同大写字母表示相同践踏时间不同加固材料处理间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示相同加固材料不同践踏时间差异显著 ($P < 0.05$); CK: 对照; YS: 0.4% 椰丝; WOH: 1% 聚氨酯; XW: 0.4% 纤维网片; PAM: 0.1% 聚丙烯酰胺; YP: 0.4% 椰丝 + 0.1% 聚丙烯酰胺; 下同。

Different uppercase letters indicate significant difference between the different reinforcement materials for the same trampling time at the 0.05 level; and different lowercase letters indicate significant difference among different trampling times in the same reinforcement material at the 0.05 level; CK: control; YS: 0.4% coconut; WOH: 1% polyurethane; XW: 0.4% fiber mesh; PAM: 0.1% polyacrylamide; YP: 0.4% coconut and 0.1% polyacrylamide; this is applicable for the following figures as well.

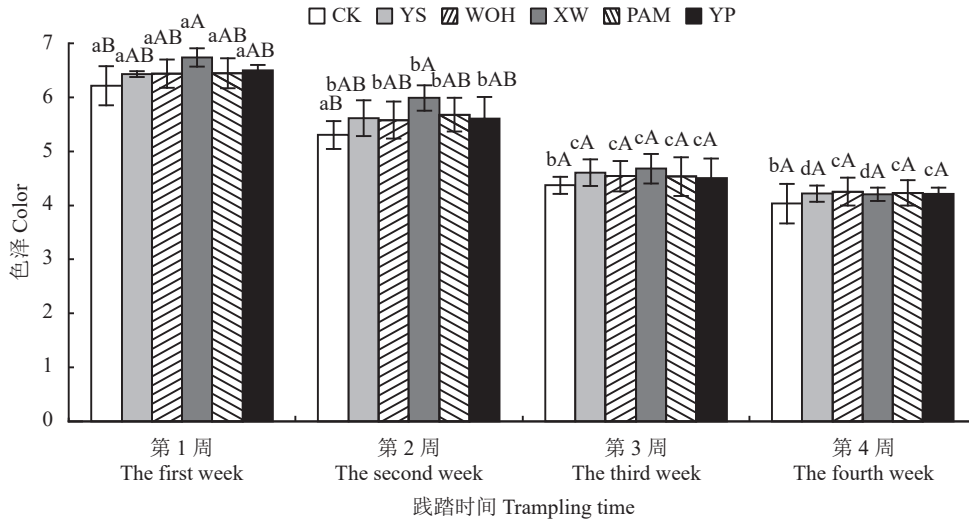


图3 践踏处理下不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪色泽的影响

Figure 3 Effects of different reinforcement materials and trampling time on the color of mobile turf in a sports field

而践踏第4周,仅YS与XW处理草坪色泽相较于第3周践踏后显著下降 ($P < 0.05$),WOH、PAM、YP处理和CK草坪颜色相较于第3周践踏后变化不显著 ($P > 0.05$)。从不同加固材料来看,践踏第1周与第2周,YS、WOH、PAM和YP处理草坪色泽与CK无显著差异 ($P > 0.05$),XW处理草坪色泽显著高于CK ($P < 0.05$),践踏第3周与第4周,各处理草坪色泽与CK之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.1.3 归一化植被指数 (NDVI)

在为期4周的践踏当中,NDVI随践踏时间增加呈现下降的趋势(图4)。相较于第1周践踏后,

第4周践踏后CK、YS、WOH、XW、PAM及YP处理NDVI分别降低了55.01%、52.99%、52.18%、56.56%、52.85%和53.69%,各处理下降幅度相较CK无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第1周,CK与YS、WOH、PAM、YP处理NDVI无显著差异 ($P > 0.05$),而XW处理NDVI显著高于CK ($P < 0.05$)。践踏第2周,YS、WOH、XW、PAM和YP处理相较践踏第1周NDVI显著降低 ($P < 0.05$),且XW处理NDVI显著高于CK ($P < 0.05$),其余各处理NDVI与CK差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第3周,各处理NDVI相较于第2周显著性降低 ($P < 0.05$),各处理与CK差异不显著 ($P >$

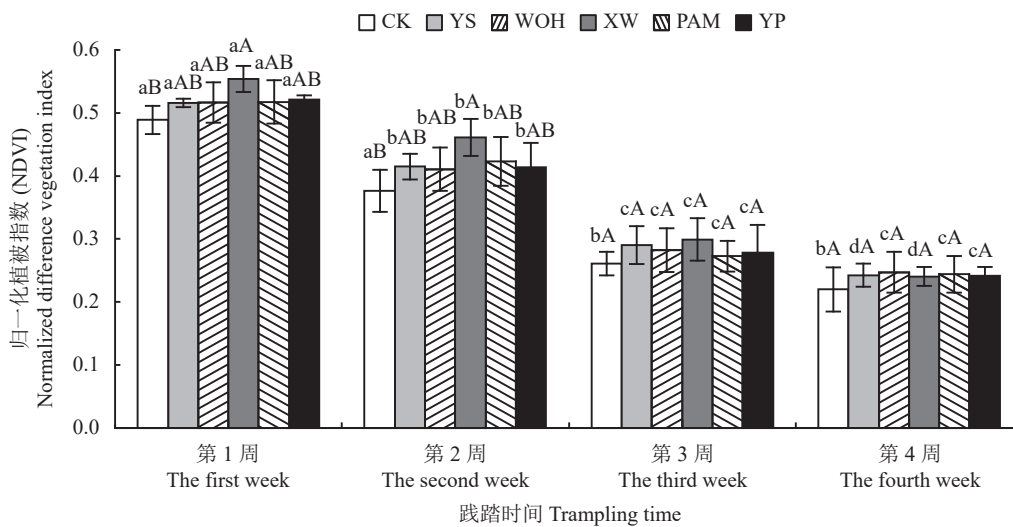


图4 践踏处理下不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪归一化植被指数的影响

Figure 4 Effects of different reinforcement materials and trampling time on NDVI of mobile turf in a sports field

