

柳枝稷的生长发育与土壤水分特征

姜 峻, 李代琼, 黄 瑾

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 中国科学院 安塞水土保持综合试验站, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 1992—1998 年中国科学院安塞水土保持综合试验站在山地、川地引种 10 份原产美国的柳枝稷 (*Panicum virgatum*) 材料, 经过 7 a 测定, 数据表明柳枝稷在 3~5 a 生长高峰期对土壤水分需求最大, 产量最高。从土壤水分含量的变化来看, 柳枝稷草地在 80—200 cm 土层已经形成土壤干层, 而且在经过生长季节降雨和休闲期的雨雪水分补充不能够补偿, 这主要是维持较大的生产力造成。柳枝稷在半干旱黄土丘陵区有较强的适应性, 这对当地人工草地建造、天然草地改良具有重要意义。通过对柳枝稷驯化栽培的人工草地在黄土丘陵半干旱地区立地条件下生产力与土壤水分特征的比较, 以揭示柳枝稷的生态适应性对其地上生物量形成规律的影响, 为该地区合理利用牧草资源、提高草地的生产能力提供依据与参考。

关键词: 黄土丘陵区; 柳枝稷; 生产力; 土壤水分

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)05—0075—04

中图分类号: S152.75

Growth of *Panicum Virgatum* and Soil Moisture Characteristics

JIANG Jun, LI Dai-qiong, HUANG Jin

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, and Ansai Research Station of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Ten kinds of *Panicum virgatum* originated in USA were introduced on hill slope and valley plain in the Ansai research station from 1992 to 1998. The data observed for 7 years illustrate that *Panicum virgatum* in 3 to 5 year growth fastigium stage particularly requires soil moisture and gives the highest yield. In view of the change in soil water content, *Panicum virgatum* helps form a dried layer between 80 and 200 cm from soil surface and it can not be compensated by rainfall in growing season, as well as rainfall and snow in leisure time. The problem is resulted from the maintenance for a higher productivity. *Panicum virgatum* has a strong adaptability in semi-arid hilly and gully region of the Loess Plateau, which is of importance to artificial grassland construction and natural grassland improvement. Through comparing the productivity of *Panicum virgatum* cultivated in the region with the characteristics of soil moisture, the effects of *Panicum virgatum*'s eco-adaptability on its aboveground biomass formation may be understood. The results offer a scientific basis and an important reference to rational utilization of local herb resources and improvement of grassland productivity.

Keywords: hilly and gully region of the Loess Plateau; *Panicum virgatum*; productivity; soil moisture

植被是防止地面水土流失最积极的因素, 在水土流失严重的黄土丘陵区草原带、森林草原带, 草本植物群落在水土保持中起主导作用。而丘陵区草地一个重要特点是草场多分布在沟缘线以下的沟坡, 且以天然草地为主。

由于过渡放牧和人为生产活动的影响, 使黄土丘陵区的草场严重退化, 载畜量下降, 水土保持功能减

弱, 特别是禾本科牧草品种单一, 栽培品种少, 产量低, 质量较差。我们于 1992—1998 年在陕西省安塞县对禾本科牧草进行了引种驯化实验研究^[1-3]。7 a 共引种国内外优良禾本科牧草 362 份材料, 系 50 属, 138 种。通过引种试验, 筛选出适应当地环境的良好草种 10 余种 (品种、类型), 尤以柳枝稷 (*Panicum virgatum*) 的表现为优。这些优良草种为该地区发

收稿日期: 2007-04-18

修回日期: 2007-07-09

基金项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-XB2-05); 国家科技支撑项目 (2006BAD09B07)

作者简介: 姜峻 (1968—), 男 (汉族), 四川省井研县人, 在职硕士, 主要从事牧草引种和草地生态研究。E-mail: jiangji@cern.ac.cn.

展畜牧业、建造大面积人工草地和改良天然草地提供了物质基础和科学依据。

1 试验地自然条件

试验区布设于中国科学院安塞水土保持综合试验站,地理位置为北纬 $36^{\circ}43' - 36^{\circ}46'$,东经 $109^{\circ}14' - 109^{\circ}16'$ 属暖温带半干旱区,植被区划分为暖温带森林草原区,海拔 $1\ 013 \sim 1\ 431\text{ m}$ 。土壤为黄绵土,年平均气温 8.8°C ,无霜期 159 d ,年平均降雨量 531.4 mm ,干燥度 1.14 。土壤侵蚀剧烈,年侵蚀模数 $>10,000\text{ t/km}^2$ 。大面积的荒山荒坡因过牧而成为退化草地,覆盖度为 $0.2 \sim 0.4$,鲜草产量 $1\ 200 \sim 1\ 095\text{ kg/hm}^2$ 。

