

草坪基质填充废胶粒对践踏前后黑麦草生物学特性的影响

赵树兰, 多立安*, 王礼莉

(天津师范大学化学与生命科学学院, 天津 300387)

摘 要: 在栽培基质中填充废胶粒, 建植黑麦草草坪, 研究践踏前后其生物学特性的变化。结果表明: 草坪建植第 2 年返青后, 茎节数与盖度均随胶粒粒径的减小而增加, 所有胶粒处理均明显高于无胶粒处理(对照); 但茎枝长度却表现出相反的趋势, 即随胶粒粒径的增加而增加, 且均高于对照。践踏胁迫下, 黑麦草盖度、地上生物量、分蘖数表现出一致的规律, 即随胶粒粒径减小而增加, 以 1~2 mm 胶粒处理为最高, 且所有胶粒处理均好于对照。践踏胁迫使黑麦草的茎节与叶片数损伤较大。践踏胁迫下, 以 1~2 mm 处理根质量为最高, 高出对照 138.77%。综合分析表明, 基质填充废胶粒能增加草坪抗践踏能力, 这与胶粒的弹性特征密切相关; 在 3 种粒径胶粒中, 以 1~2 mm 胶粒明显优于其它粒径胶粒及未填充胶粒处理。

关键词: 黑麦草; 践踏胁迫; 废胶粒; 草坪基质; 生物学特性

中图分类号: S 688.4 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2009) 02-0233-06

Effects of Waste Crumb Rubber Filled in Turf Medium on Biological Characteristics of *Lolium perenne* L. Before and after Trample Stress

ZHAO Shu-lan, DUO Li-an*, and WANG Li-li

(College of Chemistry and Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The biological characteristics such as the number of nodes, branch length, coverage, the number of leaves, tillers, overground biomass and root growth of *Lolium perenne* L. before and after trample stress were investigated by establishing turf system with waste crumb rubber as medium amendment. After lawn returning green in the second year, the number of nodes and coverage of *L. perenne* L. increased with the decrease of crumb rubber size, and all crumb rubber treatments were all distinctly higher than the treatment without crumb rubber (control) before trample stress, but the branch length showed the opposite trend, increased with the increase of crumb rubber size. Under trample stress, the coverage, overground biomass and tiller number of ryegrass (*L. perenne*) displayed the same rule. All of the parameters increased as decreasing crumb rubber sizes. The treatment with 1 - 2 mm appeared the highest, and all treatments with different crumb rubber sizes were better than control. Trample stress damaged the number of nodes and leaves greatly. In addition, the root biomass with 1 - 2 mm crumb rubber treatment under trample stress was the highest, and was higher 138.77% than control. So the waste crumb rubber filled in turf medium as amendment could enhance trample resistance of lawn based on above comprehensive analyses. This was directly correlated with elasticity of crumb rubber. In the three treatments, the size of 1 - 2 mm crumb rubber was the optimum medium amendment for sports lawn under trample stress, and the lawn character was clearly better than that of other treatments.

Key words: *Lolium perenne* L.; trample stress; waste crumb rubber; turf medium; biological characteristics

收稿日期: 2008 - 08 - 04; 修回日期: 2009 - 02 - 04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (59878033); 天津师范大学滨海新区专项研究计划项目 (52LE19); 天津市高等学校科技发展基金项目 (20040716)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: duolian_tjnu@163.com)

运动场草坪由于长期处于高强度践踏条件下, 场地会变得紧实, 失去弹性, 草坪根带环境变差, 影响其正常生长, 严重时造成草坪退化; 基质紧实也会增加管理成本, 降低草坪寿命 (陈春阁, 1992; 宋桂龙和徐泽荣, 2004)。草坪基质填充物是决定草坪使用寿命、根带稳定性、草坪生态及运动质量的主要因素, 其影响程度远大于施肥水平和草种选择 (Aldous, 1999; 宋桂龙和韩烈保, 2003)。为解决基质紧实问题, 科学家对多种材料进行研究, 但至今尚无突破性进展 (Adams & Gibbs, 1994; Stewart, 1994; McNitt & Landschoot, 2001)。因此找到一种适宜的基质填充物是解决运动场草坪基质紧实这一问题的关键。