0.05)。践踏第 4 周, YS 与 XW 处理 NDVI 相比于第 3 周显著降低 ($P < 0.05$), 其余各处理相较于第 3 周无显著变化 ($P > 0.05$), 各处理与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.1.4 坪观质量评价分析

草坪坪观质量评价分析随着践踏时间的增加呈现下降趋势 (图 5)。践踏第 1 周时, 各处理之间无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 2 周时, 各处理坪观质量评价分析均出现显著性下降 ($P < 0.05$), 其中 XW 处

理坪观质量评价分析显著高于 CK ($P < 0.05$), YS、WOH、PAM 与 YP 处理与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周, CK 坪观质量评价分析与第 2 周无显著差异 ($P > 0.05$), 而 YS、WOH、XW、PAM 与 YP 处理均显著降低 ($P < 0.05$), 各处理坪观质量评价分析与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周, XW 处理坪观质量评价分析显著低于第 3 周 ($P < 0.05$), 其他处理和 CK 与第 3 周无显著差异 ($P > 0.05$), 各处理与 CK 之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

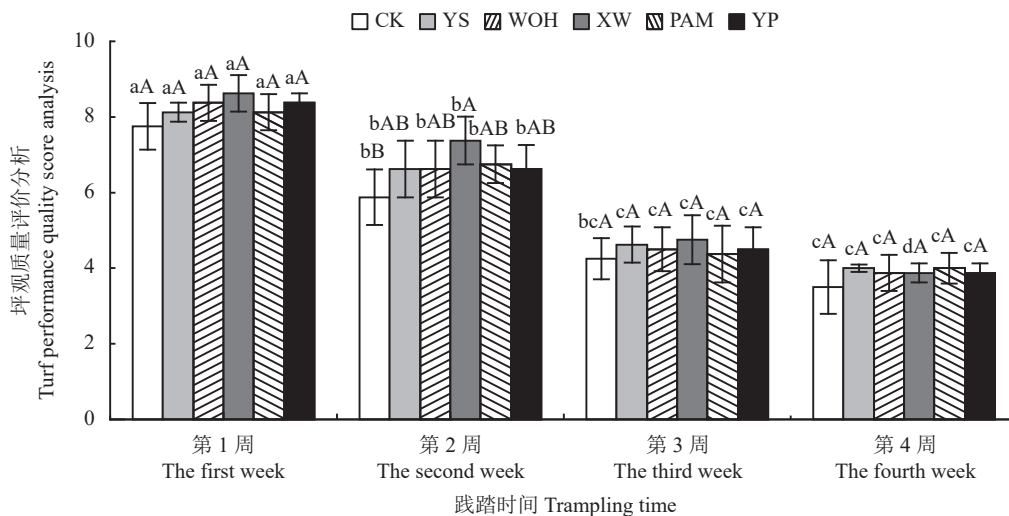


图 5 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪坪观质量评价分析的影响

Figure 5 Effects of different reinforcement materials and trampling time on the turf performance quality and its score analysis in a mobile sports field

2.2 不同加固材料对移动式运动场草坪坪床特性的影响

2.2.1 0—5 cm 土层土壤紧实度

随着践踏时间的增加, 0—5 cm 土壤紧实度呈现升高后降低的趋势 (图 6)。YS、WOH、PAM 与 YP 处理 0—5 cm 土层土壤紧实度在践踏第 2 周时上升到最大, 而 XW 处理与 CK 在第 3 周践踏时 0—5 cm 土层土壤紧实度上升到最大, 到践踏第 4 周时, 除 WOH 上升外, 其余各处理和 CK 均下降。相较践踏第 1 周, 践踏 4 周后除 YP 处理 0—5 cm 土层土壤紧实度出现显著变化外 ($P < 0.05$), 其余各处理和 CK 与第 1 周 0—5 cm 土层土壤紧实度无显著变化 ($P > 0.05$)。从加固材料来看, 践踏第 1 周时, WOH 处理显著高于其他处理 ($P < 0.05$), CK 与 YS、XW、PAM 和 YP 差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周时, WOH 显著高于 YS、XW、PAM 和 YP 处理 ($P < 0.05$),

除 YP 外其他各处理与 CK 差异不显著 ($P < 0.05$)。

2.2.2 5—10 cm 土层土壤紧实度

随着践踏时间的增加, 各处理 5—10 cm 土层土壤紧实度呈现先增长后降低的趋势 (图 7)。践踏第 2 周, 相比于第 1 周 PAM 和 YP 处理 5—10 cm 土壤紧实度显著增加, 而 CK、YS、XW、WOH 处理土壤紧实度无显著变化 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周时, CK 和各处理 5—10 cm 土层土壤紧实度相比于第 2 周无显著变化 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周, CK、YS、WOH、XW 和 PAM 处理 5—10 cm 土层土壤紧实度相比第 3 周无显著差异 ($P > 0.05$), 而 YP 显著性降低 ($P < 0.05$)。践踏第 1 周, WOH 处理显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 而 CK 与 YS、XW、PAM 和 YP 处理无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周时, YS、WOH、PAM、XW 及 YP 均与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周, 5—10 cm 土层土壤紧实度 CK 与各处理无显著差异 ($P > 0.05$)。

