

# 坡向和建植年限对3种冷季型草坪草重要值和相对生物量的影响

马勇<sup>1,2</sup>, 曾晓琳<sup>2</sup>, 刘金平<sup>1</sup>, 王大伟<sup>1</sup>, 杨小琴<sup>1</sup>

(1. 西华师范大学 生命科学学院, 四川 南充 637009; 2. 西华师范大学 后勤处, 四川 南充 637009)

**摘要:**在紫色土丘3个坡向(A-半阴坡 EN 40°, B-阳坡 WS 33°, C-阴坡 WN 29°)上,以建植的高羊茅、多年生黑麦草和草地早熟禾混播草坪为研究对象,于建成后1~5 a分析3种草坪草相对密度、重要值、相对生物量及生长特点的变化,研究坡向和建植年限对草坪草重要值和相对生物量及根冠比的影响。结果表明:1)坡向和建植年限影响草坪草比例,入侵杂草种类和数量受坡向影响,建植年限决定草坪草退化速度,B坡群落组成高于A和C,3种草坪草比例逐年下降。2)坡向和建植年限影响草坪草相对密度和重要值( $P < 0.05$ ),建植2~3年相对密度下降约60个百分点,重要值下降约70个百分点,C坡相对密度和重要值在建植1~2年大于A和B坡( $P < 0.05$ ),B坡在建植3~5年大于A和C坡( $P < 0.05$ )。3)坡向和建植年限影响草坪草绝对生物量和相对生物量,建植年限对草坪草绝对生物量和相对生物量影响的大小顺序为多年生黑麦草>草地早熟禾>高羊茅,坡向对相对生物量影响的大小顺序为草地早熟禾>多年生黑麦草>高羊茅,相对生物量均逐年降低( $P < 0.05$ );建植2~5年高羊茅绝对生物量B坡大于A和C坡,多年生黑麦草和草地早熟禾的相对生物量C坡大于A和B坡( $P < 0.05$ )。4)坡向和建植年限影响草坪草单株生物量( $P < 0.05$ ),3种草坪草单株生物量在2~3年增加而4~5年下降( $P < 0.05$ ),建植2~3年高羊茅单株生物量B坡大于A和C坡,多年生黑麦草和草地早熟禾则C坡大于A和B坡( $P < 0.05$ );第4年C坡3种草坪草单株生物量最大,B坡最小。5)坡向和建植年限影响草坪草根冠比,坡向对根冠比影响的大小顺序为草地早熟禾>多年生黑麦草>高羊茅,建植年限对根冠比影响大小顺序为高羊茅>草地早熟禾>多年生黑麦草,B坡3种草坪植物的根冠比大于A和C坡。综上,坡向主要影响群落组成和优势种种类,建植年限主要影响草坪生物量及单株生物量,坡向和年限共同作用降低了草坪草重要值、相对密度、相对生物量及生长能力,导致草坪严重退化。

**关键词:**坡向;建植年限;草坪;重要值;根冠比

**中图分类号:**S688.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0043-09

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyecp.2020.05.007

紫色土丘陵区为典型亚热带季风气候的生态脆弱区,受自然因素和人为因素的影响,极易形成裸露边坡<sup>[1-2]</sup>。为增强坡面水土保持能力,增加边坡景观价

值和生态功能,常通过坡面修整、工程挂网、吹附客土、液压喷播等技术,建植集绿化、观赏和固土功能于一体的护坡草坪<sup>[3]</sup>。因暖季型草坪草枯黄期100 d左右,为实现四季常绿的景观效果,常用冷季型草坪草建植护坡草坪。冷季型草坪植物适宜生长温度15~25℃,因夏季气温35℃以上天气频现<sup>[4]</sup>,且边坡土层薄、土质贫瘠、保水保肥能力差,草坪管理困难和养护成本高<sup>[5]</sup>,加之引进草种对亚热带季风气候特点与边坡生境条件的适应能力较差,易引起边坡草坪结构与功能的退化。故提高边坡草坪的景观性、稳定性和生态安全性,是该区生态修复和绿化工程需要解决的重要问题。

收稿日期:2020-01-10; 修回日期:2020-04-10

基金项目:西华师范大学基本科研业务费(17D081);四川省植物资源共享平台(TJPT20160021)

作者简介:马勇(1980-),男,四川绵阳人,讲师,在读硕士。

E-mail:1388253@qq.com

刘金平为通讯作者。

E-mail:jpgg2000@163.com

目前关于边坡草坪施工技术、草种配置优化技术、管理养护集成技术已有大量研究<sup>[6-8]</sup>,而坡向引起的微生境差异对草坪植物生态适应性及群落稳定性的影响方面研究较少。坡向是重要的地形因子,影响太阳辐射和降水的空间再分配<sup>[9]</sup>,改变边坡土壤中水分和养分的分布,使水、肥、气、热、光照等基本生境条件出现异质性<sup>[10]</sup>。混播草种的生物学特征和生态学特点不同,其对异质生境有何适应性差异,在不同坡向上重要值与生长表现如何,对草坪退化有何影响均是值得研究的问题。

因此,以紫色土丘陵区同一地点 3 个坡向上冷季型混播边坡草坪为研究对象,测定 3 种草坪草重要值、绝对和相对生物量、单株生物量与根冠比,分析不同坡向、不同建植年限下 3 种草坪草相对生物量、相对密度和植株生长的变化,研究坡向和生长年限对草坪密度

和生物量的影响,以期为边坡建植养护、生态植被恢复及人工植被群落构建提供借鉴。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

以四川省南充市顺庆区西华师范大学新校区内,开山修路形成的典型紫色土断面为试验地,试验地位于 N 30°49',E 106°03',海拔 265.40 m,属典型的中亚热带湿润季风气候区。年均气温 17.4℃,最高气温 40.1℃,最低气温 -2.8℃,年日照时间 1 266.7 h,年均有霜期 13.7 d,年降水量 1 020.8 mm。土壤为紫色土,速效氮 23.84 mg/kg,速效磷 24.75 mg/kg,速效钾 34.48 mg/kg,有机质 4.45%,pH 值 6.87。按八坡向分类法<sup>[11-12]</sup>确定阴坡、阳坡和半阴坡,边坡基本情况见表 1。

