

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0108

麦靖雯, 武鑫, 徐彦花, 刘天增, 张巨明. 不同类型人造草坪对混合草坪建植质量的影响. 草业科学, 2021, 38(7): 1270-1277.
MAI J W, WU X, XU Y H, LIU T Z, ZHANG J M. The influence of different types of artificial turf on the quality of hybrid turf. Pratacultural Science, 2021, 38(7): 1270-1277.

不同类型人造草坪对混合草坪 建植质量的影响

麦靖雯^{1,2}, 武鑫^{1,2}, 徐彦花^{1,2}, 刘天增^{1,2}, 张巨明^{1,2}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510642; 2. 广东省草业工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

摘要: 不同类型的人造草坪具有不同的草丝密度和底布空隙, 对草坪草生长影响很大, 是混合草坪建植成败的关键。本研究选用两种规格的常规型人造草坪和 4 种规格的编织型人造草坪, 在人造草坪上采用直播狗牙根 (*Cynodon dactylon*) 种子的方式建植混合草坪, 以狗牙根草坪为对照, 对不同类型混合草坪建植后的坪用性状及其质量进行比较与综合评价。结果表明, 经密 31.49 丝·cm⁻¹、纬密 157.48 丝·cm⁻¹、草丝密度为 1.71 根·cm⁻² 的人造草构建的混合草坪, 成坪后狗牙根密度为 2.54 枝·cm⁻², 盖度为 88.57%, 生物量为 9.97 g·盆⁻¹, 均一性分值为 6.44 分, 加权均分为 8.44 分, 均高于其他类型的人造草坪。综合评价结果, 该规格的编织型人造草坪较适合建植混合草坪。

关键词: 编织型人造草坪; 常规型人造草坪; 狗牙根; 混合草坪建植; 耐践踏性; 草坪质量

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)07-1270-08

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

MAI Jingwen^{1,2}, WU Xin^{1,2}, XU Yanhua^{1,2}, LIU Tianzeng^{1,2}, ZHANG Juming^{1,2}

(1. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China;
2. Engineering Research Center for Grassland Science, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Different types of artificial turf are characterized by differing fiber densities and gaps in the base fabric, which have a considerable influence on turf growth and are key factors contributing to the successful establishment of hybrid turf. In this study, two types of conventional synthetic turf and four types of woven synthetic turf were seeded with common bermudagrass to establish different hybrid turfs. Following the establishment of hybrid turf, we conducted a comprehensive evaluation of the characteristics and quality of different types of turf compared with the common bermudagrass turf. The results revealed that after the complete establishment of hybrid turf, the density of bermudagrass in the woven synthetic turf, with a longitude density of 31.49 yarns·cm⁻¹ and weft density of 157.48 yarns·cm⁻¹, and artificial turf density of 1.71 fiber·cm⁻² and 2.54 shoot·cm⁻², coverage of 88.57%, biomass of 9.97 g·pot⁻¹, uniformity of 6.44 points, and weighted mean of 8.44 points, were all higher than those of the other types of synthetic turf. On the basis of our comprehensive evaluation, this type of woven synthetic turf was accordingly identified as the most suitable for the fabrication of natural-synthetic hybrid turf.

Keywords: woven artificial turf; conventional artificial turf; bermudagrass; hybrid turf establishment; wear resistance; turf quality

Corresponding author: ZHANG Juming E-mail: jimmzh@scau.edu.cn

收稿日期: 2021-03-01 接受日期: 2021-04-17

基金项目: 广州傲胜人造草公司研发项目 (H2016040)

第一作者: 麦靖雯 (1994-), 女, 广东佛山人, 硕士, 研究方向为运动草坪。E-mail: maijingwen@yeah.net

通信作者: 张巨明 (1963-), 男, 甘肃景泰人, 教授, 博士, 研究方向为草坪与草地生态。E-mail: jimmzh@scau.edu.cn

人造草坪是以塑料化纤产品为原料,在工厂制造生产的一种产品^[1]。最早的人造草坪出现于20世纪60年代的美国^[2]。经过几十年的不断研发,人造草材料和生产工艺得到不断优化,其反弹率、滚动摩擦性等指标已与人工建植的草坪十分相近^[3]。人造草坪养护管理简单,使用不受季节影响,耐践踏性强^[4],但有研究表明,人造草坪更容易使运动员脚踝或膝关节受伤^[5-6]。近年来,通过在人造草坪上播种草坪草建植混合草坪,可优化人造草坪的运动性能^[7],从而减少运动员脚踝、膝关节受伤的几率。混合草坪现已成为运动场草坪的一种新类型^[8],并在2018年俄罗斯举办的世界杯足球赛赛场上开始使用。

人造草坪的类型及其产品规格对混合草坪能否成功建植影响很大。根据生产工艺分类,人造草坪可以分为常规型和编织型。常规型人造草坪是以丁苯乳胶作为背胶,固定人造草丝。其生产工艺成熟,成本低,使用广泛,但草丝密度大,底布密实,排水性、通透性差,草坪草在其中难以生长,因此常规人造草坪需要经过疏剪草丝、打孔处理,为根系创造良好的通气排水环境,为草坪草提供适宜的生长空间。武鑫^[9]研究发现,在不同规格的常规型人造草坪底布打孔处理中,以孔径10 mm、孔间距2.5 cm处理,直播普通狗牙根(*Cynodon dactylon*)种子建植的草坪密度、盖度、植株生物量等指标表现更优异,建植的混合草坪质量最佳。

