

不同立地柳枝稷生长响应的初步研究

王会梅^{1,2}, 徐炳成¹, 李凤民¹, 贺学礼²

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨陵 712100;

2. 西北农林科技大学生命科技学院, 杨陵 712100)

摘要:对黄土丘陵区不同立地中柳枝稷生长响应的变化规律进行了研究。结果表明:柳枝稷在不同立地条件下土壤水分明显不同,坡地土壤平均含水量(13.39%) < 梯田(14.78%) < 川地(16.02%)。土壤水分含量,根系生物量和土层深度三者存在密切相关性。在梯田、坡地和川地三种立地条件下,柳枝稷的株高、覆盖度、生物量、杂草和枯落物等均存在明显差异,其中柳枝稷的株高和覆盖度表现为川地 > 坡地 > 梯田;伴生杂草和柳枝稷枯落物与地上部生物量表现一致,川地显著高于坡地和梯田。地下生物量在川地、坡地和梯田立地下均呈现相同规律,随深度变化根系量逐渐减少,三种立地条件下总地下生物量差异不明显。同时发现土壤有机质和 N 含量与柳枝稷生产力呈显著正相关,说明了黄土丘陵区柳枝稷的生长响应与立地水肥条件有关。这对加强优良禾本科牧草的生态适应性研究及促进我国黄土高原生态可持续发展以及退耕还草工程具有重要的现实意义。

关键词:黄土丘陵区;柳枝稷;立地选择;生长响应

中图分类号:Q948;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)03-0091-03

Preliminary Study on Growth Response of *Panicum virgatum* L. to Different Sites in the Loess Plateau

WANG Hui mei^{1,2}, XU Bing cheng¹, LI Feng min¹, HE Xue li²

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

2. College of Life Science, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The law of growth response of *Panicum virgatum* L. in different locations of the Loess Plateau was conducted. The soil water content showed a significant increase named as sloping field (13.39%) < terrace (14.78%) < the plain (16.02%) grown by *P. virgatum*. A close relationship was discovered in soil moisture, root biomass and soil depth. In the above sites mentioned the plant height, cover rate, the biomass, weed and the plant debris of *Panicum virgatum* L. exhibited a distinct response to the location characteristic, among which the height and coverage declined orderly with the plain to sloping field to terrace. However, as well as surrounding weed biomass and the debris, the above-ground biomass of *P. virgatum* in the plain acquired a greater amount compared that in terrace and sloping field. In addition, the content of organic matter and nitrogen element in the grown soil showed a closely positive relationship with the productivity establishment of *P. virgatum*. Therefore *P. virgatum* could grow well in different habitats in the loess hilly regions because of its wide adaptability. Therefore the variation of water content and fertilizer in soil determined the growth response of *P. virgatum* on hilly regions of the Loess Plateau.

Key words: hilly regions of the Loess Plateau; *Panicum virgatum* L; habitat location; growth response

黄土丘陵区在多年的人工草地建设中,牧草品种单一,推广面积范围小,迫切需要引进优良的人工牧草^[1]。从国外和其它地区引进的牧草资源中看,禾本科牧草柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)在提高黄土高原生产力中有着重要潜力。柳枝稷是禾本科黍属多年生草本植物,具有较强的叶肉细胞羧化能力,较低的气孔导度和较高的光合速率^[2,3]。此外,柳枝稷光合生产力与环境因子,如水分和光照条件等密切相关,表现出较强的生态适应性^[4],适宜于黄土丘陵区的旱生条件。柳枝稷在黄土丘陵区引种多年不仅在川地生长良好,

在荒山地长势也很好,并且根系发达,高产优质,是人工草地建设的优良牧草^[1]。目前柳枝稷的应用研究报道很多,如 Mersie 等报道,柳枝稷的根能引发阿特拉津(一种除草剂)在土壤中的有效迁移,使药效充分发挥,而不影响土壤吸收和矿化作用^[5]。柳枝稷的转基因株还可以作为一种生物能,替代石油来制作乙醇及其它以石油为原料的产品(如塑料等)^[6],但对柳枝稷的生境选择以及生长响应机制不很明确。当前,特别在半干旱黄土丘陵区,柳枝稷在不同立地土壤水分与生产力形成,生长响应与生态适应性还鲜有报道。本