表 1 3 个坡向边坡基本情况

Table 1 Basic information of 3 slopes

编号	坡向	坡度(°)	坡长/m	坡高/m	照度 (lx·a <sup>-1</sup> )	土层厚度 /cm	土壤含水量/%
A	EN 40°(半阴坡)	34.18±2.03 <sup>b</sup>	52.36±0.24 <sup>c</sup>	5.67±0.82 <sup>b</sup>	23 558.68 <sup>b</sup>	10.34±0.24 <sup>c</sup>	28.56±0.02 <sup>b</sup>
B	WS 33°(阳坡)	42.58±2.47 <sup>a</sup>	82.67±0.82 <sup>b</sup>	6.37±1.07 <sup>a</sup>	34 781.52 <sup>a</sup>	13.38±0.41 <sup>a</sup>	19.87±0.03 <sup>a</sup>
C	WN 29°(阴坡)	35.09±1.02 <sup>b</sup>	90.56±0.37 <sup>a</sup>	4.59±0.69 <sup>c</sup>	18 051.79 <sup>c</sup>	11.25±0.36 <sup>b</sup>	31.86±0.02 <sup>a</sup>
	F	4.752	11.312	6.324	21.342	4.765	3.762
	P	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.041

注:同列不同小写字母表示坡向间的差异显著( $P<0.05$ )。表中数值为平均值±标准差,下表同

### 1.2 试验设计

2013 年 11 月,经过整理坡面、挂网、客土喷播、施基肥,以高羊茅(*Festuca arundinacea*)品种 Houndog 5、多年生黑麦草(*Lolium perenne*)品种 Axcella 2、草地早熟禾(*Poa pratensis*)品种 Classic,按 1:1:1 比例、3 粒/cm<sup>2</sup> 密度播种,建成混播冷季型护坡草坪,建成后未进行修剪等养护。分别在 3 个边坡中部,距坡底 1.5 m,间隔 4 m 设定 3 m×1 m 样带 6 个。于 2014~2018 年(第 1~5 年),每年 3 月中旬,在样带进行试验指标测定。

### 1.3 测定指标及方法

群落组成:统计样带植物种类,因入侵植物大小不一,以盖度计算优势度指数(该种植物盖度/总盖度),指数大于 0.20 的为优势种<sup>[13]</sup>。

相对密度:随机 10 次抛置 0.2 m×0.2 m 小样方,测定样方内植物总枝条数和草坪草枝条数,单位面积内的株数或枝条数为密度。计算公式:

$$\text{相对密度} = \text{草坪草密度} / \text{群落总密度} \times 100\%$$

重要值:随机 100 次针刺法,5 次重复,分别测定 3 种草坪草的出现频度,测定草坪草的盖度。

$$\text{相对频度} = (\text{该种草坪草频度} / \text{所有种频度}) \times 100\%$$

$$\text{相对盖度} = (\text{该种草坪草盖度} / \text{群落盖度}) \times 100\%$$

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3$$

$$\text{总重要值} = 3 \text{ 种草坪草重要值之和}$$

生物量:随机齐地面剪取 0.5 m×0.5 m 样方内植株,5 次重复,3 种草坪草与其他植物分离后,分别装袋,于 105℃ 烘至恒重后称重(干重)。计算公式:

$$\text{相对生物量} = \text{某种草坪草干重} / \text{样方内植物总干重} \times 100\%$$

$$\text{相对生物量和} = 3 \text{ 种草坪草相对生物量之和}$$

单株生物量:随机选取 3 种草坪草各 20 株/样带,挖取、冲洗、拭干后,分离叶、茎、根,称鲜重后,分别装袋,于 105℃ 烘至恒重。计算公式:

单株生物量 = (叶干重 + 茎干重 + 根干重) / 20

根冠比 = 根干重 / (茎干重 + 叶干重)。

### 1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 对测定数据进行双因素方差分析 (ANOVA) 和多重比较 (SNK)。

## 2 结果与分析

### 2.1 坡向和建植年限对草坪群落组成的影响

建植第 2 年 3 个坡向群落物种数高于其他年份且

达最大值 ( $P < 0.05$ ), 第 3~5 年群落物种数变化较小 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。第 1 年、第 3~5 年 B 坡群落物种数显著大于 A 和 C 坡 ( $P < 0.05$ ), A 和 C 坡间无显著差异。第 2 年 A 坡显著小于 B 和 C 坡 ( $P < 0.05$ ), B 和 C 坡间无显著差异。坡向、建植年限和二者间互作极显著影响边坡植物群落组成 ( $P < 0.01$ ) (表 3), 影响大小顺序为坡向 > 建植年限 > 互作间。

第 1 年 3 个坡向 3 种草坪草为优势种, 但 3 种草坪草所占比例不同, 第 1 优势种高羊茅比例在 B 坡大

表 2 坡向和年限对群落组成和草坪草重要值的影响

Table 2 The effect of aspects and growth years on community composition and important value of turfgrasses