编织型人造草坪是以人造草丝和底布为基料使用双针床机器进行一体化织造而生产出的一种新型人造草坪^[10]。其底布经纬线之间纵横交错,形成大量的缝隙,这些缝隙不但有利于混合草坪坪床的通气 and 排水,而且能够让草坪草根穿透底布向纵深生长,进而吸收人造草底布下层土壤中的水分和养分,有利于草坪草(特别是根系)的生长。编织型人造草坪底布的缝隙大小,也就是底布的通透性是由其经纬密度所决定,但在构建混合草坪中,适合草坪草生长的编织型人造草坪的经纬规格尚未明确,有待研究。

本研究探讨适合草坪草生长的编织型人造草坪间隙规格,以及编织型人造草坪与常规型人造草坪对建植混合草坪质量的影响,这对混合草坪的建植和推广都具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在广东省广州市天河区华南农业大学莘园后塑料大棚中进行。属亚热带季风湿润气候,全年平均气温21.7℃,全年无霜期335~360 d,年平均降水量为2 234 mm,多集中在4月~7月,气候温和、光照充足、雨量充沛。试验于2016年9月1日开始,至2016年11月14日结束。试验期间平均温度为24.5℃。

1.2 试验材料

两种类型人造草坪由广州傲胜人造草公司提供:一种是传统型2D系列人造草AVG,草丝纤维原材料为进口聚乙烯(厚度300 μm,宽度1.5 mm,草丝长度50 mm),背胶为美国陶氏丁苯乳胶,底部为博纳抗紫外线聚丙烯底布和沙罗底布;另一种是编织型人造草坪,草丝纤维原材料为进口聚乙烯,宽度(1.1±0.1) mm,厚度(240±10) μm,高度50 mm。人造草坪裁剪大小为33 cm×44.5 cm。种植盆规格为49 cm×38 cm×13.5 cm,底部均匀分布6个直径为5 mm的小孔。试验草种选用狗牙根,种植材料为种子,纯净度为98%,发芽率为92%,播种量为15 g·m⁻²。基质由80%沙+20%泥炭土混配而成。泥炭土为德国Hawita(含有机质90%,pH 5.5~6.5),沙为当地河沙。

1.3 试验设计

在种植盆先铺设9 cm的基质,随后铺设不同规格的人造草坪,其上再覆4 cm的基质,浇水浸透沉降后,土壤表面距离盆平面2.5 cm。待土壤表面干爽后将人造草丝人工梳理出来,平整后播种狗牙根草种。播种采用人工撒播方式,将每盆预先称量好的种子,按质量比1:10(种子:沙)与沙充分拌和后均匀撒播到人造草中,覆沙2 mm,压实,浇水。

试验设置常规型2种规格、编织型4种规格共6种人造草坪处理(表1),建植混合草坪,对照为狗牙根草坪。试验采用随机区组设计,重复3次。

1.4 后期管理

出苗期,每天用喷壶浇水一次,渗透土壤表层1 cm。一周后,根据水分蒸发量浇水,一周浇水1~2次。采取人工拔除方式清除杂草。待草层高度

表 1 不同类型的人造草坪处理
Table 1 The different types of artificial turf examined in this study

编号 Code	人造草坪类型 Artificial turf type	规格 Specification	人造草丝密度/(根·cm ⁻²) Density of artificial turf/(fiber·cm ⁻²)
G ₁	常规型人造草坪AVG-1 Conventional AVG-1	草丝行距为38 mm，底布打孔规格为孔径10 mm，打孔间距2.5 cm Row spacing of grass, 38 mm; hole size of basal substrate, 10 mm; and hole spacing, 2.5 cm	2.56 ± 0.10
G ₂	常规型人造草坪AVG-2 Conventional AVG-2	草丝行距为58 mm，底布打孔规格为孔径10 mm，打孔间距2.5 cm Row spacing of grass, 58 mm; hole size of basal substrate, 10 mm; and hole spacing, 2.5 cm	2.01 ± 0.33
X ₁	进口编织型人造草坪 Xtragrass Imported Woven	经密80丝·英寸 ⁻¹ (31.49丝·cm ⁻¹)，纬密400丝·英寸 ⁻¹ (157.48丝·cm ⁻¹)， 经纬间的缝隙为(1.00 ± 0.10) mm Warp density, 31.49 yarns·cm ⁻¹ and weft density, 157.48 yarns·cm ⁻¹ . Gap between warp and weft, (1.00 ± 0.10) mm	2.40 ± 0.29
X ₂	国产编织型人造草坪 Domestic Woven	经密80丝·英寸 ⁻¹ (31.49丝·cm ⁻¹)，纬密350丝·英寸 ⁻¹ (137.80丝·cm ⁻¹)， 经纬间的缝隙为(1.20 ± 0.10) mm Warp density, 31.49 yarns·cm ⁻¹ ; weft density, 137.80 yarns·cm ⁻¹ . Gap between warp and weft, (1.20 ± 0.10) mm	2.33 ± 0.14
X ₃	国产编织型人造草坪 Domestic Woven	经密80丝·英寸 ⁻¹ (31.49丝·cm ⁻¹)，纬密400丝·英寸 ⁻¹ (157.48丝·cm ⁻¹)， 经纬间的缝隙为(1.00 ± 0.10) mm Warp density, 31.49 yarns·cm ⁻¹ ; weft density, 157.48 yarns·cm ⁻¹ . Gap between warp and weft, (1.00 ± 0.10) mm	1.71 ± 0.06
X ₄	国产编织型人造草坪 Domestic Woven	经密80丝·英寸 ⁻¹ (31.49丝·cm ⁻¹)，纬密450丝·英寸 ⁻¹ (177.17丝·cm ⁻¹)， 经纬间的缝隙为(0.80 ± 0.10) mm Warp density, 31.49 yarns·cm ⁻¹ ; and weft density, 177.17 yarns·cm ⁻¹ . Gap between warp and weft, (0.80 ± 0.10) mm	1.67 ± 0.22
CK		不铺设人造草坪，仅播种狗牙根种子 No artificial turf, only seeded with common bermudagrass	

