

黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化*

程积民** 万惠娥 王 静

(中国科学院-水利部水土保持研究所,西北农林科技大学水土保持研究所,杨陵 712100)

【摘要】 研究了黄土丘陵区紫花苜蓿生物量变化规律和土壤水分过耗与恢复特征.结果表明,紫花苜蓿在退耕地生长年限一般为10年,生长的高峰期为第4年~第5年,到第6年,由于土壤水分过耗严重,生物量开始逐年下降,草地开始衰败.紫花苜蓿茎叶生物量的垂直变化,在距地面0~35 cm之间,茎生物量远大于叶生物量,茎叶比为1.7:1;在40 cm高时茎叶比相等,在45~90 cm之间叶生物量远大于茎生物量,叶茎比为1.42:1.紫花苜蓿土壤干层在生长的前两年不甚明显,随着生长年限的延长,干层厚度不断扩大,由第3年的110 cm扩大到第7年的260 cm,含水量仅为4.6%~6.2%,土壤水分严重亏缺.紫花苜蓿退化草地土壤水分的自然恢复过程一般需5年,且随着恢复年限的延长,土壤水分逐年提高.

关键词 黄土丘陵区 紫花苜蓿 土壤水分

文章编号 1001-9332(2005)03-0435-04 **中图分类号** S152.7 **文献标识码** A

Alfalfa growth and its relation with soil water status in loess hilly and gully region. CHENG Jimin, WAN Hui'e, WANG Jing (*Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(3):435~438.

This paper studied the dynamics of alfalfa growth and its relation with the excessive depletion and resumption of soil water in loess hilly and gully region. The results showed that alfalfa could grow in this region for 10 years, being most flourishing at the fourth and fifth year, but declined gradually because of the excessive depletion of soil water. From 0 to 35 cm above ground, the stem biomass was higher than the leaf biomass, and the ratio of stem to leaf was 1.7:1; at 40 cm above ground, the biomass of stem and leaf was equal; and from 45 to 90 cm above ground, the leaf biomass was higher than the stem biomass, with the ratio of leaf to stem 1.42:1. The soil dry layer was not distinct in first two years of alfalfa growth, but getting thicker with time, being from 110 cm in third year to 260 cm in seventh year, with a 4.6%~6.2% of soil water content. It took 5 years for the natural resumption of soil water in degraded alfalfa grassland, and soil water content was increased with time.

Key words Loess hilly and gully region, Alfalfa, Soil water.

1 引言

我国宁夏固原地处黄土高原西北部,是典型的农牧交错带,也是生态脆弱带.随着国家“西部大开发”战略的实施,人们对保护环境的认识也在不断提高,退耕还林还草势在必行^[1].黄土丘陵区是年降水量400~500 mm的半干旱区,人工草地的建设主要受水分的限制而发展缓慢.20世纪80年代中期以来,该区大面积建设的人工草地因土壤水分的过耗而衰败,使农村经济和畜牧业的发展受到了一定的影响.如何利用有限的水资源,使生态环境不断改善,是目前急需解决的重要课题之一^[1].因而,研究人工草地土壤水分特征与过耗及恢复规律具有重要的现实意义^[3,5~9,12].紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)适应性强、根系发达、分支多、产量高,既可防风固沙,又是优质的高植物蛋白饲草,被誉为“牧草之王”^[11].本文以多年生优良豆科牧草紫花苜蓿草地土壤水分为重点,研究人工草地土壤水分的动态

规律和深层土壤水分的补偿与恢复过程,为该区域发展人工牧草和草地植被、改善生态环境提供科学依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

试验区位于黄土高原西部丘陵沟壑区,海拔1 650~1 750 m,植被属典型草原区,年均气温6~7℃,平均降水量445 mm(1990年~2001年),丰水年占25.0%、平水年占37.5%、枯水年占37.5%、一般7月~9月份降水量占年降水量的65%~75%,蒸发量为1 330~1 640 mm,≥10℃积温2 100~3 200℃,干燥度1.5~2.0.该地属温凉半干旱区,地貌沟壑纵横,土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,土层分布较均匀深厚,地下水较深,且补充能力差.