2 结果与分析

2.1 柳枝稷的形态特征

柳枝稷为禾本科多年生草本植物,丛生。高 $110 \sim 170\text{ cm}$,草丛高 $90 \sim 95\text{ cm}$;茎具 $4 \sim 6$ 节;叶长 $30 \sim 80\text{ cm}$,叶宽 $0.8 \sim 1.3\text{ cm}$,叶两面有蜡质,被柔毛,叶缘、叶舌具纤毛。叶上表皮呈灰绿色,表皮毛较多,

下表皮毛较少,夜色较绿,叶鞘呈暗红色^[4-5]。圆锥花序展开,长 $30 \sim 58\text{ cm}$,开花时呈塔形疏散展开的小枝与小穗。小穗灰绿色略呈紫色,每穗 $6 \sim 8$ 节,每节 $2 \sim 6$ 穗,每穗有 $4 \sim 7$ 个小穗,小穗含 $6 \sim 8$ 粒种子,呈纺锤形。种子浅黄绿色,先端稍尖,长约 3 cm ,平滑光亮。根系发达,且具横向根状茎,被鳞片。分布在北美、中美及墨西哥,我国有引种栽培,但柳枝稷在黄土高原尚无引种成功的记载。

2.2 柳枝稷的生物生态学特性

2.2.1 种、苗特性 柳枝稷种粒小,千粒重为 1.7 g ,其种皮薄,吸水力强,在适宜的水热条件下发芽快,出苗好。一般连阴雨 $3 \sim 5\text{ d}$,降雨量达到 $20 \sim 40\text{ mm}$,即可获得好的存苗效果。

安塞站从 $1995 - 1999$ 年引种美国柳枝稷 11 份材料(见表 1)C95-242,96-113,97-1,97-17 在安塞试验区旱川地、山地生长良好,抗旱、抗寒性较强。生长 $2 \sim 4\text{ a}$ 的柳枝稷,当年幼苗株高 $23 \sim 82\text{ cm}$,存苗 $10 \sim 15\text{ 株/m}^2$,越冬率 $64\% \sim 92\%$ 。柳枝稷在半干旱黄土丘陵区有较强的适应性,这对当地人工草地建造、天然草地改良具有重要意义^[6]。

表 1 柳枝稷引种效果

编号	生长年限	播种量/ ($\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$)	播种期	出苗期	当年成苗情况		第 2 年成苗情况		1998 年调查结果		
					株高/ cm	株数/ ($\text{株} \cdot \text{m}^{-2}$)	株数/ ($\text{株} \cdot \text{m}^{-2}$)	越冬率/ %	株高/ cm	鲜重/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	干重/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
C95-242	4	30	-950424	0609-10	30	12	10	83	156.7	25 013	8 804
A96-113	3	30	-960523	6 月下旬	25	15	10	66.7	148	13 007	5 203
B96-113	3	30	-960629	7 月下旬	23	14	9	64	132	8 404	2 901
C96-113	3	30	-960624	0708-10	23	12	10	83	139	9 104	3 202
A97-1	2	30	-970629	0708-10	70	10	8	80	153	6 703	2 701
D97-1	2	22.5	-970708-29	0708-10	24	11	8	72.7	117	6 303	2 201
A97-17	2	22.5	-970708-29	0708-10	82	13	12	92.3	168.3	7 204	2 701
D97-17	2	22.5	-970729	0708-10	70	10	8	80	95	6 103	2 101

注: A, B, C, D 分别代表旱川地、山地阴坡、阳坡、梯田。

2.2.2 物候及生长发育 表 2 为 1992 年安塞试区草组在旱川地引种美国柳枝稷的生长和产量动态。7 年生柳枝稷在旱川地较其它禾本科牧草长势好、产量高。1995-1999 年我们安塞试区在山地、川地引种 10 份原产美国的柳枝稷材料,柳枝稷在黄土丘陵区荒山生长良好,产量高^[7-9]。1995 年在山地阳坡播种的柳枝稷出苗率较高,成苗较好。从 4 a 的生长动态看出,在山地第 3, 4 年生长量和产量达到峰值,株高分别为 $140, 156\text{ cm}$,鲜草产量为 $18\ 000, 25\ 013\text{ kg/hm}^2$ 。从柳枝稷的个体发育调查看出:柳枝稷单