时间	坡向	群落物种组成 (物种数 · m <sup>-2</sup> )	优势种	草坪草	
				相对密度 %	重要值 %
第 1 年	A	6.67 ± 0.33 <sup>Cb</sup>	高羊茅(0.48) + 多年生黑麦草(0.28) + 草地早熟禾(0.21)	97.11 ± 9.23 <sup>Ab</sup>	93.05 ± 8.12 <sup>Ab</sup>
	B	8.33 ± 0.33 <sup>Ca</sup>	高羊茅(0.55) + 多年生黑麦草(21%) + 草地早熟禾(0.20)	96.18 ± 7.14 <sup>Ab</sup>	90.61 ± 7.15 <sup>Ac</sup>
	C	6.33 ± 0.33 <sup>Cb</sup>	高羊茅(0.45) + 多年生黑麦草(0.30) + 草地早熟禾(0.30)	99.99 ± 6.34 <sup>Aa</sup>	99.89 ± 6.26 <sup>Aa</sup>
第 2 年	A	11.67 ± 1.67 <sup>Ab</sup>	高羊茅(0.42) + 苅草(0.29) + 野艾蒿( <i>A. laxandulaefolia</i> )(0.22)	63.80 ± 5.61 <sup>Bc</sup>	55.45 ± 7.66 <sup>Bb</sup>
	B	14.33 ± 1.33 <sup>Aa</sup>	高羊茅(0.48) + 苅草(0.24) + 五节芒(0.21)	65.06 ± 5.93 <sup>Bb</sup>	55.44 ± 4.38 <sup>Bb</sup>
	C	14.33 ± 1.67 <sup>Aa</sup>	高羊茅(0.40) + 苅草(0.29) + 野胡萝卜( <i>D. carota</i> )(0.20)	70.82 ± 4.38 <sup>Ba</sup>	60.38 ± 7.25 <sup>Ba</sup>
第 3 年	A	7.67 ± 1.33 <sup>Bb</sup>	苅草(0.66) + 高羊茅(0.28)	31.51 ± 3.92 <sup>Cb</sup>	29.21 ± 2.35 <sup>Cc</sup>
	B	13.67 ± 0.33 <sup>Ba</sup>	苅草(0.49) + 高羊茅(0.32) + 五节芒(0.21)	34.65 ± 3.24 <sup>Ca</sup>	32.29 ± 1.96 <sup>Ca</sup>
	C	7.33 ± 0.67 <sup>Bb</sup>	苅草(0.77) + 高羊茅(0.23)	30.89 ± 2.71 <sup>Cb</sup>	31.27 ± 2.25 <sup>Cb</sup>
第 4 年	A	7.33 ± 0.67 <sup>Bb</sup>	苅草( <i>A. hispidus</i> )(0.83)	10.20 ± 1.22 <sup>Db</sup>	6.89 ± 0.47 <sup>Dc</sup>
	B	13.33 ± 1.33 <sup>Ba</sup>	苅草(0.67) + 五节芒( <i>M. floridulus</i> )(0.24)	16.41 ± 4.25 <sup>Da</sup>	10.78 ± 1.29 <sup>Da</sup>
	C	7.67 ± 1.67 <sup>Bb</sup>	苅草(0.86)	9.15 ± 1.52 <sup>Dc</sup>	8.44 ± 2.17 <sup>Db</sup>
第 5 年	A	5.33 ± 0.33 <sup>Bb</sup>	苅草(0.93)	3.26 ± 0.24 <sup>Eb</sup>	4.34 ± 0.12 <sup>Eb</sup>
	B	10.67 ± 2.33 <sup>Ba</sup>	苅草(0.73) + 五节芒(0.21)	6.82 ± 1.12 <sup>Ea</sup>	6.08 ± 0.37 <sup>Ea</sup>
	C	5.67 ± 1.33 <sup>Bb</sup>	苅草(0.96)	2.91 ± 0.36 <sup>Ec</sup>	3.20 ± 0.24 <sup>Ec</sup>

注: 同列不同大写字母表示年份间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示坡向间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同

表 3 群落特征变化的双因子方差分析

Table 3 Two-factor variance analysis on the community characteristics

变异来源	群落组成	草坪草	
		相对密度	重要值
总处理	F	14.652	135.67
	P	<0.001	<0.001
年份间	F	5.872	118.64
	P	<0.001	<0.001
坡向间	F	8.775	34.153
	P	<0.001	<0.001
互作间	F	5.122	88.342
	P	<0.001	<0.001

注: F 值表示 F 检验的显著性, F 越大表示越显著, P 值表示概率值, 下同

于 A 和 C 坡, 多年生黑麦草和早熟禾比例在 C 坡大于 A 和 B 坡。第 2 年 3 个坡向上, 入侵苅草替代多年生黑麦草和早熟禾为第 2 优势种, 野艾蒿、五节芒和野胡萝卜分别为 A、B、C 坡的第 3 优势种。第 3 年 3 个坡向上苅草代替高羊茅为第一优势种, 第 4~5 年高羊茅退出优势种竞争, 苅草成为 A 和 C 坡的唯一优势种, B 坡五节芒为第 2 优势种。

### 2.2 坡向和建植年限对草坪草相对密度和重要值的影响

第 1~2 年 C 坡相对密度和重要值大于 A 和 B 坡 ( $P < 0.05$ ), 第 3~5 年 B 坡大于 A 和 C 坡 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。草坪草相对密度和重要值随年限增加显著下降, 相对密度第 2、3 年各下降约 30%, 重要值第 2、3 和 4 年分别下降约 40%、30% 和 20%。坡向、

年限和互作对草坪草相对密度和重要值均有极显著影响( $P < 0.01$ )(表 3),影响大小顺序均为年限  $>$  互作  $>$  坡向。年限对重要值的影响大于相对密度,坡向对相对密度的影响大于重要值。

### 2.3 坡向和建植年限对草坪草生物量的影响

第 1~5 年 3 个坡向高羊茅的绝对生物量和相对生物量均大于多年生黑麦草和草地早熟禾,草地早熟

禾的生物量均最小。第 2 年多年生黑麦草和草地早熟禾绝对生物量均达最大值,第 3 年高羊茅达最大值。总绝对生物量第 3 年最大,第 4~5 年剧烈下降( $P < 0.05$ )。3 种草坪草相对生物量随年限延长均不断降低( $P < 0.05$ ),总相对生物量逐年下降。所有建植年限和坡向上,高羊茅绝对生物量和相对生物量均为最大,多年生黑麦草次之,草地早熟禾最低(表 4)。