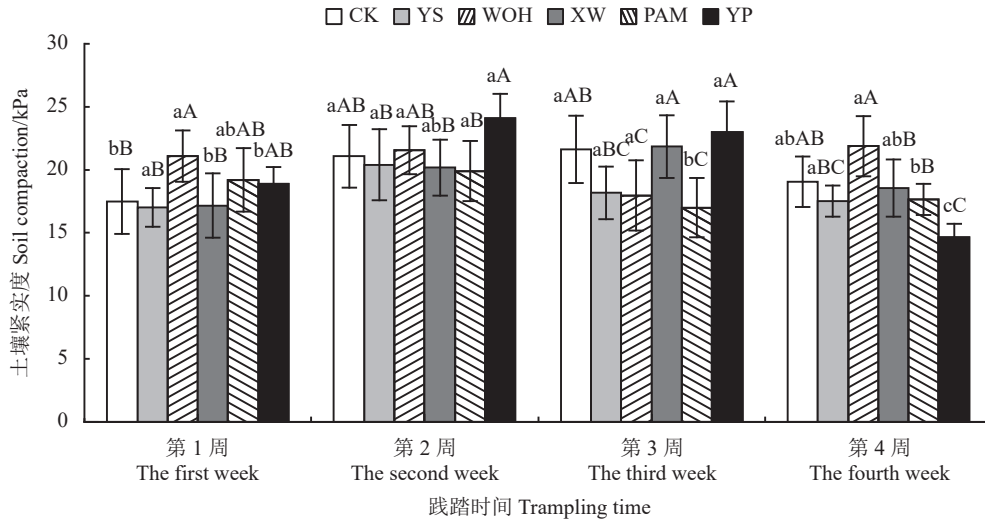


图6 不同加固材料对移动式运动场草坪0—5 cm土壤紧实度的影响

Figure 6 Effects of different reinforcement materials on soil compaction by 0—5 cm under mobile turf in a sports field

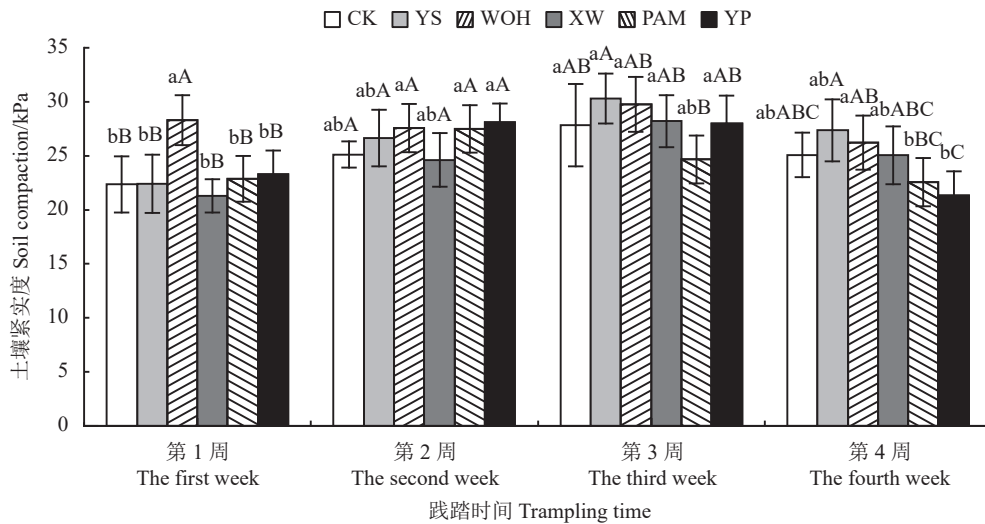


图7 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪5—10 cm土壤紧实度的影响

Figure 7 Effects of different reinforcement materials and trampling time on soil compaction by 5—10 cm under mobile turf in a sports field

2.2.3 表面硬度

随着践踏时间的增加,草坪的表面硬度呈现上升趋势后保持不变(图8)。践踏第1周时,YP处理表面硬度显著高于CK、XW和PAM处理($P < 0.05$),而YS、WOH、XW、PAM与CK无显著差异($P > 0.05$)。践踏第2周时,各处理与CK间无显著差异($P > 0.05$),但相较于践踏第1周,各处理及CK表面硬度显著增加($P < 0.05$)。践踏第3周,各处理和CK相对践踏第2周表面硬度无显著差异($P > 0.05$)。践踏第4周时,YP处理表面硬度相较于践踏第3周显著降低($P < 0.05$),而其他处理和CK表面硬度无显著

变化($P > 0.05$)。践踏第3周时,XW处理表面硬度显著高于WOH处理($P < 0.05$)。践踏第4周,YP处理显著高于YS、WOH及PAM处理($P < 0.05$),YS、WHO、XW、PAM处理与CK差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 不同加固材料移动式对运动场草坪运动质量的影响