废旧橡胶现已成为在各国迅速蔓延的“黑色公害”, 其安全处置及资源化利用引起了国际社会的广泛关注 (Mastral et al., 2002; Sunthonpagasit & Duffey, 2004; 陆永其, 2005; Bignozzi & Sandrolini, 2006; Sukontasukkul & Chalkaew, 2006)。目前, 废胶粒生产技术已十分成熟, 主要用于铺设道路、制作橡胶地毯等 (赵光贤, 2005; 邱贤华 等, 2006)。

本研究在实验室研究基础上 (王礼莉 等, 2007a, 2007b), 通过试验地建植草坪, 在践踏胁迫下较为系统地研究了基质填充废胶粒对草坪植物生物学特性的影响, 揭示践踏胁迫下草坪基质填充胶粒的缓冲作用与草坪成坪性能之间的相关性, 以优化出适宜草坪基质填充的废胶粒粒径, 为利用废胶粒的弹性特征优势填充基质, 构建耐踏型运动场草坪及其它休闲游憩草坪提供依据 (多立安 等, 2007)。

1 材料与方法

试验地位于天津师范大学北院内 (北纬 38°34' 至 40°15', 东经 116°43' 至 118°04')。年平均气温 12.33℃, 1月最冷, 月平均气温 -4~-6℃; 7月最热, 月平均气温 26℃。年平均降水量 550~680 mm, 夏季降水量占全年降水量的 80%, 无霜期 200 d, 年平均日照射 2 610~3 090 h。

供试草种为多年生黑麦草 (*Lolium perenne* L.)。草坪基质填充物为废胶粒 (河南省新奥公司), 粒径 (直径) 分别为 1~2、2~4 和 4~6 mm。基质营养源为生活垃圾堆肥, 配材为河沙 (50目)。共设 4 个处理: 基质分别填充上述 3 种直径的废胶粒与不填充废胶粒 (对照)。小区面积为 90 m²。每个样方面积 30 cm × 30 cm, 四周和底层分别以木板为框架支撑, 并用塑料薄膜作内衬层, 使其与外环境相阻断。小区深度为 40 cm, 下层为 15 cm 厚土壤, 中层为 15 cm 厚的河沙、堆肥与胶粒的混合物, 上层为 5 cm 混合均匀的河沙与堆肥, 另外上留 5 cm 深度, 为避免灌溉时水分外溢。废胶粒处理基质中间部分组成为 10%堆肥 + 8%胶粒 + 82%河沙, 对照为 10%堆肥 + 90%河沙。于 8月 15 日播种黑麦草, 播种量为 89 g·m⁻²。正常进行杂草防除与灌溉。为了草坪植物有效越冬, 播种当年不作修剪。践踏胁迫于第 2 年春季返青期结束后进行, 第一次践踏为返青后第 95 天, 每周 1 次, 历时 2 个半月, 最后一次为第 172 天, 共 12 次。践踏设计以体重 60 kg 的男生实施均匀践踏, 践踏强度为 50 步·min⁻¹; 每次践踏 2 min, 3 次重复。此外, 为能对草坪植物生物学特征有效测定, 在整个试验过程中未进行常规修剪。

第 2 年返青后 7~54 d, 对草坪茎节数、茎枝生长和盖度进行调查, 每周记录 1 次, 盖度采用样方针刺法进行测定 (孙吉雄, 2002)。草坪践踏后的测定: 盖度测定从第 2 次践踏后 5 d 开始, 每两周 1 次, 直至最后 1 次践踏结束, 共测定 6 次。地上生物量、分蘖数、茎节数、叶片数及根系生长等指标的调查计数面积为 10 cm × 10 cm。首先记录分蘖数、茎节数和叶片数, 然后齐地刈割, 测定地上生物量。分蘖数和地上生物量测定时间为返青后 100、130、161 和 192 d, 每次测定后整个小区齐地修剪; 茎节数和叶片数的测定为返青后 175 d; 根系生长测定为返青后 196 d, 用孔径 0.25 mm 的土壤筛反复冲洗干净, 除去杂物, 并随机抽取 15 株, 测量须根数量和最长须根长度 (即每株植物都以最长的须根作为测定标准来进行测定), 然后在 105℃ 条件下烘干, 称根质量。