收稿日期:2005-11-09

基金项目:中国科学院“百人计划”项目资助

作者简介:王会梅(1979-),女,陕西凤翔人,硕士研究生,主要从事植物生态与种间竞争研究。

文通过对柳枝稷立地选择的生长响应,初步分析柳枝稷生长适应性和生态适宜性,试图为柳枝稷的合理引种、人工栽培和大规模推广利用提供参考。

1 调查区自然概况与研究方法

1.1 自然概况

本研究在陕西省延安市安塞县境内的中国科学院安塞水土保持综合试验站进行,地理位置为 109°19'23"E,36°51'30"N,海拔高度为 1 080~1 309 m,为暖温带半干旱气候,年平均温度 8.8℃,最冷月为 1 月,平均温度 - 6.9℃,最热月为 7 月,平均温度 22.6℃,全年 10.0℃ 的积温为 3 113.9℃,无霜期为 159 d,植被区划属暖温带森林草原区,灌木零星分布,天然植被面积急剧减少,主要是中旱生草本群落的次生植被占优势地位。该区域年平均降雨量 541.2 mm,其中 7~9 月占 60%以上。干燥度 1.14,77.1%的土壤为黄绵土^[5]。

实验材料为柳枝稷 (*P. virgatum*),为禾本科多年生草本,丛生,高一般为 110~170 cm,叶长 30~80 cm,叶宽 0.8~1.3 cm,叶片表面呈灰绿色,表皮毛较多,下表皮较少,叶色较绿,根系发达,具横向块茎,被绒毛,分蘖能力强^[2]。

柳枝稷为 1995 年 7 月播种于实验区的坡地、梯田和川地,其中川地面积为 4 m×10 m,坡地和梯田面积为 5 m×20 m。川地和梯田为条播,行距 70 cm,东西走向。坡地为 34°坡度,东向坡,等高种植,行距为 70 cm。川地、坡地和梯田的海拔高度分别为 1 070、1 200 和 1 220 m。

1.2 研究方法

试验调查为 2004 年 8 月下旬到 9 月初牧草抽穗期进行。在三个样地中分别用目测法估算草群盖度,并随机选 10 株测定植株高度。然后在每个样地中设置 1 m×1 m 样方各三个,在各样方内刈割植物地上部(不留茬),把柳枝稷和其它杂草及枯落物分开,称其鲜重,然后带回室内,在 105℃ 下杀青 10 min 后,放入 70℃ 恒温下经 24 h 烘干,称重。

地下部生物量测定选用直径为 9 cm 土钻,在每个样地中取地上生物量的地方打钻,重复三次,分五层取样,即 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm,所取根样用水冲洗干净,装入纸袋,放入烘箱中 105℃ 杀青 10 min,70℃ 恒温干燥 24 h 直到恒重,称取干重。

称重法测定土壤水分。每 10 cm 一层,深至 150 cm,3 次重复。

测定各立地 0~20 cm 土壤养分,通过 W 形取样法得到 9 个样点,均匀混合,风干过 0.25 mm 筛,测定有机质(重铬酸钾外加热氧化法)、全氮(半微量凯氏蒸馏法)、全磷(硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法)、全钾(氢氟酸-高氯酸消煮-原子吸收法)、速效氮(碱解扩散法)、速效钾(醋酸铵浸提-原子吸收法)、速效磷(碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)^[7]。

所有数据统计均采用 JMP4.0 软件进行标准误分析和相关性分析,并进行 5%和 1%水平上的显著性检验(*或小写字母表示 0.05 的显著水平,**或大写字母表示 0.01 的极显著水平)。

2 结果

2.1 土壤水分与养分

从图 1 看出,0~20 cm 土层坡地土壤水分显著高于川地和梯田,20~80 cm 土层土壤水分梯田与川地接近,而显著高于坡地。100 cm 以下坡地和梯田土壤水分接近,而显著低于川地。总的来看,川地 0~150 cm 土壤水分好于坡地和梯田,坡地土壤水分又低于梯田。平均土壤水分为坡地

(13.39%) < 梯田(14.78%) < 川地(16.02%)。三种立地下柳枝稷土壤耕层养分均偏低(表 1),但三样地存在显著差异。速效 N 表现为川地 > 坡地 > 梯田。全 K 和速效 K 为川地 > 梯田 > 坡地,全 N 和全 P 则为川地 > 梯田 > 坡地,有机质在川地显著高于梯田,坡地居中,与二者无显著差异。速效 P 则梯田显著高于坡地,川地居中,且与其它二样地无显著差异。梯田的土壤有机质、全 N 和速效 N 含量等均较低。