丛分蘖较多, $2 \sim 3\text{ a}$ 生单丛分蘖 $27 \sim 42$ 个, $5 \sim 7\text{ a}$ 生分蘖 $80 \sim 90$ 个,叶量大,在荒山覆盖度为 85% 以上,水土保持效益明显。通过对柳枝稷营养成分分析,风干植株含粗蛋白 $5.38\% \sim 9.14\%$,粗纤维 $32.44\% \sim 34.23\%$,粗脂肪 $1.35\% \sim 1.72\%$,灰分 $5.36\% \sim 6.16\%$,磷 $0.15\% \sim 0.16\%$,钙 $5.0\% \sim 0.148\%$,钾 $0.778\% \sim 1.248\%$,硒 $2.33 \times 10^{-2}\% \sim 2.83 \times 10^{-2}\%$ 。柳枝稷在黄土高原一般 4 月初返青,5 月分蘖,6 月拔节、孕穗,7 月抽穗、开花结实,9 月种子成熟,在安塞产籽量为 $300 \sim 450\text{ kg/hm}^2$ 。

表2 川地柳枝稷生长和产量调查

生长年限	1年生	2年生	3年生	4年生	5年生	6年生	7年生
株高/cm	39.3	143.7	171.7	168.3	157	110	136.30
鲜重/(kg·h ⁻²)	1 005	13 500	27 000	40 122	40 020	22 500	18 420
干重/(kg·h ⁻²)	302	4 455	9 990	12 839	14 007	8 325	6 679
干鲜比/%	0.30	0.33	0.33	0.32	0.35	0.37	0.36

在柳枝稷生长过程中,发现株高与生物量也有一定的相关关系,其表达式为:

$$Y=4.0389x^3-57.768x^2+247.46x-154.53$$

$$R^2=0.969$$

3 柳枝稷土壤水分特征

在所选样地对柳枝稷土壤水分进行监测,我们使用土钻法分层取样,每年10—11月初测定1次,取样

深度为200 cm,10个层次,每层重复取样3次,然后用烘干法(105℃)测定,8~12 h,取其各层平均值为该层的土壤含水量(表3)。其计算公式为:土壤含水量=(土壤湿重-土壤干重)/土壤干重×100%。表中显示即使在同一立地条件下其需水量及在土壤中汲水深度也有很大差异。测定不同生长年限土壤水分可以看出,3~5年生柳枝稷对土壤吸取0—80 cm土层水分中变化最大。

表3 不同生长年限土壤含水量

土层深度/cm	1年生	2年生	3年生	4年生	5年生	6年生	7年生
0—20	13.81	10.06	2.90	3.41	13.54	4.79	13.25
20—40	15.36	10.84	3.98	2.95	10.13	5.81	10.57
40—60	13.44	9.79	3.93	4.65	5.96	6.27	5.32
60—80	10.90	9.67	4.17	4.52	4.28	7.36	5.99
80—100	9.49	9.89	4.48	5.00	3.34	6.20	6.12
100—120	8.98	8.28	4.44	5.12	3.61	6.26	6.20
120—140	8.75	8.82	4.75	5.30	3.85	6.84	6.32
140—160	8.74	9.57	5.11	5.25	4.18	6.67	6.56
160—180	8.92	10.08	4.85	5.28	4.38	6.79	8.98
180—200	9.17	9.96	4.80	6.29	4.74	6.96	9.21
降雨量/mm	567.40	569.00	453.10	454.50	616.10	275.00	525.60
产量/(kg·hm ⁻²)	1 005	13 500	27 000	40 122	40 020	22 500	18 420

测定不同生长年限柳枝稷的土壤水分(0—200 cm)可以看出1~2年生柳枝稷对各土层水分利用不是十分明显(图1),表现为土层中的含水量还比较高,在8.7%~13%左右。而3~6年生柳枝稷随着地上生物量的不断增加,对土层水分利用就十分强烈,含水量大部分在6%以下,在60—200 cm间接降雨量已经无法恢复,植物过度汲取土壤水分引起水分匮乏形成土壤干层。与之相对应的在柳枝稷的生长发育过程中产量和同时期降雨量的关系也十分密切(图2),在降雨量较稳定时期为500 mm左右,随着生长年限的增加,产量也随不增加,5年生最为明