2.3.1 反弹率

随着践踏时间的增加,反弹率呈现先增加后降低的趋势(图9)。从时间来看,4周践踏后CK、YS、WOH、XW、PAM和YP处理反弹率分别提升28%、

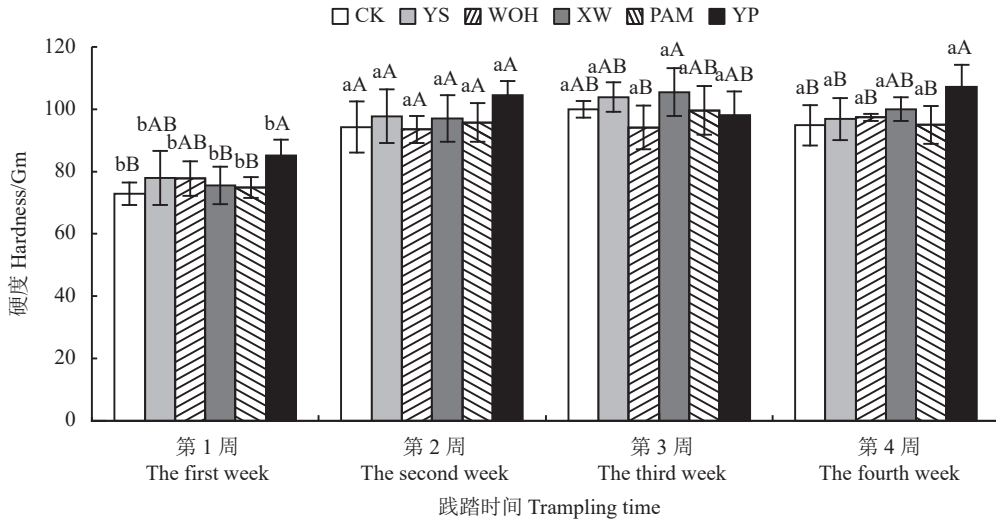


图 8 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪硬度的影响

Figure 8 Effects of different reinforcement materials and trampling time on turf hardness in a mobile sports field

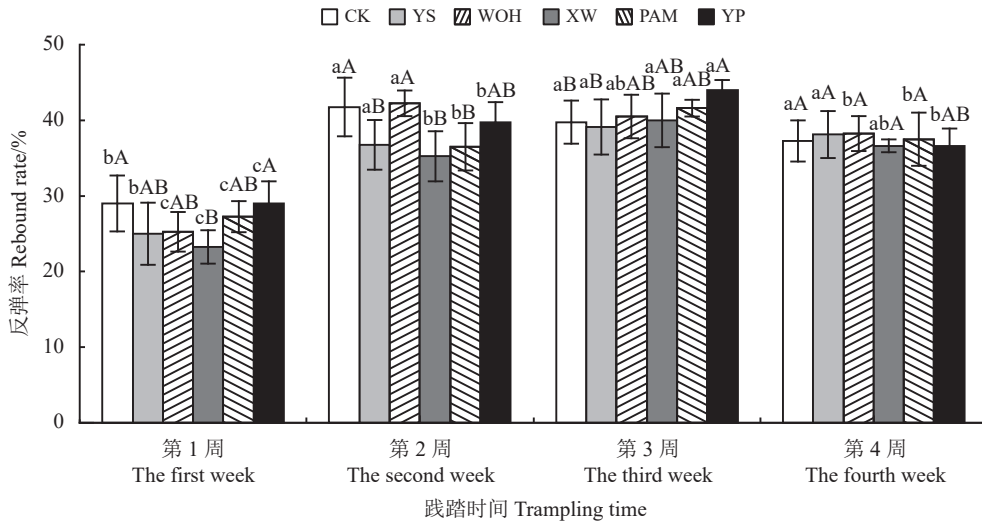


图 9 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪反弹率的影响

Figure 9 Effects of different reinforcement materials and trampling time on rebound rate of mobile turf in a sports field

53%、51%、58%、38% 和 26%，YS、WOH、XW、PAM 上升幅度显著高于 CK ($P < 0.05$)。践踏第 1 周，YS、WOH、PAM 和 YP 处理反弹率与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)，而 XW 处理反弹率显著低于 CK ($P < 0.05$)。践踏第 2 周，各处理和 CK 反弹率相较于践踏第 1 周均显著增加 ($P < 0.05$)，YS、XW 和 PAM 处理在第 2 周反弹率显著低于 CK ($P < 0.05$)。践踏第 3 周和第 4 周 YS 处理与 CK 反弹率无显著变化 ($P > 0.05$)，PAM 与 YP 反弹率在第 3 周时达到峰值，在践踏第 4 周反弹率显著下降 ($P < 0.05$)。践踏第 4 周，各处理反弹率与 CK 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.2 扭动摩擦

随着践踏时间的增加，扭动摩擦呈现逐渐下降趋势 (图 10)。践踏 4 周后 CK 与 XW、YS 处理扭动摩擦相较于第 1 周无显著差异 ($P > 0.05$)，而 WOH、PAM 和 YP 都呈现下降的趋势。践踏第 1 周，WOH 处理扭动摩擦显著高于其他处理 ($P < 0.05$)，YS、XW、PAM 与 YP 处理与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第 2 周，WOH 处理扭动摩擦相较于践踏第 1 周显著下降 ($P < 0.05$)，其他处理相较第 1 周无显著差异 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周，各处理与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)，各处理与践踏第 2 周相比无显著变化 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周，YS、WOH、PAM 和 YP 处理扭