数据分析采用 Microsoft Excel 2003和 SPSS 13.0统计软件。

2 结果与分析

2.1 草坪建植第 2年践踏前黑麦草生物学特性

草坪建植第 2年返青后，随着胶粒粒径减小，黑麦草茎节数逐渐增多，以 1~2 mm胶粒处理最多，所有处理都明显高于对照（表 1），说明胶粒的加入促进了黑麦草茎节的生长。返青后 35 d内茎节数增加较快，尤其是返青后的 7~14 d增加最快，1~2、2~4、4~6 mm胶粒处理及对照茎节数分别增加 55.67、51.34、46及 48个·100 cm⁻²。后期茎节数增加趋于缓慢，说明返青后 54 d黑麦草茎节生长基本趋于稳定。

表 1 践踏前黑麦草茎节数
Table 1 The number of nodes of Lolium perenne before trample

返青后天数 /d Days after returning green	胶粒粒径 /mm Crumb rubber size			
	对照 Control	1~2	2~4	4~6
7	32.67 ±1.15d	45.33 ±1.53a	42.33 ±1.53b	36.67 ±1.15c
14	80.67 ±3.06c	101.00 ±3.00a	93.67 ±2.08b	82.67 ±1.53c
21	110.00 ±2.00c	134.33 ±3.21a	126.33 ±3.06b	123.67 ±3.06b
28	131.33 ±1.15d	163.33 ±4.16a	153.00 ±4.00b	145.00 ±4.00c
35	157.67 ±1.53d	195.67 ±1.15a	192.00 ±2.00b	187.67 ±1.53c
42	185.33 ±5.03c	217.67 ±2.52a	212.00 ±5.57ab	204.00 ±4.00b
47	192.00 ±2.00c	224.00 ±1.00a	219.33 ±4.04a	213.00 ±2.00b
54	194.67 ±1.53d	226.33 ±0.58a	223.00 ±2.00b	217.00 ±1.00c

注：同行数据中不同小写字母表示差异显著（*P* < 0.05）。下同。
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at *P* < 0.05. The same below.

与茎节数不同，茎枝生长以 4~6 mm胶粒处理最快，随胶粒粒径的减小而减慢，但均高于对照（表 2）。至返青后 54 d，按照粒径从大到小的顺序，3个胶粒处理茎枝长度分别比对照增加 34.01%、21.21%、7.13%。返青后的前两周茎枝生长较慢，21 d起生长速度明显加快。

表 2 践踏前黑麦草茎枝生长
Table 2 Branch growth of Lolium perenne before trample

返青后天数 /d Days after returning green	胶粒粒径 /mm Crumb rubber size				/cm
	对照 Control	1~2	2~4	4~6	
7	8.22 ±1.42b	9.19 ±1.54b	10.76 ±1.32a	10.93 ±2.02a	
14	9.63 ±1.76b	10.43 ±1.32b	12.40 ±1.65a	12.74 ±2.28a	
21	9.99 ±1.65c	12.06 ±2.08b	14.23 ±2.50a	15.30 ±2.10a	
28	12.57 ±2.40c	15.59 ±2.46b	18.94 ±3.05a	19.09 ±3.14a	
35	15.00 ±3.00c	18.04 ±2.40b	19.25 ±2.61ab	20.69 ±2.91a	
42	16.79 ±3.87c	19.31 ±2.12b	20.87 ±2.98b	23.66 ±3.55a	
47	19.15 ±2.17c	21.93 ±2.67b	22.16 ±2.09b	26.26 ±3.28a	
54	21.17 ±2.60c	22.68 ±2.63c	25.66 ±3.32b	28.37 ±3.79a	