显,降雨量为616.1 mm,产量达到最大值40 020 kg/hm²。1997年降雨量为275 mm,是从1970年至今降雨最低的一年,这对6年生柳枝稷的产量影响很大,产量下降到22 500 kg/hm²。由于土壤水分的极度缺乏,在1998年降雨量为525.6 mm时,仍然对柳枝稷的产量产生了后续的影响,使其下降到18 420 kg/hm²。通过对柳枝稷生长过程中,产量与降雨量的关系研究,发现降雨量与生物量也有一定的相关关系,其表达式为:

$$Y_c = 254.69x^4 - 4084.8x^3 + 18880x^2 -$$

$$17030x + 1005$$

$$R_c^2 = 0.9629$$

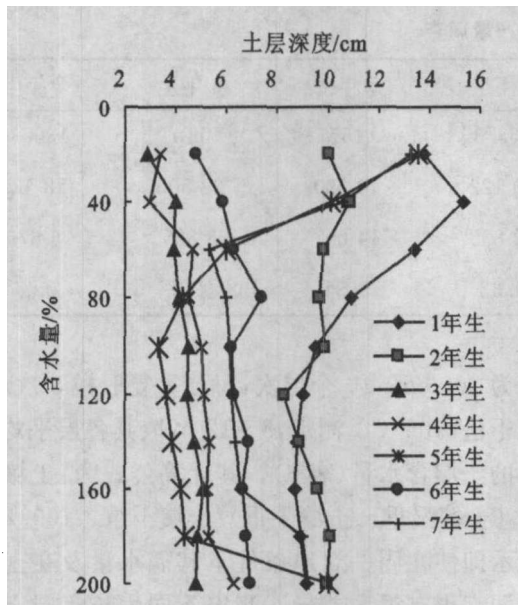


图 1 柳枝稷土壤含水量

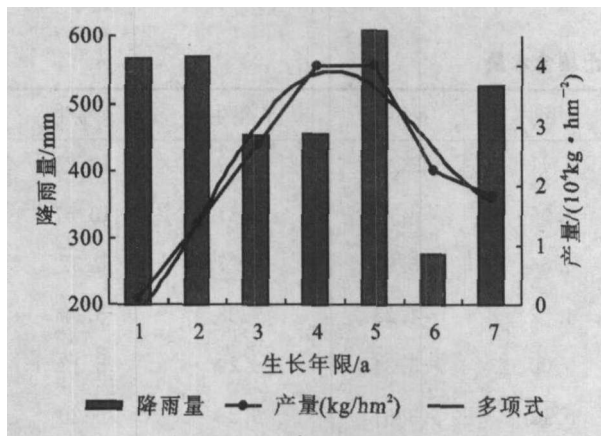


图 2 降雨量与产量关系

4 讨论

柳枝稷在黄土丘陵区 1~7 年生草地上生物量在 23 223 kg/hm²。即使在严重干旱的 1997 年(年降水量只有 275 mm),生物量也可达 22 500 kg/hm²。调查结果显示,种植 3~5 a 的柳枝稷年度生物量为最高。表明柳枝稷对该地区具有较强的生态适应。柳枝稷根系发达,分布较深,单丛分蘖能力强,这种根系生长特性在其苗期就已经显示 1 年生柳枝稷单株平均有 8~12 个分蘖,多年生柳枝稷平均有 26~37 个分蘖,这种较强的根系生长、分蘖能力是保证其较高生产力的基础,是其具有较强保持水土能力的重要原因之一^[10-12]。柳枝稷草地生产力累积量受到同期降雨量影响(图 3),主要降雨分布在 6-8 月,占全年降雨量的 80%以上,通过 7 a 逐月平均气温的数据显示,这 7 a 间同时期温度相对变化量不大,只有 1998 年 4 月温度高于其它年份,平均气温达到 15.3℃,而往年 4 月的平均气温为 11℃左右。说明

在对柳枝稷观测生长的 7 a 间,各月平均气温相似,温度对生长的影响不大,主要是降雨量对生物量的积累起着至关重要的作用。

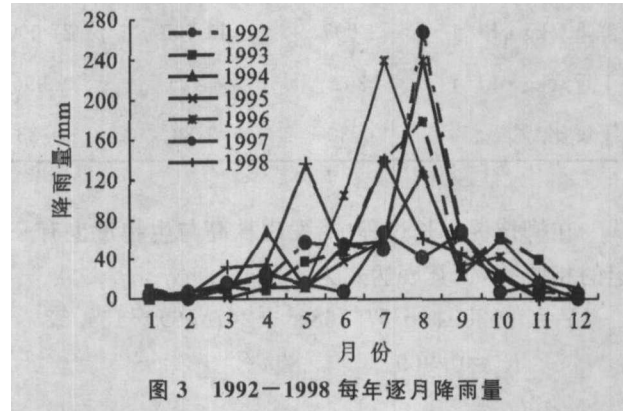


图 3 1992-1998 每年逐月降雨量

黄土丘陵区在多年的人工草地建设中,牧草品种单一,迫切需要引进优良的人工牧草。从国外和其它地区引进的牧草资源中看,禾本科牧草柳枝稷在提高黄土高原生产力中有着重要潜力^[13]。柳枝稷是禾本科黍属多年生草本植物,表现出较强的生态适应性,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生长良好,根系发达,高产优质,是人工草地建设的优良牧草。本文通过初步分析柳枝稷生长与土壤含水量的变化,柳枝稷生长适应性和生态适宜性,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。