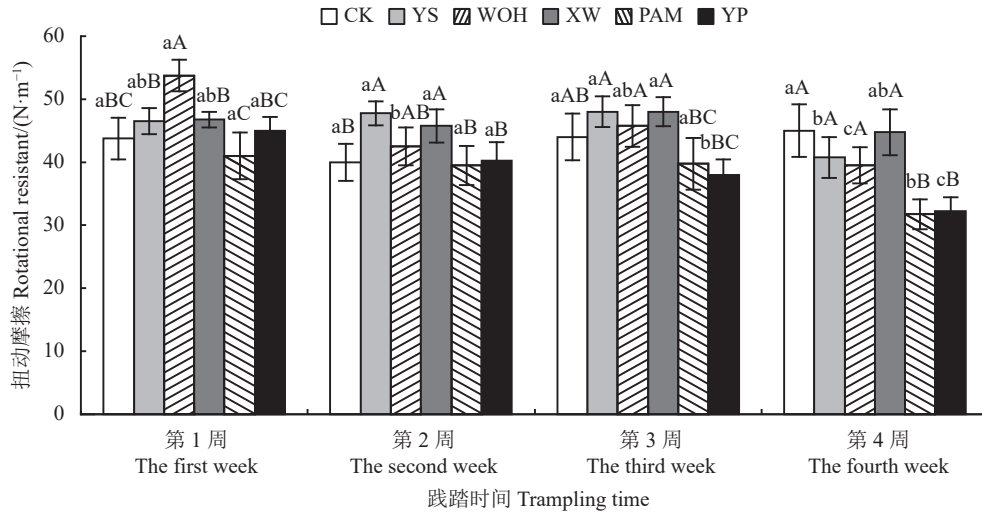


图 10 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪扭动摩擦的影响

Figure 10 Effects of different reinforcement materials and trampling time on rotational resistance of mobile turf in a sports field

动摩擦相较第3周显著降低 ($P < 0.05$), 且 PAM 和 YP 处理扭动摩擦显著低于 CK ($P < 0.05$), 而 YS、WOH 和 XW 处理与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3.3 头部损伤指数 (HIC)

随着践踏时间的增加, HIC 呈现出先增加后下降的趋势 (图 11)。从时间来看, CK 和 YP 处理在 4 周的践踏中无显著性变化 ($P > 0.05$), 其余各处理在第 2 周 HIC 均呈现显著上升 ($P < 0.05$), 践踏第 3 周和第 4 周 YS、WOH、XW 处理 HIC 相较于第 2 周均无显著性变化 ($P > 0.05$)。从加固材料来看, 践踏第 1 周时, YS、WOH 和 YP 处理 HIC 显著高于 CK ($P < 0.05$), 而 XW 与 PAM 处理 HIC 与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。在践踏第 2 周时, YS 与 WOH

处理 HIC 显著高于 CK ($P < 0.05$), 而 XW、PAM、YP 处理 HIC 与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第 3 周 YP 处理 HIC 显著高于 CK ($P < 0.05$), 其他处理 HIC 与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$)。践踏第 4 周时, 各处理 HIC 与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 坪观质量

草坪色泽、草坪盖度、坪观质量评价分析及 NDVI 是通过量化手段评价草坪坪观质量最重要的依据, 也是草坪草生长状况的直观体现。过度践踏会使草坪草的机械结构受损、光合特性及生理调

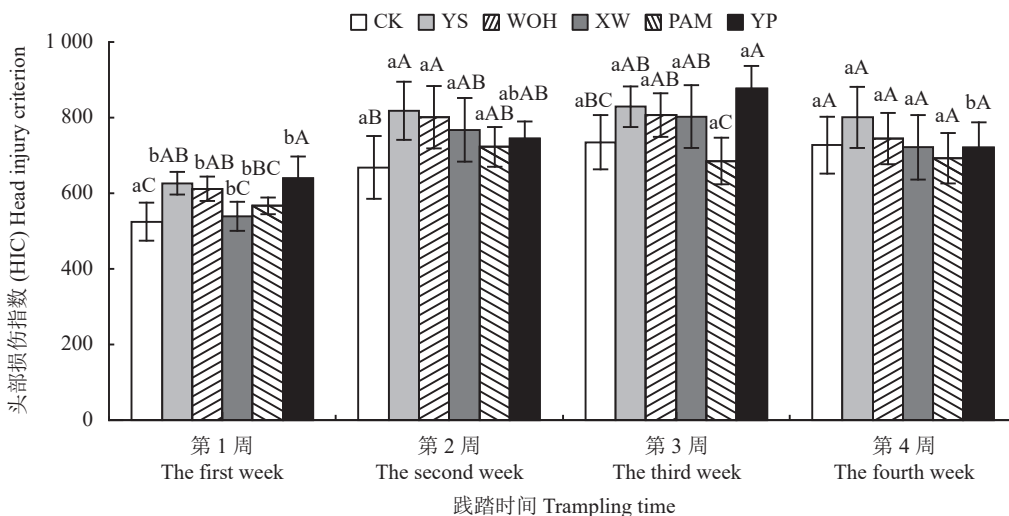


图 11 不同加固材料和践踏时间对移动式运动场草坪 HIC 的影响

Figure 11 Effects of different reinforcement materials and trampling time on HIC of mobile turf in a sports field

控机制发生改变, 坪床由于践踏透气透水性能下降, 导致草坪草在自身遭受损伤的同时还面临多种逆境胁迫, 导致草坪质量下降^[17-18]。本研究发现在践踏初期, XW 可以有效维持草坪的坪观质量, 但践踏结束后, 各处理与 CK 无显著差异。一方面, 有研究表明, 植物纤维及加固剂的添加可以有效改善根系层土壤的理化性质^[19], 植物纤维在微生物降解的过程中可以显著降低根系层的 pH^[20], 加固剂可以提高草坪草根系层的持水性能^[21], 所以在践踏初期, 中等强度践踏对草坪草损伤较小, 坪观质量的差异主要是由不同加固材料造成, 但随着践踏时间的增加, 草坪草受损伤程度明显增大, 草坪草在遭受践踏胁迫的同时遭受其他多种因素胁迫, 而植物纤维或加固剂对草坪的损伤起不到显著的缓解作用, 这就导致草坪质量在 4 周践踏后差异不显著。另一方面, 根据汪呈等^[22]探究植物纤维在运动场草坪坪床中的应用研究发现, 在坪床中添加适量的植物纤维会更有利于提升坪床的持水透气能力, 所以 XW 可以在践踏初期有效维持草坪草根系层水分及营养状况, 以缓解草坪所受到的损伤。在本研究中, 各处理草坪坪观质量随着践踏时间的增加呈显著下降, 这与邢强等^[23]的研究结果一致, 这是由于在中度践踏强度下, 草坪草的机械结构受损, 导致植物光合作用、呼吸作用及生理活动收到抑制, 自我恢复能力显著下降, 最终导致草坪质量下降。