成坪速度可用盖度变化来反映，盖度越大，成坪质量越高（孙吉雄，2002）。返青后 21 d以前草坪盖度较低，成坪速度较慢，黑麦草分蘖少，茎节少；返青后 21~42 d，成坪速度上升较快，其中以 1~2 mm为最快，其次是 2~4 mm和 4~6 mm处理，至 42 d，填充胶粒各基质草坪盖度都在 70%以上，3个胶粒处理分别比对照高出 26.56%、15.11%、12.50%，说明胶粒的加入可以增加草坪盖度。随着分蘖增多，植物对光、水、肥、气等的竞争增强，盖度快速增长趋势也就趋于缓慢（表 3）。

表 3 践踏前黑麦草生长盖度
Table 3 Coverage of *Lolium perenne* before trample /%

返青后天数 /d Days after returning green	胶粒粒径 /mm Crumb rubber size			
	对照 Control	1~2	2~4	4~6
7	2.67 ±0.58a	3.67 ±0.58a	3.00 ±0.02a	3.33 ±0.58a
14	8.67 ±0.58b	10.33 ±0.58a	9.33 ±0.58ab	9.67 ±0.58ab
21	16.33 ±0.58b	19.67 ±0.58a	17.67 ±0.58b	17.00 ±1.00b
28	29.67 ±0.58c	34.33 ±0.58a	32.67 ±1.15b	31.33 ±0.58c
35	40.33 ±0.58d	47.67 ±0.58a	45.33 ±1.15b	42.67 ±0.58c
42	64.00 ±3.61c	81.00 ±1.00a	73.67 ±1.53b	72.00 ±1.73b
47	81.00 ±1.00c	91.33 ±1.53a	86.33 ±0.58b	84.00 ±1.73b
54	92.33 ±0.58c	96.00 ±1.00a	95.67 ±0.58a	94.00 ±0.03b

2.2 草坪建植第 2 年践踏胁迫下黑麦草生物学特性

2.2.1 草坪盖度 在践踏胁迫下，草坪盖度随填充胶粒粒径的增加而降低，以 1~2 mm 胶粒处理的盖度最大，所有胶粒处理均显著高于对照 ($P < 0.05$)，说明胶粒对于践踏具有一定的缓冲作用，且胶粒越小缓冲作用就越明显 (表 4)。返青后 107~163 d，践踏胁迫使草坪盖度下降最多的为对照，盖度降低了 54.58%，1~2 mm 胶粒处理盖度降低最小，为 33.91%。至践踏胁迫结束后，1~2 mm 胶粒处理草坪盖度比对照高出 56.26%，基质填充 1~2 mm 粒径胶粒草坪抗践踏能力最强。

表 4 践踏胁迫下黑麦草盖度变化
Table 4 Coverage change of *Lolium perenne* under trample stress /%

返青后天数 /d Days after returning green	胶粒粒径 /mm Crumb rubber size			
	对照 Control	1~2	2~4	4~6
107	91.00 ±1.00c	95.33 ±0.58a	94.33 ±0.58ab	93.33 ±0.58b
121	80.33 ±0.58d	90.00 ±1.00a	85.33 ±0.58b	83.33 ±0.58c
135	65.33 ±0.58d	79.67 ±0.58a	74.67 ±1.53b	70.67 ±0.58c
149	53.00 ±2.65d	70.33 ±0.58a	64.67 ±0.58b	61.00 ±1.00c
163	41.33 ±1.15d	63.00 ±1.00a	54.00 ±1.00b	51.33 ±1.15c
177	37.33 ±2.08d	58.33 ±1.53a	51.33 ±1.15b	47.33 ±0.58c