表 4 坡向和建植年限下草坪草的生物量

Table 4 The effect of aspects and growth years on turfgrass biomass

建植年限	坡向	绝对生物量/(g · m <sup>-2</sup> )				相对生物量/%			
		高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾	总值	总值	高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾
第 1 年	A	15.70±2.12 <sup>Dc</sup>	8.85±0.85 <sup>Cb</sup>	3.73±0.13 <sup>Bb</sup>	28.28±3.62 <sup>Cb</sup>	49.07±12.34 <sup>Ab</sup>	27.65±3.28 <sup>Ab</sup>	11.66±1.22 <sup>Ab</sup>	88.38±15.72 <sup>Ab</sup>
	B	16.05±2.35 <sup>Db</sup>	6.05±0.36 <sup>Cc</sup>	3.99±0.74 <sup>Bb</sup>	26.09±4.18 <sup>Cb</sup>	55.39±9.98 <sup>Aa</sup>	20.86±6.12 <sup>Ac</sup>	13.76±2.05 <sup>Aa</sup>	89.97±18.28 <sup>Ab</sup>
	C	19.61±0.58 <sup>Da</sup>	19.42±3.71 <sup>Ca</sup>	5.30±1.35 <sup>Ba</sup>	44.33±5.27 <sup>Ca</sup>	42.62±13.22 <sup>Ac</sup>	42.21±9.35 <sup>Aa</sup>	11.53±2.12 <sup>Ab</sup>	96.37±24.52 <sup>Aa</sup>
第 2 年	A	69.56±9.36 <sup>Bb</sup>	27.12±6.66 <sup>Ab</sup>	9.42±1.11 <sup>Ab</sup>	106.11±8.81 <sup>Bb</sup>	31.05±6.57 <sup>Ba</sup>	12.11±1.09 <sup>Bb</sup>	4.21±1.12 <sup>Bb</sup>	47.37±8.73 <sup>Ba</sup>
	B	94.16±8.64 <sup>Ba</sup>	19.34±5.36 <sup>Ac</sup>	7.02±0.28 <sup>Ac</sup>	120.53±6.75 <sup>Ba</sup>	25.59±5.51 <sup>Bb</sup>	5.25±1.21 <sup>Bc</sup>	1.91±0.35 <sup>Bc</sup>	32.75±7.06 <sup>Bc</sup>
	C	70.13±5.27 <sup>Bb</sup>	35.71±10.24 <sup>Aa</sup>	13.91±4.55 <sup>Aa</sup>	119.75±4.52 <sup>Ba</sup>	26.36±6.87 <sup>Bb</sup>	13.43±3.64 <sup>Ba</sup>	5.23±2.03 <sup>Ba</sup>	45.02±12.16 <sup>Bb</sup>
第 3 年	A	70.77±9.66 <sup>Ac</sup>	7.43±1.02 <sup>Bc</sup>	3.09±1.32 <sup>Bb</sup>	81.31±5.06 <sup>Ac</sup>	22.47±5.52 <sup>Bc</sup>	2.36±0.56 <sup>Cb</sup>	0.98±0.12 <sup>Cb</sup>	25.81±6.77 <sup>Cc</sup>
	B	133.96±24.24 <sup>Aa</sup>	17.26±2.51 <sup>Ba</sup>	1.48±0.85 <sup>Bc</sup>	142.70±8.79 <sup>Aa</sup>	27.73±7.52 <sup>Bb</sup>	1.50±0.32 <sup>Cc</sup>	0.31±0.08 <sup>Cc</sup>	29.54±7.91 <sup>Cb</sup>
	C	116.27±32.18 <sup>Ab</sup>	11.85±3.17 <sup>Bb</sup>	6.25±2.28 <sup>Ba</sup>	134.38±11.24 <sup>Ab</sup>	32.12±4.27 <sup>Ba</sup>	3.27±0.81 <sup>Ca</sup>	1.73±0.55 <sup>Ca</sup>	37.12±5.61 <sup>Ca</sup>
第 4 年	A	23.13±6.32 <sup>Cb</sup>	0.75±0.12 <sup>Db</sup>	0.19±0.06 <sup>Cb</sup>	24.08±3.07 <sup>Db</sup>	7.51±2.08 <sup>Ca</sup>	0.25±0.05 <sup>Db</sup>	0.06±0.02 <sup>Da</sup>	7.82±2.11 <sup>Da</sup>
	B	30.51±4.55 <sup>Ca</sup>	0.50±0.09 <sup>Dc</sup>	0.07±0.02 <sup>Cc</sup>	31.08±4.11 <sup>Da</sup>	5.79±3.17 <sup>Cb</sup>	0.09±0.02 <sup>Dc</sup>	0.01±0.00 <sup>Da</sup>	5.89±3.16 <sup>Db</sup>
	C	22.07±2.24 <sup>Cc</sup>	2.18±0.14 <sup>Da</sup>	0.14±0.35 <sup>Ca</sup>	14.39±1.35 <sup>Dc</sup>	3.67±1.21 <sup>Cc</sup>	0.66±0.21 <sup>Da</sup>	0.04±0.06 <sup>Da</sup>	4.37±1.48 <sup>Dc</sup>
第 5 年	A	5.12±1.62 <sup>Ec</sup>	0.00±0.00 <sup>Eb</sup>	0.06±0.29 <sup>Ea</sup>	5.18±0.83 <sup>Ec</sup>	1.64±0.61 <sup>Db</sup>	0.00±0.00 <sup>Eb</sup>	0.02±0.03 <sup>Ea</sup>	1.66±0.64 <sup>Ec</sup>
	B	11.66±5.11 <sup>Ea</sup>	0.00±0.00 <sup>Eb</sup>	0.00±0.00 <sup>Ea</sup>	11.66±1.06 <sup>Ea</sup>	1.96±0.22 <sup>Da</sup>	0.00±0.00 <sup>Eb</sup>	0.00±0.00 <sup>Ea</sup>	1.96±0.22 <sup>Eb</sup>
	C	7.05±3.65 <sup>Eb</sup>	0.89±0.28 <sup>Ea</sup>	0.00±0.00 <sup>Ea</sup>	7.94±1.77 <sup>Eb</sup>	2.08±0.38 <sup>Da</sup>	0.26±0.05 <sup>Ea</sup>	0.00±0.00 <sup>Ea</sup>	2.34±0.63 <sup>Ea</sup>