3.2 坪床性能

坪床是草坪运动相关体育项目顺利进行的基础, 坪床与球员安全、球员技术发挥及草坪生长有着密切联系。表面硬度及坪床土壤紧实度作为衡量坪床质量的关键指标, 本研究通过测定表面硬度及坪床土壤紧实度对坪床质量进行评价。在本研究中, 影响坪床性能主要包含两个方面, 一是草坪生长状况, 加固剂及植物纤维的添加会改变坪床理化性质, 间接影响植物的生长; 二是坪床结构, 加固剂和植物纤维的添加会导致坪床结构发生改变, 达到提高坪床稳定性及强度的目标。表面硬度目前欧洲足联与国际足联关于足球场地运动质量文件中要求, 表面硬度的最佳范围应在 70~90 Gm, 高于这个范围会造成不同程度的运动风险。草坪土壤紧实度是描述草坪根系层土壤紧实程度的指标, 草坪的紧

实度的变化会影响植物对土壤中水分、养分及气体的吸收与利用。

随着践踏时间的增长, 各处理表面硬度及紧实度在前 3 周处于增加趋势, 但在第 4 周开始下降, 且 YP 处理表面硬度在践踏第 1 周与第 4 周都显著高于 CK, 且超出表面硬度安全范围。Mcnitt^[24]对土壤加固材料对根系层表面硬度、土壤容重和含水量的研究发现^[25], 在中等践踏强度下表面硬度随践踏时间的增长而增大, 与本研究中践踏第 3 周后草坪表面硬度出现降低趋势结果不一致, 这可能是由于移动式运动场草坪特殊结构所造成的, 移动式运动场每个模块相互独立, 且每个模块四周没有任何包围结构, 坪床会受到践踏垂直向下压缩的力及横向的摩擦力, 而在这种无围压条件下坪床的抗压强度达到一定极限时, 坪床土壤结构会遭受到破坏, 坪床变得松散。YP 处理践踏第 1 周和第 4 周后表面硬度显著高于 CK, 说明植物纤维和加固剂组成的复合材料相较其他加固材料可以有效提升土体表面硬度。根据 Leao 等^[26]对植物纤维和加固剂组成的复合材料力学特征的研究发现, 椰丝与聚丙烯酰胺形成的复合结构会增强纤维与沙土的桥接结构和增加纤维、加固剂、沙三者的接触, 显著提升坪床的内聚力, 内聚力的提升会导致表面硬度和弹性模量的增加, 有效提高坪床的稳定性。虽然 YP 提升了坪床性能, 延缓了坪床结构破坏的时间, 但可能会增加运动员受伤风险。在践踏模拟前后对比不同加固材料 0~5 cm 土层土壤紧实度发现, 相较于 CK 和其他处理 WOH 处理可以有效提升与维持土壤表层紧实度。研究表明, WOH 在加固土壤时会与土壤形成独特的网状结构, 可以显著提升土壤内聚力, 更有利于土壤形成团粒结构, 且在聚氨酯与植物结合后, 对外界的抗干扰能力增强^[27]。

3.3 运动质量

通过测定反弹率、扭动摩擦及 HIC 是对球场是否满足比赛需要及保障球员安全的关键性指标。高质量的运动场, 草坪草的生长保证草坪表面拥有足够的缓冲性能及摩擦力, 确保球员在充分发挥竞技水平的同时, 草坪可以给予球员最大的保护, 而草坪地下部分可以与土壤紧密结合起到加筋效果, 提高坪床的稳定性及强度, 确保比赛顺利进行; 坪床

内部结构的改变对运动质量造成影响, 由于移动式运动场是由沙作为坪床, 而在坪床中添加加固剂或植物纤维后, 草坪草生长和坪床缓冲性能发生改变会导致草坪运动质量随之发生改变。通过模拟践踏, 模拟足球运动在真实使用过程中球员与草坪相互作用特点, 更能真实反应加固材料对草坪运动质量的影响。

扭动摩擦、反弹率及 HIC 是描述运动员安全与竞技水平发挥的重要指标, 同时是衡量草坪运动质量的关键指标之一。扭动摩擦是指球员完成技术动作时与草坪表面产生的相互作用力, 国际足联与欧足联要求扭动摩擦力 $\geq 30 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 均视为合格场地。反弹率是指草坪表面在受到外力时保持其表面特征的能力, 国际足联推荐的标准反弹率为 20%~50%。HIC 是描述球员头部在一定高度下落地后的受伤风险, HIC 超过极限值 1 000 则表示球员头部可能会受到致命的头部损伤风险。在本研究中, 随着践踏时间的增加, 扭动摩擦逐渐降低, 反弹率与 HIC 都呈现先升高后下降的趋势。扭动摩擦下降是由于中度践踏对草坪草损伤较大, 导致草坪草地上部分损失较多, 且在践踏过程中践踏器对表层土壤结构破坏严重, 导致了扭动摩擦力的降低。反弹率和 HIC 与坪床的结构显著相关^[28], 在前 3 周反弹率和 HIC 由于践踏的原因, 坪床不断被践踏压实, 导致其上升, 但在践踏 3 周以后, 由于土体结构难以