经密指织布长度方向1 cm内纱线的排列根数；纬密指织布宽度方向1 cm内纱线的排列根数。
Warp density refers to the number of yarns arranged within one centimeter of the fabric length, and weft density refers to the number of yarns arranged within one centimeter of the width of the fabric.

为 7 cm 时进行第 1 次修剪，按照 1/3 原则进行修剪，随后每周修剪 1~2 次，留茬高度为 2.5 cm；每两周施用 N : P : K = 15 : 15 : 15 的复合肥，每次用量为 15 g·m⁻²。

1.5 测定指标

1.5.1 密度

样框法测定。采用 10 cm × 10 cm 的样框放置盆栽草坪上，分别计数样框内草坪草枝条数(枝·cm⁻²)和人造草的纤维数(根·cm⁻²)，每 4 周测量一次。

1.5.2 盖度

样框法测定。将由 35 个小格(5 cm × 5 cm)组成的 25 cm × 35 cm 样框随机放在盆栽草坪上，针刺每个节点，分别统计接触到草坪草和人造草的节点数量，并用百分数表示。每 4 周测量一次。

1.5.3 均一性

目测打分法^[1]。3 个人分别独立对每盆草坪均一性目测打分，分值 1—9 分。每 4 周打分一次。

1.5.4 生长速度

以草坪修剪前后生长高度的变化来衡量。在每盆内于修剪前后随机选取 5 个点，用直尺测定其高度，取其平均值。

生长速度(cm·d⁻¹)=
$$\frac{\text{修剪前高度} - \text{修剪后高度}}{\text{两次修剪相隔天数}}$$

(1)

1.5.5 草屑量

人工用草剪修剪草坪。每次修剪后收集草坪草草屑，将其放置在 105 ℃ 下杀青 30 min，然后在 80 ℃ 烘箱中烘至恒重，记录样品的干重。

1.5.6 生物量

试验结束清盆时，将每盆狗牙根全部植株洗净，放进温度设置在 105 ℃ 下杀青 30 min，然后在 80 ℃ 烘箱中烘至恒重，记录样品的干重。

1.5.7 综合评价

通过加权均分法对每盆草坪进行综合评价。对各个处理的各项指标表现分 5 级 9 分制打分(1~

9 分), 权重系数根据各项指标对草坪耐践踏性的重要性确定 (表 2), 根据表 2 各项指标的得分和权重系数计算加权平均分。

$$\text{加权平均分} = \sum (\text{权重} \times \text{各个指标分值}). \quad (2)$$

1.6 数据分析

试验数据采用 Excel 2013 进行图表分析, 用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 用 Duncan’s 法在 $P < 0.05$ 水平下进行多重比较。

表 2 草坪质量各指标分级、评分和权重系数表
Table 2 Range of scale and score for assessed turf quality indices

等级 Rank	评分 Score	密度 Density/ (shoot or fiber·cm ⁻²)	成坪后盖度 Coverage after turf establishment/%	均一性 Uniformity	生长速度 Growth rate/ (cm·d ⁻¹)	草屑量 Clipping yield/g	生物量 Biomass/ g
I	8~9	≥ 3.00	≥ 90	很均匀 Very uniform	≥ 2.00	≥ 1.20	≥ 9.00
II	6~7	2.00~3.00	85~90	较均匀 More uniform	1.50~2.00	0.90~1.20	7.00~8.00
III	4~5	1.00~2.00	80~85	均匀 Uniform	1.00~1.50	0.60~0.90	5.00~6.00
IV	2~3	0.50~1.00	75~80	不均匀 Non-uniform	0.50~1.00	0.30~0.60	3.00~4.00
V	1	< 0.50	≤ 75	极不均匀 Extremely non-uniform	< 0.50	≤ 0.30	≤ 2.00
权重系数 Weight coefficient		0.25	0.15	0.10	0.05	0.15	0.30