[参 考 文 献]

- [1] 李代琼,黄瑾,刘国彬,等. 安塞黄土丘陵区优良草种引种试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999(增刊): 116-124.
- [2] 李代琼,刘国彬,等. 安塞黄土丘陵区柳枝稷的引种及生物生态学特性试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999(增刊): 125-128; 1998(4): 47-51.
- [3] 梁一民,李代琼. 黄土丘陵区提高草地生态经济效益的途径[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 111-115.
- [4] 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.
- [5] 王会梅,徐炳成,李凤民. 贺学礼不同立地柳枝稷生长响应的初步研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 91-93.
- [6] 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.
- [7] 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.

(下转第 88 页)

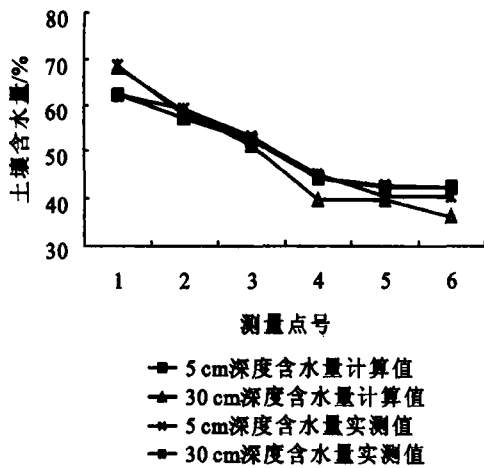


图 4 时间为 14:00 土壤含水量实测与计算比较曲线

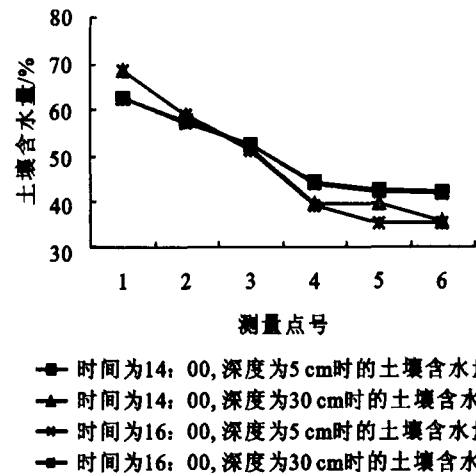


图 5 不同时刻土壤含水量实测与计算值比较曲线

[参 考 文 献]

- [1] Philip J R, Vries de D A. Moisture movement in porous materials under temperature gradients[J]. Eos Trans, 1957, 38(2): 222—322.
- [2] Harland R L. Analysis of coupled heat fluid transport in partially frozen soil[J]. Water Resources Research, 1973, 9(5):1314—1323.
- [3] Newman G P, Wilson G W. Heat and mass transfer in unsaturated soils during freezing[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1997 (34), 63—70.
- [4] 陈怀亮, 冯定原, 邹春辉, 等. 用 NOAA/AVHRR 资料遥感土壤水分时风速的影响[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(2):219—224.
- [5] 包为民, 瞿思敏. 冰川消融耦合模型研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(3):318—323.
- [6] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [7] Kim S, Andrew G. Heydinger. A Model for coupled moisture and heat flow in unsaturated soil[J]. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2002(7): Bundle B.
- [8] Chung S O, Horton R. Soil heat and water flow with A partial surface mulch[J]. Water Resour. Res, 1987, 23: 2175—2186.
- [9] 沈荣开, 任理. 夏玉米全覆盖条件下土壤水热动态的田间实验和数值模拟[J]. 水利学报, 1997(2): 14—21.
- [10] Gardner W R. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water-table[J]. Soil Science, 1958, 85:228—232.
- [11] Haverkamp R, Vauclin M, Touma J, Wierenga P J, et al. A Comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration[J]. Soil Science Society of America Journal, 1977, 41(2):285—294.
- [8] V D Oeyer M J A, Elbersen H W, Keijsers 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.
- [9] 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.
- [10] 杨小凯. 数理经济学基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [11] 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.
- [12] Li P, Zhao Z, Li Z B. Vertical root distribution characters of *Robinia pseudoacacia* on the Loess Plateau in China [J] Journal of Forest ry Research, 2004, 15 (4) : 87—92.
- [13] 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.

(上接第 78 页)