坡向和建植年限对总绝对生物量有显著影响,C 坡第 1 年总绝对生物量均大于 A 和 B 坡( $P < 0.05$ )(表 4),第 1~5 年草地早熟禾和第 1、2、4、5 年多年生

黑麦草的绝对生物量均大于 A 和 B 坡( $P < 0.05$ )。B 坡第 2~5 年高羊茅和第 2 年多年生黑麦草的绝对生物量大于 A 和 C 坡( $P < 0.05$ )。坡向间总相对生物量

随年限不同而差异显著,1~5 年多年生黑麦草、2~5 年草地早熟禾的相对生物量 C 坡大于 A 和 B 坡( $P < 0.05$ )。

方差分析表明,坡向、建植年限和二者互作对绝对和相对生物量均有极显著影响( $P < 0.01$ )(表 5),影响大小顺序均为年限>坡向>互作。建植年限对绝对和相对生物量影响均为多年生黑麦草>草地早熟禾>高羊茅。坡向对绝对生物量影响为高羊茅>多年生黑麦草>草地早熟禾,对相对生物量为草地早熟禾>多年生黑麦草>高羊茅。

## 2.4 坡向和建植年限对草坪草单株生长的影响

2.4.1 单株生物量 坡向和建植年限对 3 种草坪草单株生物量有影响(表 6)。第 1~3 年 3 种草坪草的单株生物量均逐年显著增加,在第 4~5 年均显著下降( $P < 0.05$ )。第 1 年 C 坡高羊茅和多年生黑麦草单株生物量显著大于 A 和 B 坡( $P < 0.05$ ),草地早熟禾生物量在坡向间无显著差异。第 2 年高羊茅、多年生黑麦草和草地早熟禾单株生物量分别增加了 4.11、2.38 和 4.23 倍,第 3 年比第 2 年分别增加 3.72、2.59 和 1.30 倍,B 坡高羊茅单株生物量均显著大于 A 和 C

表 5 草坪草生物量的双因子方差分析

Table 5 Two-factor variance analysis on turfgrass biomass

变异来源	绝对生物量				相对生物量				
	高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾	总值	高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾	总值	
总处理	F	68.554	85.184	92.635	78.183	98.633	112.34	96.114	88.562
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
年份间	F	60.281	63.127	86.531	67.322	64.182	73.357	76.524	72.843
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
坡向间	F	24.623	22.322	19.353	25.147	18.697	22.662	25.187	15.622
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
互作间	F	6.582	9.323	8.624	6.612	13.517	17.624	21.322	12.373
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	<0.001	<0.001

表 6 坡向和建植年限对草坪草单株生物量与根冠比的影响

Table 6 The effect of aspects and growth years on turfgrass biomass and root shoot ratio

建植年限	坡向	单株生物量/g			根冠比		
		高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾	高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾
第 1 年	A	0.38±0.04 <sup>Eb</sup>	0.35±0.12 <sup>Eb</sup>	0.21±0.02 <sup>Dn</sup>	0.41±0.04 <sup>Ab</sup>	0.32±0.07 <sup>Aa</sup>	0.48±0.03 <sup>Bb</sup>
	B	0.42±0.11 <sup>Eab</sup>	0.27±0.07 <sup>Ec</sup>	0.23±0.10 <sup>Da</sup>	0.47±0.02 <sup>Aa</sup>	0.33±0.02 <sup>Aa</sup>	0.51±0.04 <sup>Ba</sup>
	C	0.44±0.03 <sup>Ea</sup>	0.62±0.22 <sup>Ea</sup>	0.22±0.02 <sup>Dn</sup>	0.38±0.03 <sup>Ac</sup>	0.27±0.03 <sup>Ab</sup>	0.43±0.02 <sup>Bc</sup>
第 2 年	A	1.92±0.02 <sup>Db</sup>	1.22±0.11 <sup>Cb</sup>	0.85±0.13 <sup>Bb</sup>	0.37±0.04 <sup>Bb</sup>	0.21±0.01 <sup>Bb</sup>	0.44±0.03 <sup>Db</sup>
	B	2.35±0.11 <sup>Da</sup>	1.19±0.02 <sup>Cb</sup>	0.69±0.04 <sup>Bc</sup>	0.40±0.05 <sup>Ba</sup>	0.26±0.02 <sup>Ba</sup>	0.50±0.04 <sup>Da</sup>
	C	1.83±0.05 <sup>Dc</sup>	1.68±0.05 <sup>Ca</sup>	1.25±0.25 <sup>Ba</sup>	0.33±0.03 <sup>Bc</sup>	0.21±0.09 <sup>Bb</sup>	0.32±0.06 <sup>Dc</sup>
第 3 年	A	5.27±0.21 <sup>Ac</sup>	1.63±0.01 <sup>Ab</sup>	0.93±0.31 <sup>Ab</sup>	0.22±0.05 <sup>Db</sup>	0.21±0.03 <sup>Bb</sup>	0.47±0.05 <sup>Cb</sup>
	B	7.34±0.30 <sup>Aa</sup>	1.67±0.16 <sup>Ab</sup>	0.72±0.38 <sup>Ac</sup>	0.26±0.01 <sup>Da</sup>	0.22±0.02 <sup>Ba</sup>	0.52±0.05 <sup>Ca</sup>
	C	6.35±0.24 <sup>Ab</sup>	4.98±0.42 <sup>Aa</sup>	1.98±0.33 <sup>Aa</sup>	0.23±0.04 <sup>Db</sup>	0.21±0.02 <sup>Bb</sup>	0.42±0.03 <sup>Cc</sup>
第 4 年	A	4.34±0.13 <sup>Bb</sup>	1.46±0.61 <sup>Bb</sup>	0.86±0.22 <sup>Bb</sup>	0.31±0.02 <sup>Ca</sup>	0.16±0.02 <sup>Cb</sup>	0.51±0.02 <sup>Ca</sup>
	B	4.31±1.26 <sup>Bb</sup>	1.18±0.06 <sup>Bc</sup>	0.53±0.12 <sup>Bc</sup>	0.31±0.03 <sup>Ca</sup>	0.18±0.01 <sup>Ca</sup>	0.52±0.01 <sup>Ca</sup>
	C	5.39±1.31 <sup>Ba</sup>	3.69±0.34 <sup>Ba</sup>	1.81±0.62 <sup>Ba</sup>	0.31±0.05 <sup>Ca</sup>	0.16±0.06 <sup>Cb</sup>	0.48±0.06 <sup>Cb</sup>
第 5 年	A	2.03±0.02 <sup>Cc</sup>	—	0.53±0.08 <sup>Ca</sup>	0.39±0.07 <sup>Bb</sup>	—	0.62±0.06 <sup>Aa</sup>
	B	3.62±0.04 <sup>Cb</sup>	—	—	0.41±0.05 <sup>Ba</sup>	—	—
	C	4.67±0.09 <sup>Ca</sup>	1.77±0.31 <sup>Da</sup>	—	0.38±0.05 <sup>Bb</sup>	0.22±0.05 <sup>Ba</sup>	—