2.2.2 地上生物量 在践踏胁迫下，胶粒处理的地上生物量随粒径的增加而降低，显著高于对照 ($P < 0.05$)，与盖度趋势相同；1~2 mm 胶粒处理受到践踏胁迫的影响最小，192 d 生物量最高，这可能是因小粒径的胶粒对草坪践踏胁迫的耐受性较高，地上部分茎叶所受损伤较轻 (表 5)。

表 5 践踏胁迫下黑麦草地上生物量变化
Table 5 Change of overground biomass of *Lolium perenne* under trample stress / ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

胶粒粒径 /mm Crumb rubber size	返青后天数 /d Days after returning green			
	100	130	161	192
对照 Control	103.82 ±1.22c	70.08 ±1.17d	47.72 ±0.43d	34.13 ±0.60d
1~2	113.45 ±2.87a	80.33 ±1.27a	75.28 ±0.67a	64.16 ±0.71a
2~4	111.08 ±1.55ab	76.28 ±0.45b	53.74 ±0.82b	44.20 ±0.45b
4~6	108.74 ±0.88b	74.05 ±0.67c	50.79 ±0.46c	36.84 ±0.80c

2.2.3 分蘖数 践踏胁迫下，草坪分蘖数于 130 d 之前随着胶粒粒径的增加而增加，但随践踏胁迫的进行而减少。同一处理不同时期比较，以 1~2 mm 处理分蘖数下降最少，对照下降最多，说明基质填充小粒径胶粒对增加草坪的抗践踏能力所起的作用最大 (表 6)。

表 6 践踏胁迫下黑麦草分蘖数

Table 6 Tiller numbers of *Lolium perenne* under trample stress

胶粒粒径 /mm Crumb rubber size	返青后天数 /d Days after returning green			
	100	130	161	192
对照 Control	134.67 ±6.11a	117.00 ±5.57a	98.00 ±3.00b	78.00 ±2.00c
1~2	132.00 ±4.00a	118.67 ±4.16a	109.00 ±5.57a	94.00 ±3.61a
2~4	137.00 ±1.16a	119.67 ±2.52a	108.00 ±2.00a	86.33 ±1.53b
4~6	139.00 ±2.65a	121.33 ±2.08a	102.67 ±2.52ab	86.00 ±2.00b

2.2.4 茎节数与叶片数 践踏胁迫下，茎节数与叶片数同样以 1~2 mm 胶粒处理最多，并随胶粒粒径的增加而减少，但均显著多于对照 ($P < 0.05$)。未加胶粒基的对照伤害最为严重，其茎叶在每次践踏后 3 d 观察，断叶很多，并出现发黄现象；而填充胶粒的处理受到践踏胁迫伤害较轻，其恢复情况也比对照好 (表 7)。

2.2.5 根系生长 践踏胁迫下，加入胶粒处理明显提高了黑麦草地下生物量，以 1~2 mm 胶粒处理最为显著，和对照相比高出 138.77%，随胶粒粒径的增加而减少，但均高于未加胶粒处理。最长须根以 1~2 mm 和 2~4 mm 两处理较高，与 4~6 mm 处理和对照间差异显著 ($P < 0.05$)。胶粒粒径由小到大，须根数依次增加，均显著多于对照 ($P < 0.05$ ，表 8)。

表 7 践踏胁迫下黑麦草茎节数和叶片数

Table 7 The number of nodes and leaves of

<i>Lolium perenne</i> under trample stress		
胶粒粒径 /mm Crumb rubber size	茎节数 Node number	叶片数 Leaf number
对照 Control	81.67 ±2.08d	63.67 ±3.51d
1~2	119.00 ±1.00a	92.00 ±2.00a
2~4	106.33 ±1.53b	84.67 ±1.53b
4~6	94.00 ±1.00c	74.67 ±1.53c