2 结果与分析

2.1 不同类型人造草坪对混合草坪密度的影响

各处理的密度随建植时间呈上升趋势, 其中处理 CK 的密度均为最小, 处理 X₃ 的密度在 9 月 14 日和 11 月 9 日时最高 (表 3)。由于混合草坪在后期出现人造丝倒伏情况, 各处理的人造草丝密度均呈下降的趋势。由于人造草坪材料的草丝行距或纬

密不一样, 所以导致各处理间的人造草丝密度有显著差异 ($P < 0.05$), 其中处理 G₁ 的人造草丝密度在 3 次测量中均为最大。在 3 次测量中, CK 的总密度均显著小于其余处理, 而其余处理间的总密度没有显著差异 ($P > 0.05$), 但处理 X₃ 的总密度较高。

2.2 不同类型人造草坪对混合草坪盖度的影响

各处理的盖度随建植时间呈上升的趋势, 3 次测量中, 处理 X₄ 均表现较优 (表 4)。人造草的盖度与

表 3 不同类型人造草坪对混合草坪密度的影响
Table 3 The effecte of different types of artificial turf on hybrid turf density

日期 Date/ (MM-DD)	草坪 Turf	处理 Treatment							shoot or fiber·cm ⁻²
		G ₁	G ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	CK	
09-14	狗牙根 Bermudagrass	0.52 ± 0.16b	0.83 ± 0.06b	0.76 ± 0.09b	0.82 ± 0.12b	1.48 ± 0.06a	1.45 ± 0.30a	0.87 ± 0.07b	
	人造草 Artificial turf	2.56 ± 0.10a	2.01 ± 0.33bc	2.40 ± 0.29a	2.33 ± 0.14ab	1.71 ± 0.06bc	1.67 ± 0.22c	0.00 ± 0.00d	
	总密度 Total density	3.08 ± 0.21a	2.84 ± 0.38a	3.15 ± 0.19a	3.16 ± 0.16a	3.20 ± 0.01a	3.12 ± 0.30a	0.87 ± 0.07b	
10-12	狗牙根 Bermudagrass	0.81 ± 0.15c	1.32 ± 0.06bc	1.26 ± 0.35bc	1.33 ± 0.36bc	2.00 ± 0.04ab	2.13 ± 0.32a	1.27 ± 0.04bc	
	人造草 Artificial turf	2.28 ± 0.08a	1.71 ± 0.31b	1.87 ± 0.09ab	1.78 ± 0.07b	1.44 ± 0.08b	1.53 ± 0.17b	0.00 ± 0.00c	
	总密度 Total density	3.10 ± 0.20a	3.03 ± 0.36a	3.14 ± 0.40a	3.12 ± 0.33a	3.44 ± 0.08a	3.65 ± 0.14a	1.27 ± 0.04b	
11-09	狗牙根 Bermudagrass	1.09 ± 0.20b	1.81 ± 0.28ab	1.74 ± 0.23ab	1.62 ± 0.36ab	2.54 ± 0.20a	2.26 ± 0.37a	2.14 ± 0.41a	
	人造草 Artificial turf	2.03 ± 0.10a	1.78 ± 0.03b	1.71 ± 0.07bc	1.54 ± 0.14bc	1.17 ± 0.09d	1.24 ± 0.13cd	0.00 ± 0.00e	
	总密度 Total density	3.13 ± 0.24a	3.59 ± 0.31a	3.45 ± 0.20a	3.17 ± 0.36a	3.71 ± 0.25a	3.50 ± 0.24a	2.14 ± 0.41b	

同行不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$); 处理编号同表1所列; 下同。
Different lowercase letters within the same row indicate significant differences between different hybrid turfs at the 0.05 level; the treatment codes are same as them in Table 1; this is applicable for the following figures and tables as well.

其密度一样呈下降趋势,但下降的幅度甚少。至 11 月 9 日最后一次测量中,CK 的总盖度显著小于其他各处理 ($P < 0.05$),除 X_2 外,其他各处理间的总盖度无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 不同类型人造草坪对混合草坪均一性的影响

各处理的均一性随建植时间呈上升趋势,且各处理间存在明显差异 (表 5)。3 次测量中,CK 的均一性分值均为最低,且第 1 次显著 ($P < 0.05$) 低于其

表 4 不同类型人造草坪对混合草坪盖度的影响
Table 4 The effects of different types of artificial turf on hybrid turf coverage