坡, C坡多年生黑麦草和草地早熟禾单株生物量均显著大于 A 和 B 坡 ( $P < 0.05$ )。第 4 年 3 种草坪草单株生物量均显著下降 ( $P < 0.05$ ), 均为 C 坡最大, B 坡最小。第 5 年 3 种草坪草单株生物量显著降低 ( $P < 0.05$ ), 多年生黑麦草仅 C 坡有存留, 草地早熟禾仅 A 坡有存留。

建植 2~4 年 3 个坡向上高羊茅单株生物量最大, 草地早熟禾最小, 第 3 年高羊茅单株生物量为草地早熟禾的 10 倍。坡向、建植年限和二者互作对 3 种草坪草单株生物量均有极显著影响 ( $P < 0.01$ ) (表 7), 坡向对单株生物量的影响大小顺序为草地早熟禾 > 多年生黑麦草 > 高羊茅, 年限和互作为高羊茅 > 多年生黑麦草 > 草地早熟禾。

2.4.2 根冠比 坡向和建植年限对 3 种草坪草根冠比有影响 (表 6)。1~4 年 B 坡 3 种草坪草植物的根冠

比大于 A 和 C 坡, 1~2 年 C 坡高羊茅根冠比低于 A 坡而 3~5 年无显著差异, 第 1 年 A 坡多年生黑麦草的根冠比大于 C 坡而 2~4 年无显著差异, 1~4 年 A 坡草地早熟禾的根冠比大于 C 坡。高羊茅根冠比在 1~4 年逐步降低 ( $P < 0.05$ ); 多年生黑麦草根冠比在 2~3 年差异较小, 但小于第 1 年而大于第 4 年 ( $P < 0.05$ ); 草地早熟禾根冠比第 2 年下降而 3~4 年增加 ( $P < 0.05$ )。第 5 年 3 种草坪草残留植株根冠比均较大。

建植 1~5 年高羊茅、多年生黑麦草和草地早熟禾的根冠比变异范围为 22.34%~47.06%、16.24%~33.17% 和 42.24%~62.11%, 草地早熟禾根冠比最大, 高羊茅次之, 多年生黑麦草最低。坡向、年份和互作对 3 种草坪草根冠比均有极显著影响 ( $P < 0.01$ ) (表 7), 坡向影响为高羊茅 < 多年生黑麦草 < 草地早熟禾, 年限影响为高羊茅 > 草地早熟禾 > 多年生黑麦草。

表 7 草坪植物单株生物量与根冠比的双因子方差分析

Table 7 Two-factor variance analysis on single plant biomass and root shoot ratio

变异来源		单株生物量			根冠比		
		高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾	高羊茅	多年生黑麦草	草地早熟禾
总处理	F	48.548	36.682	32.652	18.257	14.652	9.355
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
建植年限间	F	34.662	21.628	17.583	14.312	11.718	6.516
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
坡向间	F	4.315	7.915	9.365	7.224	4.623	5.675
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
互作间	F	26.418	15.311	15.084	4.463	3.311	5.114
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	<0.001

### 3 讨论

坡向决定着坡面的受光方向、光照强度及光照时数, 影响着坡面的温度、湿度等生态因子的再分配<sup>[8-9]</sup>。阴坡土壤含水量、有机质和有效氮含量等均高于阳坡, 而土壤温度和土壤全氮含量小于阳坡<sup>[14]</sup>。3 种草坪草的株丛类型、生长方式和生态特点不同<sup>[15]</sup>, 高羊茅、草地早熟禾和多年生黑麦草耐热性和抗逆性依次递减<sup>[16-17]</sup>, 不同坡向上 3 种草坪草优势指数显著不同, 且随着建植年限增加, 优势指数下降幅度差异明显。入侵植物的株丛类型、生长速度、繁殖能力及抗逆性优于草坪草, 地上和地下竞争力强于草坪草<sup>[17]</sup>, 坡向和年限的共同作用使草坪草的相对密度和重要值不断下降。坡向间、年限间及草种间草坪草的绝对生物量均有显著差异, 持久的坡向生境差异和入侵杂草的

竞争优势, 使草坪草生长受阻、密度降低、分蘖减弱, 导致以绝对生物量和相对生物量为基础的竞争力逐年下降。群落植物竞争力受群落相貌、结构及数量特征的影响<sup>[18-20]</sup>, 坡向影响杂草种类和数量, 入侵杂草种类和数量决定群落中植物竞争强度, 竞争对植物相互关系、自然选择速度和物种留存起决定性作用<sup>[20]</sup>, 多年生荻草因极强的繁殖力、拓展力和抗逆性<sup>[21]</sup>, 逐步排挤掉其他浅根系和低矮植物, 使 3 个坡向上草坪草种类、数量、密度及重要值出现显著差异, 但第 3~5 年均形成以荻草为第一优势种的相对稳定的植物群落。