表 8 践踏胁迫下黑麦草根系生长

Table 8 Root growth of *Lolium perenne* under trample stress

胶粒粒径 /mm Crumb rubber size	须根数 / (number · plant ⁻¹) Fibrous roots	根质量 / (g · m ⁻²) Root weight	最长须根长 /cm The longest root length
对照 Control	169.7 ±31.2b	14.01 ±0.51b	6.67 ±0.87c
1~2	405.2 ±60.9a	22.44 ±0.98a	7.56 ±0.53b
2~4	235.0 ±5.7b	23.54 ±0.28a	7.89 ±0.60b
4~6	186.9 ±20.6b	14.52 ±2.62b	8.56 ±0.53a

3 讨论

草坪建植第 2 年践踏前，4 种基质培植的黑麦草成坪状况有所不同，胶粒各处理生长较快，而未加胶粒的生长速度最慢。在践踏胁迫下，草坪盖度迅速下降，以 1~2 mm 胶粒处理降低最少，同一测定时间盖度均表现为 1~2 mm > 2~4 mm > 4~6 mm > 对照，表明胶粒的加入对于践踏胁迫具有一定的缓冲作用，且胶粒粒径越小缓冲作用越强。地上生物量的变化与盖度变化相似，以 1~2 mm 处理最高，对照最低，且粒径越小地上生物量越高，说明践踏胁迫下胶粒的加入对地上生物量的形成有促进作用。践踏胁迫前期，大胶粒粒径处理的分蘖数相对较多，但与 1~2 mm 处理和对照差别不大，随着践踏的进行，1~2 mm 处理优势明显，192 d 分蘖数最多，降低幅度远远小于其它 3 个处理。践踏胁迫下，茎节数与叶片数同样以 1~2 mm 处理最高，其次是 2~4 与 4~6 mm 处理，对照最少。

草坪植物强健的根系有助于提高草坪抗性和质量，因此，掌握草坪根系生长与草坪成坪性状的相关规律，对草坪养护管理具有重要的意义 (罗俊强 等，2002)。根系生长的测定在操作上比较困难，需要消耗大量的时间，而且根的取样和清洗费时费力。尽管如此，本研究中对各处理黑麦草根系作了较为详尽的研究，结果表明，1~2 mm 胶粒处理的根质量最高，最长须根 1~2 mm 和 2~4 mm 处理明显长于 4~6 mm 处理，须根数 4~6 mm 处理最多，根系生长情况胶粒处理明显好于对照。从草坪成坪性能各指标分析来看，草坪基质中胶粒的填充有助于践踏胁迫下草坪成坪性能与质量的提高，尤

其以 1~2 mm 胶粒处理效果最佳。其作用机理, 需结合草坪植物生物学、解剖学、胶粒物理学层面做进一步研究, 才能提供深入合理的解释; 而在最小粒直径胶粒 (1~2 mm) 范围附近, 进一步研究更适宜草坪基质的胶粒粒径仍具有较大的探讨价值。