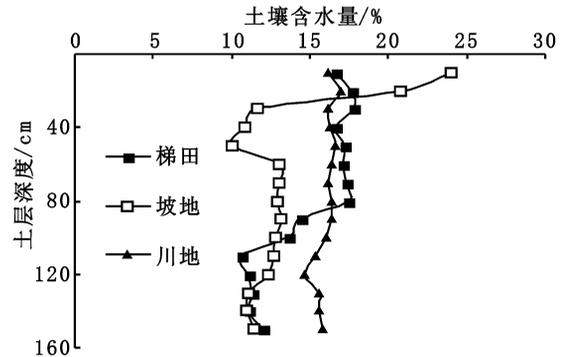


图 1 不同立地下柳枝稷的土壤水分垂直分布

表 1 不同立地下柳枝稷土壤耕层(0~20 cm)养分对比

立地类型	有机质	全 N/%	全 P/%	全 K/%	速效 N/ (mg·kg ⁻¹)	速效 P/ (mg·kg ⁻¹)	速效 K/ (mg·kg ⁻¹)
川地	0.56a	0.048a	0.146a	2.24a	64.2a	1.72ab	126.4a
梯田	0.43b	0.035b	0.139b	2.28a	40.8c	2.68a	123.1a
坡地	0.47ab	0.038b	0.135b	2.03b	47.7b	1.61b	118.3b

注:在各养分水平为同一列中,若出现相同字母为差异不显著,反之,则达到显著水平(P=0.05)以下。

2.2 地上部生长差异

在梯田、坡地和川地三种立地条件下,柳枝稷的株高、覆盖度、地上生物量、杂草和枯落物等均存在明显差异(表 2)。柳枝稷的株高和覆盖度在坡地、梯田和川地中均存在显著差异,表现为川地 > 坡地 > 梯田。川地柳枝稷地上生物量显著高于坡地和梯田,分别为坡地和梯田地上生物量的 5.4 和 10.1 倍。伴生杂草和柳枝稷枯落物与地上部生物量表现一致,即,川地显著高于坡地和梯田,其中川地杂草生物量分别为坡地和梯田的 3.9 和 2.1 倍,枯落物分别为 8.2 和 12.2 倍。

表 2 不同立地下柳枝稷的地上部生长特征比较

立地类型	株高 /m	覆盖度 /%	地上生物量干重/ (kg·hm ⁻²)	杂草干重/ (kg·hm ⁻²)	枯落物干重/ (kg·hm ⁻²)
川地	1.56 a	93 a	11540.0 a	960.1 a	1690.8 a
梯田	0.49 c	32 c	1140.3 b	450.3 b	130.9 b
坡地	0.86 b	40 b	2120.8 b	240.9 b	200.6 b

2.3 地下生物量比较

柳枝稷地下生物量在川地、坡地和梯田立地条件下均呈现似规律(图 2),随深度变化根系量逐渐减少,在 0~40 cm 土壤层次的生物量分别占总地下生物量的 92.94%、80.49%和 94.64%。在 40 cm 以下,三种立地生物量均呈相似的下降趋势,无显著差异。三种立地柳枝稷地下生物量与深度符合 $y = -ae + b$ 方程^[8],其中柳枝稷地下生物量在川地、坡地和梯田立地条件下 a 和 b 分别为 115.6 和 26.3、89.3 和 65.7 以及 102.58 和 32.98,相关系数分别为梯田 R = 0.885 2、坡地 R = 0.895 1、川地 R = 0.755 7,从川

地、梯田、到坡地 a 值逐渐增大, b 值没有明显影响。以次计算的根系最大深度, 即根系量为 0 时的土壤深度, 分别为 1.82 m、1.90 m 和 1.83 m。地下生物量与土壤水分含量极显著相关, 相关系数梯田 $R = 0.9985^{**}$ 、坡地 $R = 0.9951^{**}$ 、川地 $R = 0.9997^{**}$, 说明土壤水分条件是柳枝稷根系生长的重要影响因素。

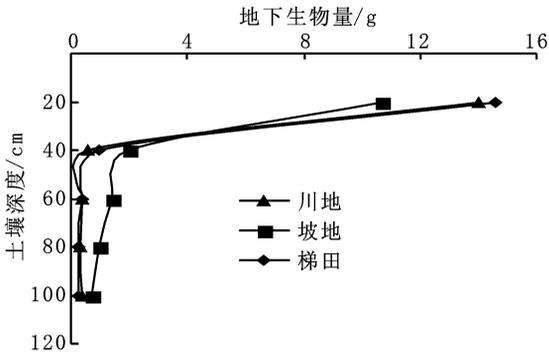


图 2 不同立地下柳枝稷的地下生物量变化

2.4 生产力与土壤养分的相关性

研究表明, 水分和氮素营养不足是限制暖季型草地生态系统生产力提高最主要的两个因子, 在使用氮肥的情况下, 柳枝稷增产效果明显^[9]。柳枝稷地上生物量与土壤养分相关性见表 3。除速效 P 和全 K 外, 其它均与柳枝稷的生产力呈明显的正相关, 特别是与有机质和 N 含量呈现极显著正相关。

表 3 柳枝稷的生产力与土壤养分相关性

	有机质	全 N /%	全 P /%	全 K /%	速效 N/ (mg · kg ⁻¹)	速效 P/ (mg · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)
相关性	+	+	+	+	+	-	+
相关系数	0.9761 ^{**}	0.9907 ^{**}	0.8989 [*]	0.2843	0.9790 ^{**}	0.4933	0.7544 [*]

注: *表示 0.05 的显著水平, **表示 0.01 的极显著水平。在各养分水平上“+”表示为正相关,“-”为负相关。

参考文献:

[1] 李代琼, 刘国彬, 黄瑾, 等. 安塞黄土丘陵区柳枝稷的引种及生物生态学特性实验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, (增刊): 125 - 128.