群落中个体植株的构件性状, 反映植物对环境条件的适应能力和应对策略, 也反映环境条件对植物生长发育的影响程度<sup>[22]</sup>。坡向对 3 种草坪草的根、茎、叶等构件数量和质量性状有显著影响<sup>[23]</sup>, 通过构件间权衡与分配的相互作用, 形成了适应生境的形态和生

长特征<sup>[21,23]</sup>。高羊茅的株高、根长、叶数及叶面积调节能力强于多年生黑麦草和草地早熟禾<sup>[23]</sup>,基于构件性状和异速生长的形态可塑性,是植物适应环境、提高生态幅和耐受性的重要方式<sup>[24]</sup>,对增加植物生存、竞争能力有很重要的作用<sup>[25]</sup>,使2~5年3个坡向上高羊茅的群落比例、相对和绝对生物量均大于多年生黑麦草和草地早熟禾。

个体生物量可反映植物对环境的适应能力及环境对植物的影响程度,生物量大小体现了植物生存、生长及抗逆能力<sup>[26]</sup>。3种草坪草第3年单株生物量均最大,说明第3年草坪草的生长能力和抗性最强。高羊茅单株生物量最大,多年生黑麦草次之、草地早熟禾最小,与耐热性等研究结果不同<sup>[16]</sup>,生物量受光照、温度、水分、营养等影响<sup>[18]</sup>,坡向导致的综合胁迫影响了生物量的累积。坡向对多年生黑麦草和草地早熟禾单株生物量的影响大于高羊茅,建植年限对高羊茅的影响大于多年生黑麦草和草地早熟禾,但第5年多年生黑麦草和草地早熟禾残留植株很少。局部特化的生物量分配格局是植物克服环境胁迫的重要途径<sup>[18,21]</sup>,生物量优先向受胁迫严重部位分配,草地早熟禾根冠比最大而多年生黑麦草最低,说明根系胁迫是草地早熟禾退化的原因,茎叶生长受阻是多年生黑麦草退化的原因。本文仅连续5年分析了植物群落组成、草坪生物量和草坪草个体生长的变化,未对边坡土壤结构、营养物质变化及水土截留效果进行测定,需进一步系统地开展边坡植物与微生境互作关系及演替动力的研究,总结物种及生境的季节、年际动态特征变化规律,为建成自主演替、自我循环、自我维持的边坡草坪生态系统提供依据。

## 4 结论

1)坡向和建植年限对草坪群落组成和草坪草重要值有影响,坡向主要影响入侵植物种类,建植年限主要影响草坪草重要值。阴坡利于草坪草生长,第2年是预防杂草入侵的关键时期,第2~3年边坡草坪易退化。

2)坡向和建植年限对草坪草生物量有影响,坡向对多年生黑麦草和草地早熟禾生物量的影响大于高羊茅,建植年限对高羊茅影响大于多年生黑麦草和草地早熟禾,多年生黑麦草和草地早熟禾适宜在阴坡建植,高羊茅可在阴坡和阳坡建植。

3)坡向和年限共同作用,使3个坡向的边坡草坪发生不可逆的退化,第3年均退化成为乡土草种荩草为建群种的草坡,故该区建植边坡草坪时,考虑坡向微生境的同时,应合理开发和利用乡土草种。

### 参考文献:

- [1] 赵燮京,刘定辉.四川紫色丘陵区旱作农业的土壤管理与水土保持[J].水土保持学报,2002,16(5):6-10.
- [2] 谢瑞娟,张小晶,刘金平,等.遮阴和干旱对荩草光合特性影响的协同作用[J].草业学报,2017,26(10):64-76.
- [3] 刘金平.坡度对野生荩草分株特征及生殖分配的影响[J].草业科学,2013,30(10):1602-1607.
- [4] 赵艳,蔡捡,李莹,等.3种冷季型草坪草对温度与遮荫协同作用响应的差异性分析[J].草业与畜牧,2015(2):28-33.
- [5] 王倩,艾应伟,裴娟,等.遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征[J].生态学报,2010,30(24):6892-6900.
- [6] 张相锋,苏爱莲,董世魁,等.不同基质对护坡绿化植物群落数量特征的影响[J].水土保持学报,2008,22(6):193-196.
- [7] 卓慕宁,李定强,郑煜基.高速公路生态护坡技术的水土保持效应研究[J].水土保持学报,2006,20(1):164-167.
- [8] 刘春霞,韩烈保.高速公路边坡植被恢复研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2090-2098.
- [9] 刘旻霞.亚高寒草甸不同坡向植物光合生理和叶片形态差异[J].生态学报,2017,37(24):8526-8536.
- [10] 乔淼,曾燕,邱新法.宏观坡向对不同等级降水的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):167-171.
- [11] 韩贵锋,叶林,孙忠伟.山地城市坡向对地表温度的影响——以重庆市主城区为例[J].生态学报,2014,34(14):4017-4024.
- [12] Xu S J, Zeng B, Su X L, *et al.* Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(7):2174-2184.
- [13] 方精云,王襄平,沈泽昊,等.植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J].生物多样性,2009,17(6):533-548.
- [14] 盘远方,陈兴彬,姜勇,等.桂林岩溶石山灌丛植物叶功能性状和土壤因子对坡向的响应[J].生态学报,2018,38(5):1581-1589.
- [15] 孙吉雄.草坪学[M].北京:中国农业出版社(第二版),2006.
- [16] 赵昕,李玉霖.高温胁迫下冷地型草坪草几项生理指标的变化特征[J].草业学报,2001,10(4):85-91.