日期 Date/ (MM-DD)	草坪 Turf	处理 Treatment							%
		G ₁	G ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	CK	
09-14	狗牙根 Bermudagrass	18.09 ± 5.79b	47.62 ± 9.08ab	36.19 ± 14.80ab	43.81 ± 16.20ab	74.28 ± 4.36a	74.28 ± 12.80a	48.57 ± 11.80ab	
	人造草 Artificial turf	74.28 ± 5.40a	49.57 ± 2.08b	62.86 ± 5.94a	68.57 ± 7.18a	64.76 ± 1.90a	69.04 ± 4.06a	0.00 ± 0.00c	
	总盖度 Total coverage	84.76 ± 3.94a	84.76 ± 2.90a	80.95 ± 1.95a	80.00 ± 1.65a	83.81 ± 5.03a	86.66 ± 5.30a	48.57 ± 11.80b	
10-12	狗牙根 Bermudagrass	63.81 ± 6.66c	60.95 ± 2.85c	64.76 ± 7.19c	64.76 ± 5.79c	86.66 ± 0.14a	86.66 ± 2.51a	78.09 ± 3.43b	
	人造草 Artificial turf	73.81 ± 4.97a	48.52 ± 4.37b	61.43 ± 7.04ab	63.33 ± 6.29a	59.28 ± 3.93ab	66.66 ± 4.23a	0.00 ± 0.00c	
	总盖度 Total coverage	94.29 ± 3.36a	93.33 ± 2.95a	88.57 ± 4.36a	87.62 ± 2.51a	95.24 ± 3.94a	94.28 ± 2.64a	78.09 ± 3.43b	
11-09	狗牙根 Bermudagrass	74.76 ± 6.24b	80.00 ± 3.43b	74.28 ± 9.94b	79.04 ± 6.66b	88.57 ± 0.95a	92.38 ± 1.90a	79.04 ± 5.30b	
	人造草 Artificial turf	70.00 ± 2.97a	45.71 ± 2.91c	57.61 ± 5.36abc	59.52 ± 6.91abc	55.00 ± 2.57bc	61.43 ± 4.94ab	0.00 ± 0.00d	
	总盖度 Total coverage	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	97.14 ± 1.64a	92.38 ± 0.95b	99.04 ± 0.95a	99.04 ± 0.95a	79.04 ± 5.30c	

表 5 不同类型人造草坪对混合草坪均一性、生长速度和草屑量的影响
Table 5 Effect of different types of artificial turf on hybrid turf uniformity, growth rate and turf clippings

指标 Parameter	日期 Date/(MM-DD)	处理 Treatment						
		G ₁	G ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	CK
均一性 Uniformity	09-14	4.16 ± 0.09a	4.16 ± 0.16a	3.83 ± 0.33a	4.32 ± 0.35a	4.72 ± 0.05a	4.50 ± 0.41a	2.61 ± 0.24b
	10-12	5.61 ± 0.43ab	5.49 ± 0.33ab	5.72 ± 0.56ab	5.39 ± 0.14ab	5.89 ± 0.11a	5.83 ± 0.09a	4.66 ± 0.33b
	11-09	6.55 ± 0.05a	6.11 ± 0.11ab	6.22 ± 0.39ab	5.83 ± 0.25bc	6.44 ± 0.05ab	6.77 ± 0.24a	5.22 ± 0.05c
	平均数 Average	5.57 ± 0.33a	5.30 ± 0.37ab	5.28 ± 0.42ab	5.24 ± 0.26ab	5.73 ± 0.29a	5.87 ± 0.39a	4.26 ± 0.41b
生长速度 Growth rate/ (cm·d ⁻¹)	09-14	1.08 ± 0.02b	1.16 ± 0.06ab	1.16 ± 0.02ab	1.12 ± 0.01ab	1.17 ± 0.02ab	1.20 ± 0.04ab	1.23 ± 0.05a
	10-12	0.75 ± 0.02b	0.72 ± 0.01bc	0.62 ± 0.03c	0.74 ± 0.03b	0.98 ± 0.04a	1.01 ± 0.04a	0.92 ± 0.04a
	11-09	0.36 ± 0.03bc	0.33 ± 0.01c	0.31 ± 0.02c	0.39 ± 0.02bc	0.51 ± 0.04a	0.54 ± 0.02a	0.45 ± 0.01ab
	平均数 Average	0.78 ± 0.01b	0.78 ± 0.01b	0.70 ± 0.02b	0.77 ± 0.01b	0.89 ± 0.03a	0.95 ± 0.03a	0.94 ± 0.03a
草屑量 Turf clippings/g	09-14	1.14 ± 0.17c	1.26 ± 0.01c	2.20 ± 0.10a	1.06 ± 0.03c	1.84 ± 0.06b	1.65 ± 0.04b	1.19 ± 0.06c
	10-12	0.82 ± 0.02b	0.79 ± 0.02b	0.78 ± 0.00b	0.55 ± 0.05c	1.25 ± 0.11a	1.20 ± 0.01a	0.89 ± 0.02b
	11-09	0.21 ± 0.03d	0.32 ± 0.01c	0.26 ± 0.02cd	0.20 ± 0.02d	0.56 ± 0.03b	0.72 ± 0.01a	0.50 ± 0.05b
	平均数 Average	0.52 ± 0.06d	0.67 ± 0.03c	0.79 ± 0.04bc	0.54 ± 0.03d	0.96 ± 0.02a	0.92 ± 0.02ab	0.85 ± 0.05ab