* 国家“十五”科技攻关计划项目(2001BA508B19)、国家自然科学基金重点项目(30230290)、中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿项目(SW04103)、国家自然科学基金项目(40371077)和国家高技术研究发展计划资助项目(2002AA6Z3301).

** 通讯联系人.

2003-12-29 收稿,2004-09-10 接受.

2.2 试验方法

试验于1990年布设在宁夏固原头营梁退耕旱地上. 试验材料为优良豆科牧草紫花苜蓿, 采用人工条播, 播种期为1990年4月26~29日, 播种量为 $7.5\sim 22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 播种深度为2~3 cm, 并实行田间松土、除杂草管理. 然后从播种当年开始, 20年间每年在植物生长的初期(4月)、中期(7月)和末期(9月)测定0~800 cm深土壤水分, 其中0~300 cm以每20 cm为分层, 300~800 cm以每50 cm为分层, 含水量以百分数表示. 同时设固定样地定期测定株高、分枝、单株产量、生物产量及不同层次茎叶结构等, 每项测定重复3~5次; 根系采用土壤剖面切割法^[18]分层取样测定, 长60 cm×宽40 cm×高20 cm为一层, 分别统计不同深度单位面积的主根、侧根及毛根分布数量, 然后用统计分析方法进行数据处理、资料整理及图形绘制等工作.

3 结果与分析

3.1 紫花苜蓿生物量不同生长层次的分布规律

紫花苜蓿在黄土丘陵区的退耕地生长年限一般为10年, 其旱地生长的高峰期为第4年, 生长到第6年, 由于土壤水分过耗严重, 其生物量开始下降. 而在水浇地生长到第6年~第8年生物量仍较高, 说明水分对生物量的影响至关重要. 对紫花苜蓿生物量的空间垂直变化测定结果表明, 在4~5月份, 紫花苜蓿生物量的空间垂直变化虽然叶大于茎, 但牧草生物量低, 水分含量高, 牲畜过量采食易引起腹胀与多便, 影响牲畜的正常生长发育; 8~9月份虽然生物量较高, 但牧草均处于生殖生长阶段, 茎秆粗硬、叶量少、粗纤维含量高、营养价值低, 不利于牲畜采食. 由图1可见, 紫花苜蓿茎叶生物量的垂直变化在距地面0~35 cm之间, 茎生物量远大于叶生物量, 茎叶比为1.7:1; 在距地面40 cm高时茎叶比相等; 在距地面45~90 cm, 叶生物量远大于茎生物量, 叶茎比为1.42:1. 此时叶量大、营养丰富、生物产量高, 可进行合理刈割利用, 有利于牲畜的采食与增膘. 另外, 紫花苜蓿的生长除水肥条件满足外, 其次是光照条件. 因为光照不仅能促进植物体内养分、

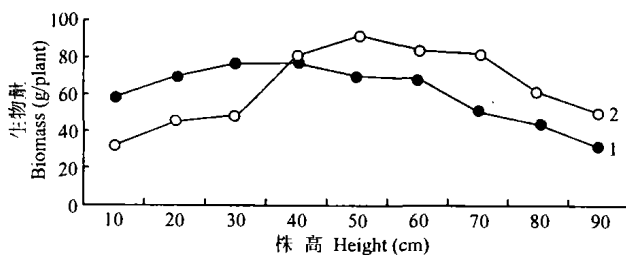


图1 紫花苜蓿单株平均生物量变化
Fig.1 Variations of average biomass per individual alfalfa plant.
1) 茎重 Stem weight; 2) 叶重 Leaf weight.

水分及其他所需矿物质元素循环, 还可促进叶子的生长, 有利于发展畜牧业.