- [17] 马娇,宗人旭,刘金平,等. 3种冷季型草坪草对丝茅入侵生理响应的差异性分析[J]. 草原与草坪,2016,36(3):35-41.
- [18] TILMAN D. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities[M]. USA:Princeton University Press,1988.
- [19] SCHENK H J,JACKSON R B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics[J]. Geoderma,2005,126(1):129-140.
- [20] 侯勤正,叶广继,马小兵,等. 青藏高原不同生境下湿生扁蕾个体大小依赖的繁殖分配[J]. 生态学报,2016,36(9):1-9.
- [21] 张小晶,蔡捡,刘金平,等. 不同遮阴度对苳草构件性状和生物量分配影响的差异性分析[J]. 西南农业学报,2015,28(6):2720-2725.
- [22] 王齐,孙吉雄,安渊. 水分胁迫对结缕草种群特征和生理特性的影响[J]. 草业学报,2009,18(2):33-38.
- [23] 曾晓琳,王大伟,刘金平,等. 坡向对3种冷季型草坪草表观性状及叶绿素含量的影响[J]. 草业科学,2015,32(11):1823-1831.
- [24] SULTAN S E. Phenotypic plasticity and plant adaptation[J]. Acta Botanica Neerlandica,1995,44(4):363-383.
- [25] 樊星,王大伟,刘金平. 支持物对攀援蓍草分枝形态塑性和繁殖对策影响的性别差异[J]. 生态学杂志,2015,34(6):1559-1564.
- [26] 孙帅,张小晶,刘金平,等. 遮阴和干旱对苳草生理代谢及抗性系统影响的协同作用[J]. 生态学报,2018,38(5):1770-1779.

## Effects of slope aspect and growth years on the important value and relative yield of three cold season turfgrasses

MA Yong<sup>1,2</sup>, ZENG Xiao-lin<sup>2</sup>, LIU Jin-ping<sup>1</sup>, WANG Da-wei<sup>1</sup>, YANG Xiao-qin<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Logistics Department, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

**Abstract:** The mixed-sown turf with 3 cold season turfgrasses (*Festuca arundinacea*, *Lolium perenne* and *Poa pratensis*, 1:1:1, 3 g/cm<sup>2</sup>) located on the three slope aspects (A, semi-shading slope EN 40°; B, sunny slope WS33°; C, shady slope WN 29°) in purple soil in hilly area was selected to measure the community composition, relative density, important value, relative yield in 1 to 5 years after sowing. The results showed that 1) The slope aspect and growth year affected community composition of turf and proportion of 3 turfgrasses ( $P < 0.05$ ). The slope aspect affected the species and quantity of invasive weeds, and the growth year determined the rate of turf degradation. The community composition of slope B was higher than that of slope A and slope C, and the proportion of 3 turfgrasses decreased year by year. 2) The slope aspect and growth year affected the relative density and important value of turfgrasses ( $P < 0.05$ ), the relative density and important value decreased by about 60% and 70% within 2 to 3 years, respectively. In 1 to 2 years, the relative density and important value of slope C were greater than that of slope A and slope B ( $P < 0.05$ ). In 3rd to 5th years, the relative density and important value of slope B was greater than that of slope A and slope C ( $P < 0.05$ ). 3) Slope aspect and growth year affected the absolute and relative yield of turfgrasses ( $P < 0.05$ ). The influence degree of growth year on absolute and relative yield was  $L. perenne > P. pratensis > F. arundinacea$ , and it was  $P. pratensis > L. perenne > F. arundinacea$  for the slope aspect on relative yield. The relative yield all decreased year by year ( $P < 0.05$ ). In 2nd to 5th years, the absolute yield of *F. arundinacea* on slope B was higher than that on slope A and slope C, and the relative yield of *L. perenne* and *P. pratensis* on slope C was higher than that on slope A and B ( $P <$



0.05). 4) The slope aspect and growth year affected the biomass of single turfgrass ( $P < 0.05$ ). The biomass of 3 turfgrasses increased in 2nd and 3rd years, and decreased in 4th and 5th years ( $P < 0.05$ ). In 2nd and 3rd years, the single plant biomass of tall fescue in slope B was higher than that in slope A and C, while those of ryegrass and bluegrass in slope C were higher than those in slope A and B ( $P < 0.05$ ). In 4th year, the biomass of 3 turfgrasses in slope C all reached the highest and that of slope B was the lowest. 5) The slope aspect and growth year affected the root-shoot ratio of turfgrasses ( $P < 0.05$ ). The influence degree of slope aspect on root-shoot ratio was  $F. arundinacea < L. perenne < P. pratensis$ , and it was  $F. arundinacea > P. pratensis > L. perenne$  for growth year. The root-shoot ratio of 3 turfgrasses in slope B was higher than that on slope A and C. In conclusion, the slope aspect mainly affected community composition and dominant species, and the growth year mainly affected the biomass. The combination of slope direction and year reduced the important value, relative density, relative yield and growth of turfgrass, which lead to serious turf degradation.

**Key words:** slope aspect; growth year; turf; important value; root-shoot ratio

(上接 42 页)

## Analysis on spatial-temporal variation of habitat quality in China based on land use change

YANG Jie, ZHANG De-gang, CHEN Jian-gang

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** It is of great significance for the ecological environmental protection and sustainable development by assessing the habitat quality changes caused by land use and revealing the impact from human activities on the ecological environment. This study analyzed the characteristics of the spatial-temporal variation of habitat quality and the evolution of key point in China in 2000, 2005, 2010 and 2018 based on the current land use data by applying the InVEST model, the kernel density estimation method and the standard deviation ellipse. The results showed that 1) The overall spatial pattern of habitat quality in China from 2000 to 2018 was relatively stable, and the habitat quality in urban-rural junction area reduced most severely; 2) In study period, the habitat quality changes experienced the stage of active-relatively cool-active, and the active area shifted from the south-east coast to the inland. The Yangtze River Basin became a new active area of habitat quality changes, reflecting the difference in the degree of human impact on the natural environment in different periods; 3) The core point of habitat quality changes from 2000 to 2018 experienced a repeated process of first to the southeast and then to the northwest. The main direction of change was northwest-southeast.

**Key words:** habitat quality; spatial-temporal variation; InVEST model; China