References

- Adams W A, Gibbs R J. 1994. National turf for sport and amenity science and practice. Cambridge: Great Britain University Press: 208 - 248.
- Aldous D E. 1999. International turf management handbook. Melbourne: Inkata Press: 231 - 263.
- Bignozzi M C, Sandrolini F. 2006. Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. Cement and Concrete Research, 36: 735 - 739.
- Chen Chun-ge. 1992. Assessment and cultivation techniques of 'TIFTON419' used as a turfgrass in football pitch. Acta Horticulturae Sinica, 19 (4): 358 - 361. (in Chinese)
- 陈春阁. 1992. 用天堂草 419 建造足球场草坪的评价与栽培技术研究. 园艺学报, 19 (4): 358 - 361.
- Duo Li-an, Zhao Shu-lan, Gao Yu-bao. 2007. Probe into several ecological issues related to the establishment of urban turf systems. Acta Ecologica Sinica, 27 (3): 1065 - 1071. (in Chinese)
- 多立安, 赵树兰, 高玉葆. 2007. 草坪建植体系构建中几个生态问题的探讨. 生态学报, 27 (3): 1065 - 1071.
- Luo Jun-qiang, Han Lie-bao, Chen Bao-shu. 2002. Relationship between underground biomass and turf character. Journal of Beijing Forestry University, 22 (2): 77 - 80. (in Chinese)
- 罗俊强, 韩烈保, 陈宝书. 2002. 草坪地下生物量与坪用性状的关系. 北京林业大学学报, 22 (2): 77 - 80.
- Lu Yong-qi. 2005. A survey of abroad waste rubber resources utilization. Recycling Research, (1): 16 - 19. (in Chinese)
- 陆永其. 2005. 国外废橡胶资源的利用情况. 再生资源研究, (1): 16 - 19.
- Mastral A M, Murillo R, Garcia T, Navarro M V, Callen M S, Lopez J M. 2002. Study of the viability of the process for hydrogen recovery from old tyre oils. Fuel Processing Technology, 75 (3): 185 - 199.
- McNitt A S, Landschoot P J. 2001. The effects of soil reinforcing inclusions in an athletic field rootzone. International Turfgrass Society Research Journal, 9: 565 - 572.
- Qiu Xian-hua, Cao Qun, Sun Hong-yan, Xiong Gu-nan. 2006. The scrap rubber powder hastens using the present situation and the development. Jiangxi Science, 24 (3): 262 - 264. (in Chinese)
- 邱贤华, 曹群, 孙鸿燕, 熊贵楠. 2006. 废橡胶胶粉利用现状及发展趋势. 江西科学, 24 (3): 262 - 264.
- Song Gui-long, Han Lie-bao. 2003. Research progress of effect factors on the playing quality of soccer pitches China. Grassland of China, 25 (1): 54 - 62. (in Chinese)
- 宋桂龙, 韩烈保. 2003. 足球场草坪运动质量影响因素的研究进展. 中国草地, 25 (1): 54 - 62.
- Song Gui-long, Xu Ze-rong. 2004. Progress about traffic tolerance of sports turf. Journal of Sichuan Grassland, (8): 6 - 9. (in Chinese)
- 宋桂龙, 徐泽荣. 2004. 运动场草坪耐践踏性研究进展. 四川草原, (8): 6 - 9.
- Stewart V I. 1994. Sports turf science, construction and maintenance. London: E & FN Spon: 227 - 244.
- Sukontasukkul P, Chalkaew C. 2006. Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. Construction and Building Materials, 20: 450 - 457.
- Sun Ji-xiong. 2002. The guide for practical technology of turf greens. Beijing: Jindun Press: 344 - 358. (in Chinese)
- 孙吉雄. 2002. 草坪绿地实用技术指南. 北京: 金盾出版社: 344 - 358.
- Sunthonpagasit N, Duffey M R. 2004. Scrap tires crumb rubber: Feasibility analysis for processing facilities. Resources, Conservation and Recycling, 40: 281 - 299.
- Wang Li-li, Zhao Shu-lan, Duo Li-an. 2007a. Substance release of waste rubber granules in extraction solution and effects of seed soaking with the extract on turfgrass growth. Chinese Journal of Ecology, 26 (6): 886 - 891. (in Chinese)
- 王礼莉, 赵树兰, 多立安. 2007a. 废橡胶颗粒浸提液物质释放及其浸种对草坪植物生长的影响. 生态学杂志, 26 (6): 886 - 891.
- Wang Li-li, Zhao Shu-lan, Liu Yu, Lian Fei, Teng Meng, Duo Li-an. 2007b. Turf root zone medium amended by waste crumb rubber and ecological responses of turfgrass. Bulletin of Botanical Research, 27 (2): 233 - 237. (in Chinese)
- 王礼莉, 赵树兰, 刘媛, 廉菲, 滕萌, 多立安. 2007b. 废旧橡胶颗粒填充草坪根带基质及草坪植物生态响应. 植物研究, 27 (2): 233 - 237.
- Zhao Guang-xian. 2005. Development and utilization of recycled rubber. China Rubber Industry, 52: 632 - 636. (in Chinese)
- 赵光贤. 2005. 橡胶再生资源的开发和利用. 橡胶工业, 52: 632 - 636.