他处理。处理 X₄ 的均一性平均值最高, 为 5.87 分。

2.4 不同类型人造草坪对混合草坪生长速度的影响

由于试验末期渐入冬季, 温度下降, 因此各处理的狗牙根生长速度随建植时间呈下降的趋势(表 5)。在 3 次测量中, 处理 X₃、X₄ 的生长速度接近或者快于 CK 的生长速度 ($P > 0.05$)。处理 X₃、X₄ 和 CK 的平均生长速度显著 ($P < 0.05$) 大于其余处理, 其中处理 X₄ 的生长速度最大, 为 $0.95\text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2.5 不同类型人造草坪对混合草坪草屑量的影响

与生长速度相似, 各处理间的草屑量随建植时间呈下降趋势(表 5)。平均草屑量处理 X₃ 最大, 为 0.96 g, 与处理 X₄ 和 CK 的草屑量没有显著差异 ($P > 0.05$), 但与其他处理有显著差异 ($P < 0.05$), 处理 G₁ 草屑量最少, 为 0.52 g。

2.6 不同类型人造草坪对混合草坪生物量的影响

其生物量测定结果表明, 处理 X₄ 最大, 为 10.23 g, 其次是处理 X₃, 为 9.97 g, 且两者间没有显著差异 ($P > 0.05$)(图 1)。处理 X₂ 的生物量最小, 为 4.54 g, 与 CK 和处理 X₃、X₄ 有显著差异 ($P < 0.05$)。

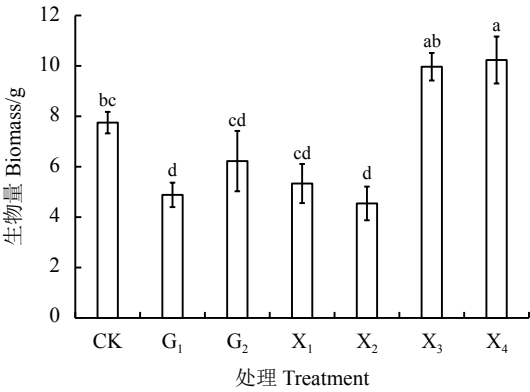


图 1 不同类型人造草坪对混合草坪生物量的影响
Figure 1 The effects of different types of artificial turf on hybrid turf biomass

不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant differences between the different treatments at the 0.05 level.

2.7 不同类型人造草坪构建的混合草坪综合评价

经计算, 各处理的加权均分排序为 $X_3 > X_4 > G_2 > CK > X_1 > G_1 > X_2$ (表 6)。处理 X₃ 的各个指标表现较好, 加权均分达到 8.44 分, 高于其他处理, 处于优良水平。其次是处理 X₄, 加权均分为 8.35 分。其他处理的分值范围为 5.63~6.84 分, 处于中等水平。

表 6 不同类型人造草坪构建的混合草坪加权评价结果
Table 6 Comprehensive evaluation of artificial turf on hybrid turf properties

人造草坪类型 Artificial turf type	总密度 Total density	总盖度 Total coverage	均一性 Uniformity	生长速度 Growth rate	草屑量 Clippings	生物量 Biomass	加权均分 Weighted mean	排名 Rank
G ₁	8	9	6.55	3.50	7.00	3.50	5.86	6
G ₂	8.5	9	6.11	4.00	8.00	5.50	6.84	3
X ₁	8.5	9	6.22	4.00	9.00	4.00	6.47	5
X ₂	8	8	5.83	4.00	6.50	3.50	5.63	7
X ₃	9	9	6.44	4.50	9.00	9.00	8.44	1
X ₄	8.5	9	6.77	4.50	8.50	9.00	8.35	2
CK	6	9	5.22	4.50	8.00	6.50	6.67	4

3 讨论与结论

要使混合草坪成功建植, 关键之一在于人造草底布具有良好的通透性, 为草坪草根生长创造良好的环境条件。然而, 常规型人造草坪底布涂抹丁苯乳胶, 透水性很差^[12], 底布上层的水分难以向下渗透, 从而影响坪床的排水性, 不利于草坪草根系的生长。因此用常规型人造草坪建植混合草坪首先需要解决人造草底布的排水不畅问题。麦靖雯等^[13]研究表明, 对常规型人造草底布采用孔径 10 mm、

孔间距 2.5 cm 的打孔处理, 可解决人造草坪底布带来的坪床排水问题, 有利于混合草坪草坪草的生长。本研究参试的两种常规型人造草坪底布即采用该打孔规格。植物的生长状况与生长空间有着密切关系^[14-15]。对于解决了排水问题的常规型人造草构建的混合草坪而言, 人造草丝行距越大, 人造草丝密度则越小, 留给草坪草生长的空间就越大。常规型人造草坪 AVG-1 (草丝行距为 38 mm) 构建的混合草坪人造草丝平均密度、盖度显著高于常规型人造草坪 AVG-2 (草丝行距为 58 mm) 构建的混合草坪, 因此

常规型人造草坪 AVG-2 混合草坪中的狗牙根拥有更多的生长空间,能够获取更多的光照,光合作用较强,植物生长更加旺盛。研究结果显示,常规型人造草坪 AVG-2 构建的混合草坪的狗牙根密度、盖度、生物量均优于 AVG-1 构建的混合草坪,表明常规型人造草坪 AVG-2 比 AVG-1 更适合建植混合草坪。