3.2 紫花苜蓿草地不同生长年限土壤水分特征

由图2可以看出, 紫花苜蓿草地不同生长年限的土壤水分变化差异较大. 一般在植株生长的第2年(1991年)年降雨量为259.7 mm, 不同层次土壤含水量的变幅在9.0%~17.0%; 在第4年(1993年), 年降雨量335.3 mm. 0~400 cm土层由于根系分布密集, 土壤水分消耗量大, 其含水量比1991年降低了4%~7%, 而410~800 mm土层根系分布稀疏, 土壤水分消耗较少, 土壤含水量基本接近1991年; 在第6年(1995年)年降雨量为443.2 mm, 均高于生长的第2年和第4年, 但0~600 cm土壤水分仍亏缺严重, 含水量最低仅有5.0%; 600~800 cm土壤水分由于受地下水的影响有所恢复, 但幅度不大; 在紫花苜蓿生长的7~12年, 0~400 cm土层是根系分布的密集区, 土壤水分受根系分布的影响过耗严重, 且差异较大, 含水量最低为4.2%、最高为10.6%, 400~800 cm土壤含水量受地下水的影响有一定恢复, 但幅度不大, 而天然降雨对土壤水分的补充主要集中在0~60 cm, 土壤深层水分的补充较少.

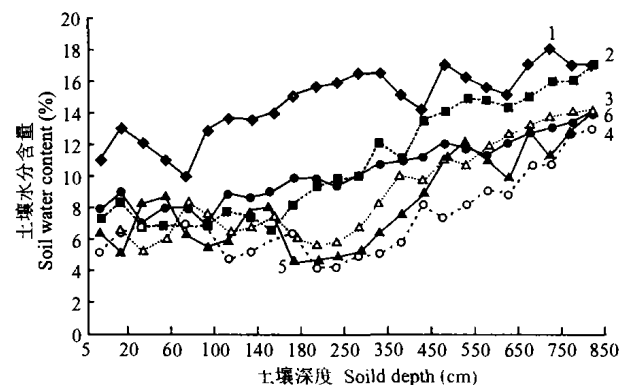


图2 紫花苜蓿草地不同生长年限土壤水分变化
Fig.2 Variations of soil water in different ages of alfalfa grassland.
1) 2年生 Two year; 2) 4年生 Four year; 3) 6年生 Six year; 4) 8年生 Eight year; 5) 10年生 Ten year; 6) 12年生 Twelve year.

紫花苜蓿草地0~800 cm深的土壤含水量变化特征可分为4层. 1) 速变层: 常受降水的影响, 分布深度为0~60 cm; 2) 过度利用层: 受降水和根系利用的影响, 分布深度为70~90 cm; 3) 根系利用层: 100~400 cm, 土壤水分含量最低; 4) 水分恢复利用层: 受地下水和根系分布的影响少, 分布深度在410 cm以下. 紫花苜蓿在生长的第10年, 0~800 cm深土壤水分总亏缺量多年平均为788 mm. 各层的亏缺比例是: 0~150 cm占总亏缺量的26%、160~400 cm占34%、410~500 cm占14%、510~600 cm占

9.4%、610~700 cm 占 8.8%、710~800 cm 占 7.8%。随着紫花苜蓿种群的衰败,土壤含水量有一定恢复,但受土壤水分过耗和降水量的影响,恢复速度较慢。

3.3 紫花苜蓿根系分布与土壤干层形成

由图 3 可以看出,紫花苜蓿根系的分布深度在生长的 6 年以前,每年平均以 112.5 cm 的速度下伸,6 年生紫花苜蓿的根系分布深度可达 675 cm 以上,土壤水分的消耗深度与根系的分布相一致。根据该区土壤凋萎湿度、植物的生长状况和水分的亏缺程度,将土壤干层划分为 3 级:轻度干层(土壤含水量 6.0%~8.0%)、中度干层(8%~10%)、重度干层(6.0%以下)。本区紫花苜蓿草地的土壤干层主要集中在根系分布的密集区。一般随着紫花苜蓿生长年限的延长土壤干层的形成逐渐加深。在生长的第 1 年至第 2 年,因植株生长缓慢、生物量低、土壤水分消耗少,土壤干层不甚明显;随着紫花苜蓿地上部分的旺盛生长和生物量的大幅度增加,在生长的第 3 年土壤干层出现在 100~210 cm,干层厚度为 110 cm,土壤含水量为 5.2%~6.8%;在生长的第 4 年,地上部分的旺盛生长致使土壤干层形成更加明显,一般分布深度在 140~260 cm,干层厚度为 120 cm,含水量为 4.1%~6.3%;生长的第 5 年,土壤干层的形成深度在 120~320 cm,干层厚度为 200 cm,含水量为 4.5%~6.7%;生长的第 6 年,土壤干层形成深度在 100~350 cm,干层厚度为 250 cm,含水量为 4.8%~6.3%;在生长的 7~10 年,土壤干层的形成厚度为 260 cm,土壤含水量为 4.6%~6.2%。随着紫花苜蓿生长年限的延长,根系密集区的分布深度与土壤干层的形成厚度基本一致。