继续支撑高强度的践踏, 遭到严重破坏, 土体结构由进入到重塑的过程, 坪床稳定性及强度下降, 导致反弹率与 HIC 下降。李辉^[14]研究表明, 以 PAM 作为加固材料的土壤内聚力及内摩擦角会随浓度增大而减小。在践踏 4 周后对比不同加固材料发现, PAM 的扭动摩擦下降较为显著, 这可能是由于 PAM 在浓度为 1.0% 时, 土体相对于其他处理抗压强度低, 且在践踏下不能有效草坪草受损伤, 两者共同导致 PAM 扭动摩擦显著下降。在坪床中加入加固材料, 会提高或降低草坪的反弹性能^[29]。本研究中, 在践踏第 1 周时, XW 的添加显著降低了坪床的反弹性能, 这可能是由于 XW 相较于其他加固剂或植物纤维会使足球落下后更多的能量被坪床和 XW 形成的复合结构吸收, 导致反弹率下降。

4 结论

在中等践踏强度下, 使用加固剂和植物纤维等加固材料对移动式运动场草坪进行加固在短期内可以有效提高坪床的稳定性及使用强度, 降低球员受伤的潜在风险, 但在长期使用情况下, 一定要控制比赛的数量, 以免高强度举办比赛导致坪床沙层结构发生改变。其中, 移动式运动场坪床的加固材料使用 WOH 可以更长期有效的保证坪床的稳定结构, 降低球员受伤风险, 可满足高质量运动场的质量要求。

参考文献 References:

- [1] ROBERTS J, OSEI-OWUSU P, HARLAND A, OWEN A, SMITH A. Elite football players' perceptions of football turf and natural grass surface properties. *Procedia Engineering*, 2014, 72(1): 907-912.
- [2] 韩烈保. 运动场草坪. 北京: 中国林业出版社, 1999.
HAN L B. *Sports Turf*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
- [3] BONSER S, HUGHES B R, CALAUTIT J K. Investigation of the impact of roof configurations on the wind and thermal environment in football stadiums in hot climates. *International Journal of Ventilation*, 2020, 19(4): 260-279.
- [4] 张兴波. 坪床控温对模拟鸟巢式体育场草坪生长的影响. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2006.
ZHANG X B. *Studies on the influence of soil temperature control on turfgrass growth in simulated Nest-type Beijing Olympic stadium*. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.
- [5] VAN HOOFF T, BLOCKEN B, VAN HARTEN M. 3D CFD simulations of wind flow and wind-driven rain shelter in sports stadia: Influence of stadium geometry. *Building and Environment*, 2011, 46(1): 22-37.
- [6] 王逢睿, 王旭东, 王捷, 张小兵. 偏高岭土复合固化剂改性生土材料的结构及性能研究. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2020, 56(3): 341-348.

- WANG F R, WANG X D, WANG J, ZHANG X B. The structure and properties of soil materials modified by the metakaolin composite reinforcer. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 2020, 56(3): 341-348.
- [7] 马笑, 王晨光, 郝珊, 甘旭, 张阿凤, 王旭东. 聚丙烯酰胺和椰糠配合对绿地土壤换填介质渗、蓄、净的效果. *地球环境学报*, 2020, 11(1): 112-118.
- MA X, WANG C G, HAO S, GAN X, ZHANG A F, WANG X D. Effects of polyacrylamide and coir on the media infiltration, retention and purification in urban greenland soils. *Journal of Earth Environment*, 2020, 11(1): 112-118.
- [8] MAMEDOV A I, WAGNER L E, HUANG C. Polyacrylamide effects on aggregate and structure stability of soils with different clay mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(5): 1720-1732.
- [9] 李元元, 王占礼. 聚丙烯酰胺(PAM)防治土壤风蚀的研究进展. *应用生态学报*, 2016, 27(3): 1002-1008.
- LI Y Y, WANG Z L. Research progress on wind erosion control with polyacrylamide (PAM). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(3): 1002-1008.
- [10] 李亚飞, 张翔, 常栋, 毛家伟, 李亮, 程培军, 司贤宗, 索炎炎, 邱岭军, 李琦. 不同土壤调理剂对土壤性质和烟叶产量、质量的影响. *土壤通报*, 2021, 52(6): 1402-1410.
- LI Y F, ZHANG X, CHANG D, MAO J W, LI L, CHENG P J, SI X Z, SUO Y Y, QIU L J, LI Q. Effects of different soil conditioners on soil properties and flue-cured tobacco yield and quality. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(6): 1402-1410.
- [11] 郑亚楠, 赵铭钦, 贺凡, 单圆圆, 毛亚博, 康家豪, 刘芳. 聚丙烯酸盐类改良剂对土壤理化性状及烤烟根系生长的影响. *中国烟草科学*, 2017, 38(2): 39-44.
- ZHENG Y N, ZHAO M Q, HE F, SHAN Y Y, MAO Y B, KANG J H, LIU F. Effects of polyacrylic acid salt soil amendment on soil properties and root growth of flue-cured tobacco. *Chinese Tobacco Science*, 2017, 38(2): 39-44.
- [12] 常志璐, 裴向军, 吴梦秋, 杨晴雯. 植物纤维加筋固化土抗压强度和渗透试验研究. *工程地质学报*, 2017, 25(4): 912-919.
- CHANG Z L, PEI X J, WU M Q, YANG Q W. Experimental study on compressive strength and permeability of soil solidified with coconut-fiber and double polyethylene material. *Journal of Engineering Geology*, 2017, 25(4): 912-919.
- [13] 任志宏, 于健, 史吉刚, 宋耀兴. PAM与SAP对土壤水分及小麦生长的影响. *节水灌溉*, 2015(4): 6-9.
- REN Z H, YU J, SHI J G, SONG Y X. Effects of PAM and SAP on soil moisture and wheat growth. *Water Saving Irrigation*, 2015(4): 6-9.
- [14] 李辉. 固化剂对运动场草坪坪床性质和草坪草生长的影响. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2020.
- LI H. Effects of polymeric curing agent on properties of turf bed and the growth of sport turfgrass. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [15] 龙荣. 不同纤维类型及比例条件下草坪根系加固效果研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2018.
- LONG R. Study on the effect of turfgrass reinforcement under different fiber types and ratios. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [16] KOWALEWSKI A R, SCHWARTZ B M, GRIMSHAW A L. Biophysical effects and ground force of the baldree traffic simulator. *Crop Science*, 2013, 53(5): 2239-2244.
- [17] RACHEL H, CATHERINE P. Differences in resistance of three subtropical vegetation types to experimental trampling. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(2): 1305-1312.
- [18] 冯巧, 刘瑾, 卢毅, 汪勇, 张达, 元孝辉, 刘芮彤. 一种复合固化剂改良砂土的强度试验研究. *工程地质学报*, 2017, 25(4): 903-911.
- FENG Q, LIU J, LU Y, WANG Y, ZHANG D, QI X H, LIU R T. Experimental study on strength of sand reinforced with composite reinforcement agent. *Journal of Engineering Geology*, 2017, 25(4): 903-911.
- [19] 张鹏. 水泥和聚丙烯酰胺对高羊茅草坪根系层加固性能及根系生长影响的研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2019.
- ZHANG P. Effect of cement and polyacrylamide on root layer reinforcement and growth of tall fescue turf. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.
- [20] 李宏钧, 孔亚平, 张岩. 植物纤维毯生态防护效益研究述评. *中国水土保持科学*, 2016, 14(3): 146-154.
- LI H J, KONG Y P, ZHANG Y. A review of geotextiles ecological protection technology. *Science of Soil and Water Conservation*,