编织型人造草底布由织线编制而成,经纬方向织线交叉间均留有空隙,纬密越小空隙越大。据观测,编织型人造草坪 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 的平均空隙大小分别为 1.00、1.20、1.00、0.80 mm。植物的生长与土壤的排水性能有着密切的关系^[16-17],排水性能良好的土壤可以避免植物根系层遭受水淹,有利于根系的正常生长,进而促进地上部分的生长。然而,排水性能过强的土壤可将水分、养分也排走流失,导致植物容易缺水、缺肥,不利于植物的正常生长。因此,良好的坪床土壤其排水性能与持水性能应处于动态平衡,才有利于草坪草的生长^[18]。相比编织型人造草坪 X_1 (纬密 157.48 丝·cm⁻¹)、 X_3 (纬密 157.48 丝·cm⁻¹)、 X_4 (纬密 177.17 丝·cm⁻¹),编织型人造草坪 X_2 经纬之间具有较大的空隙,其排水能力优于编织型人造草坪 X_1 、 X_3 、 X_4 ,这就意味着其保水保肥能力不及编织型人造草坪 X_1 、 X_3 、 X_4 。保水保肥能力的强弱会影响植物的生长^[19]。此外,混合草坪中人造草丝的密度也可能影响草坪草的生长。编织型人造草坪 X_1 和 X_2 的人造草丝密度高于 X_3 、 X_4 ,虽然编织型人造草坪 X_1 的经纬密度与 X_3 的相同,但 X_1 混合草坪的生物量显著低于处理 X_3 ,可能是因为 X_1 高密度的人造草丝占据了草坪草的生长空间,阻

碍了草坪草捕捉光源,进而影响了其光合作用。这与满达等^[20]对混合草坪的研究结果相一致。这进一步证明,高密度的人造草丝不适合建植混合草坪。

本研究结果表明,与常规型人造草坪相比,根系穿过编织型人造草坪的数量较多。狗牙根的不定根直径为 1~1.5 mm^[21],其根系可以相对容易地穿过编织型的人造草坪,吸收人造草底布下深层土壤的水分和养分,从而有利于根系的生长。本研究结果表明,编织型人造草坪 X_3 、 X_4 构建的混合草坪的草屑量、生物量基本上显著大于常规型人造草坪 AVG-1、AVG-2 构建的混合草坪的草屑量、生物量。常规型人造草坪的草丝呈簇状条形排列,编织型人造草坪的草丝是单独均匀垂直分布在底布上。因此从表观上看,狗牙根草坪草叶片与编织型人造草坪草丝融合性更好,反映在均一性方面编织型人造草坪 X_3 、 X_4 的均一性均优于常规型人造草坪 AVG-1、AVG-2。可见,编织型人造草坪 X_3 、 X_4 比常规型人造草坪 AVG-1、AVG-2 更有利于狗牙根的生长,更适合应用于混合草坪中。根据加权均分法对草坪质量进行综合评价结果,不同类型混合草坪质量排序为:编织型人造草坪 X_3 > 编织型人造草坪 X_4 > 常规型人造草坪 AVG-2 > 对照 CK > 编织型人造草坪 X_1 > 常规型人造草坪 AVG-1 > 国产编织型人造草坪 X_2 ,也说明草丝密度较为稀疏的编织型人造草 X_3 和 X_4 更适合建植混合草坪,其中以编织型人造草 X_3 (经密 31.49 丝·cm⁻¹、纬密 157.48 丝·cm⁻¹、人造草丝密度为 1.71 根·cm⁻²) 建植的混合草坪质量最佳。

参考文献 References:

- [1] 刘一明,张相永,姜志远.人造草坪与天然草坪的综合评价.农业科技与信息(现代园林),2008(9): 15-18.
LIU Y M, ZHANG X Y, JIANG Z Y. Comprehensive evaluation of artificial and natural lawn. Modern Landscape Architecture, 2008(9): 15-18.
- [2] 卫晓慧.简析天然草坪与人工草坪对足球运动的影响.运动,2014(86): 33-34.
WEI X H. A brief analysis of the influence of natural turf and artificial turf on football. Sport, 2014(86): 33-34.
- [3] 姚轶文,宋桂龙.人造草坪生产的现状及发展.中国教育技术装备,2007(7): 52-53.
YAO Y W, SONG G L. Artificial turf manufacture's present condition and development. China Educational Technology & Equipment, 2007(7): 52-53.
- [4] 芦长椿.人造草坪的技术发展及应用.纺织导报,2011(6): 63-65.
LU C C. Technology development and application of artificial turf. China Textile Leader, 2011(6): 63-65.
- [5] CALLOWAY S P, HARDIN D M, CRAWFORD M D, HARDIN J M, BALDWIN W W. Injury surveillance in major league soccer: A 4-year comparison of injury on natural grass versus artificial turf field. The American Journal of Sports Medicine, 2019,