[2] 徐炳成, 山仑, 黄占斌, 等. 黄土丘陵区柳枝稷与白羊草光合生理生态特征的比较[J]. 中国草地, 2003, 25(1): 1 - 4.

[3] Kiss Z., Wolf D D. Influence of water stress conditioning on photosynthetic water stress response of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) [J]. Acta Agronomica Hungarica, 2001, 49(1): 15 - 24.

[4] 徐炳成, 山仑, 黄占斌, 等. 黄土丘陵区柳枝稷光合生理生态特性的初步研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 625 - 630.

[5] Mersie W, Seybold C, Tsegaye T. Movement, adsorption and mineralization of atrazine in two soils with and without switchgrass (*Panicum virgatum*) roots[J]. European Journal of Soil Science, 1999, 50(2): 343 - 349.

[6] V D Oeyer M J A, Elbersen H W, Keojsers E R P, et al. Switch grass (*Panicum virgatum* L.) as a reinforcing fibre in polypropylene composites[J]. Journal of Materials Science, 2003, 38(18): 3697 - 3707.

[7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.

[8] 杨小凯. 数理经济学基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.

[9] Muir J P, Sanderson M A, Ocumpaugh W R, et al. Biomass production of "Alamo" switchgrass in response to nitrogen, phosphorous and row spacing[J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 5 - 10.

[10] Li P, Zhao Z, Li Z B. Vertical root distribution characters of Robinia pseudoacacia on the Loess Plateau in China[J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(4): 87 - 92.

[11] 徐炳成, 山仑, 黄占斌, 等. 柳枝稷和白羊草苗期水分利用与根冠比的比较[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 73 - 77.

[12] Meziane D, Shipley B. Interaction components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply[J]. Functional Ecology, 1990, 13: 611 - 622.

3 讨论

陕北黄土高原的土地类型主要有坡地、梯田、川地等, 不同的地形, 植被生长不同, 土壤水分状况差异较大^[10]。在本研究中, 柳枝稷在不同立地条件下土壤水分不同, 从土壤平均含水量比较发现坡地 (13.39%) < 梯田 (14.78%) < 川地 (16.02%), 说明植被相同时, 不同立地柳枝稷的土壤水分差异显著。柳枝稷的土壤水分含量与土层深度有密切相关, 土壤水分特征反映了植被响应环境的独特的生态意义。在梯田、坡地和川地三种立地条件下, 柳枝稷的株高、覆盖度、地上生物量、杂草和枯落物等均存在显著差异, 其中川地柳枝稷地上生物量显著大于坡地和梯田, 分别为坡地和梯田地上生物量的 5.4 和 10.1 倍, 与 Stroup 等研究低地条件下柳枝稷生物量高于高地条件相一致, 说明了低地条件水、氮含量相对高地更优越, 表明了柳枝稷的生长立地优先选择次序。柳枝稷在苗期就显示出发达的根系、较强的分蘖能力以及很深的根系分布^[12], 而在 2 年生时, 单株的根系拉力分别为无芒雀麦 (*Bromus inermis* L.) 和达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica* (Maxim) S.) 的 1.7 和 2.9 倍^[11], 这种较强的根系生长和分蘖力, 是柳枝稷维持较强的生态适应性、较高生产力以及水土保持力的重要因素。

柳枝稷地下生物量在川地、坡地和梯田立地下呈现相似趋势。随深度变化根系量逐渐减少, 三种立地条件下总地下生物量差异不明显。Li 等 (2004) 发现 *Robinia pseudoacacia* 的细根 (< 1 mm) 比粗根 (< 3 mm) 在土壤中的分布更深, 但根系量随土壤深度增大而降低, 从而有利根系从深层土壤吸收水分和营养, 帮助根系适应干旱环境, 促进地上部的生长^[10], 在柳枝稷中表现出相似的根系生长规律。Meziane 等 (1990) 指出, 环境条件, 尤其是光照和养分的充足供应是发挥植物相对生长速率的基础^[12]。本研究中, 不同立地土壤养分同柳枝稷地上生物量显著相关, 其中土壤有机质和 N 含量与柳枝稷地上生物量为显著正相关, 说明了土壤养分因子可能决定了柳枝稷在不同立地的生长响应。