- 2016, 14(3): 146-154.
- [21] 高立成. 固化剂改良黄土力学特性试验研究. 太原: 太原理工大学硕士学位论文, 2013.
GAO L C. Experimental research on mechanical properties of loess improved by curing agents. Master Thesis. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2013.
- [22] 汪呈, 刘志超, 徐伟, 常智慧. 植物纤维在运动场草坪坪床中的应用. *草业科学*, 2019, 36(10): 2516-2524.
WANG C, LIU Z C, XU W, CHANG Z H. Application of plant fibers in sports turf rootzone. *Pratacultural Science*, 2019, 36(10): 2516-2524.
- [23] 邢强, 秦俊, 胡永红. 不同践踏强度对3种暖季型草坪草的影响. *草业学报*, 2022, 31(2): 52-61.
XING Q, QIN J, HU Y H. Effects of different trampling intensities on three species of warm season turfgrass. *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(2): 52-61.
- [24] MCNITT A S. Effects of soil reinforcing materials on the surface hardness, soil bulk density, and water content of a sand root zone. *Crop Science*, 1984, 43(3): 957-966.
- [25] 陈雨峰, 张桐瑞, 周丽甜, 宋桂龙, 濮阳雪华, 周志湘, 韩烈保. 践踏对不同植丝密度混合草坪质量的影响. *草地学报*, 2020, 28(6): 1597-1604.
CHEN Y F, ZHANG T R, ZHOU L T, SONG G L, PUYANG X H, ZHOU Z X, HAN L B. The influence of traffic frequency on the quality of stitched hybrid turf with different density. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(6): 1597-1604.
- [26] LEAO R M, LUZ S M, ARAUJO J A. Surface treatment of coconut fiber and its application in composite materials for reinforcement of polypropylene. *Journal of Natural Fibers*, 2015, 12(6): 574-586.
- [27] 江灿琿, 吴鸣飞, 刘瑾, 祁长青, 钱卫, 李明阳. 高分子聚合物-剑麻纤维复合加固砂土抗压特性试验研究. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2021, 38(1): 32-39.
JIANG C H, WU M F, LIU J, QI C Q, QIAN W, LI M Y. Experimental study on compressive characteristics of sand reinforced by polymer and sisal fiber. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition)*, 2021, 38(1): 32-39.
- [28] 张桐瑞, 李富翠, 韩烈保, 陈雨峰, 宋桂龙, 张亚楠, 陈佳宝, 唐斌, 窦玮豪. 践踏对草垫式人造-天然混合草坪质量的影响. *草业学报*, 2021, 30(10): 26-40.
ZHANG T R, LI F C, HAN L B, CHEN Y F, SONG G L, ZHANG Y N, CHEN J B, TANG B, DOU W H. Effects of trampling intensity on the quality of artificial carpet hybrid turf. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(10): 26-40.
- [29] 满达, 包永霞, 宋桂龙, 韩烈保. 运动场草坪的坪床加固技术研究进展. *草业科学*, 2010, 27(7): 41-47.
MAN D, BAO Y X, SONG G L, HAN L B. Research progress on strengthening technology for turfbed in the sports field. *Pratacultural Science*, 2010, 27(7): 41-47.

(责任编辑 苟燕妮)