- 47(10): 2279-2286.
- [6] 刘飞, 龚波, 陶然成, 董众鸣, 庾伟. 人造草坪运动场对人体健康影响的研究进展. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(4): 359-366.
LIU F, GONG B, TAO R C, DONG Z M, TUO W. Research progress on the effect of artificial turf playgrounds on human health. *Chinese Journal of Sports Medicine*, 2017, 36(4): 359-366.
- [7] 包永霞, 满达, 李聪, 韩烈保. 天然草与人造草混合系统草坪运动质量性状研究. *草地学报*, 2012, 20(1): 37-41.
BAO Y X, MAN D, LI C, HAN L B. Researches on the sport quality of natural-artificial turf. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(1): 37-41.
- [8] 汪呈, 徐伟, 常智慧. 运动场草坪床稳定性研究进展. *草业科学*, 2019, 36(3): 692-703.
WANG C, XU W, CHANG Z H. Research progress on the stability of turfgrass rootzone for sports field. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3): 692-703.
- [9] 武鑫. 天然草与人造草混合运动场草坪系统研究. 广州: 华南农业大学硕士学位论文, 2016.
WU X. Study on natural-synthetic hybrid sports turf system. Master Thesis. Guangzhou: South China Agriculture University, 2016.
- [10] 赵紫昱, 马丕波. 人造草坪的发展现状. *纺织科技进展*, 2019, 219(4): 8-11.
ZHAO Z Y, MA P B. Development status of the artificial turf progress in textile. *Progress in Textile Science & Technology*, 2019, 219(4): 8-11.
- [11] 负旭疆, 袁庆华, 苏加楷, 张文淑, 李聪, 齐晓, 邵麟惠, 马金星. GB/T 30395-2013 草品种审定技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2014.
YUN X J, YUAN Q H, SU J K, ZHANG W S, LI C, QI X, SHAO L H, MA J X. GB/T 30395-2013 Technical Regulations for Examination and Approval of Grass Varieties. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [12] 郭怡, 张艳辉, 辛军炜, 赵华建, 王晓斐. 丁苯乳胶对锦纶浸胶帘子布胶皮产生的影响. *河南工程学院学报(自然科学版)*, 2018, 30(1): 26-30.
GUO Y, ZHANG Y H, XIN J W, ZHAO H J, WANG X F. Influence of SBR on the nylon dipped cord fabric. *Journal of Henan University of Engineering*, 2018, 30(1): 26-30.
- [13] 麦靖雯, 武鑫, 徐彦花, 江院, 张巨明. 人造草底布打孔处理对混合草运动场草坪建植质量的影响. *草地学报*, 2020, 28(2): 558-564.
MAI J W, WU X, XU Y H, JIANG Y, ZHANG J M. The influence of punching treatment of artificial turf base on the establishment of hybrid sports turf. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(2): 558-564.
- [14] 沈志强, 华敏, 丹曲, 卢杰, 方江平. 藏东南川滇高山栎种群不同生长阶段的空间格局与关联性. *应用生态学报*, 2016, 27(2): 387-394.
SHEN Z Q, HUA M, DAN Q, LU J, FANG J P. Spatial pattern analysis and associations of *Quercus aquifolioides* population at different growth stages in Southeast Tibet, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(2): 387-394.
- [15] 周婧. 不同经营干扰下毛竹林空间格局及其生长特征的影响. 临安: 浙江农林大学硕士学位论文, 2014.
ZHOU J. Effects of management disturbance on spatial pattern and growth characteristics of *Phyllostachys heterocycle* 'pubescens'. Master Thesis. Lin'an: Zhejiang Agriculture and Forest University, 2014.
- [16] DOFFO G N, RODRIGUEZ M E, OLGUIN F Y, TERESA C, LUQUEZ V M C. Resilience of willows (*Salix* spp.) differs between families during and after flooding according to floodwater depth. *Trees*, 2018, 32(6): 1779-1788.
- [17] ROY L B, GARDINER E S, LEININGER T D, HAMEL P B, DAN W A, DEVALL M S, SCHIFF N M, CONNOR K F. Biomass accumulation in the endangered shrub *Lindera melissifolia* as affected by gradients of light availability and soil flooding. *Forest Science*, 2018, 64(6): 631-640.
- [18] 张巨明, 徐庆国. 运动场与高尔夫球场草坪. 北京: 中国林业出版社, 2016: 102.
ZHANG J M, XU Q G. Playground and Golf Course Turf. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016: 102.
- [19] 刘立军. 不同改良剂对北方干旱地区土壤水分和养分的影响. *吉林水利*, 2017(5): 12-16.
LIU L J. Effects of different modifiers on soil moisture and fertility in arid areas of North China. *Jilin Water Resources*, 2017(5): 12-16.
- [20] 满达, 马秀杰, 桂焱, 包永霞, 王衍祯, 韩烈保. 践踏对天然草与人造草混合系统草坪生理的影响. *中国农学通报*, 2011, 27(10): 49-53.
MAN D, MA X J, GUI Y, BAO Y X, WANG Y Z, HAN L B. The effect of traffic on the physiology of natural-artificial turf. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(10): 49-53.
- [21] 解新明. 草资源学. 广州: 华南理工大学出版社, 2009: 89.
XIE X M. Grassland Resources. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2009: 89.

(责任编辑 王芳)