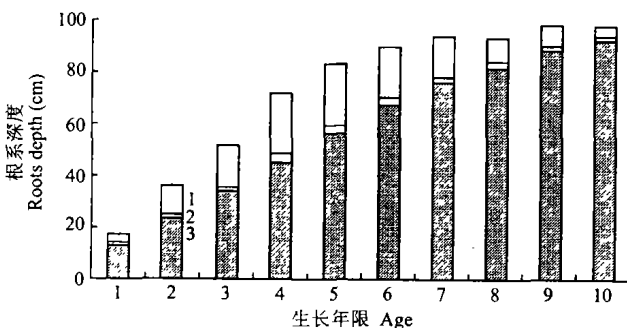


图 3 紫花苜蓿不同生长年限根系变化

Fig. 3 Variations of different ages of alfalfa roots.

1) 根系深度 Root depth; 2) 侧根数 Lateral root amount; 3) 毛根数 Hair root amount.

3.4 紫花苜蓿草地土壤水分的自然恢复过程

随着紫花苜蓿草地退化年限的延长,土壤水分受降雨的影响开始逐渐恢复,由于土壤水分亏缺严

重,因此恢复速度缓慢,所需年限较长。一般退化紫花苜蓿草地土壤水分恢复到种植紫花苜蓿之前,土壤水分含量大约需要 5 年时间。恢复的第 1 年(种植紫花苜蓿的第 11 年)0~800 cm 土壤含水量的变化幅度为 4.1%~9.9%,比第 10 年提高了 1.6%~2.35%;恢复的第 2 年,土壤含水量的变化幅度为 5.4%~11.8%,比第 10 年提高了 2.7%~3.25%;恢复的第 3 年,土壤含水量的变化幅度为 8.4%~14.1%,比第 10 年提高了 4.1%~4.65%;恢复的第 4 年,土壤含水量的变化幅度为 7.9%~14.9%,比第 10 年提高了 4.7%~4.95%;恢复的第 5 年,土壤含水量的变化幅度为 9.8%~15.9%,比第 10 年提高了 5.5%~5.8%。此时土壤含水量与大田相比已基本恢复,农作物可正常生长。

4 讨 论

目前,我国在西部生态环境建设中大力实施退耕还林还草及封山禁牧和舍饲养殖工程,为天然植被的自然更新与快速恢复创造了良好条件,尤其是人工草地的土壤水分变化受植被的地带性影响较大^[4,19]。因此,人工草地的建设与发展更加重要。紫花苜蓿在黄土高原种植历史悠久,是发展畜牧业的优质高蛋白饲料。近年来,其在黄土丘陵区发展很快,面积逐年扩大,占固原地区人工草地的 60%~70%。但该区降雨较少,干旱频繁,草地水分不足,特别是土壤干层对苜蓿的高产稳产造成较大威胁。因此,紫花苜蓿产量和水分研究是西部生态需水研究的基础^[1,13,17]。本研究认为,在黄土丘陵半干旱区特殊环境条件下,紫花苜蓿一般生长年限为 10 年左右,生长高峰期第 4 年至第 5 年,生长到第 6 年,生物产量逐年下降,草地开始衰败;而水浇地紫花苜蓿第 6 年生物量仍较高,可持续到 9~10 年,进一步说明水分对苜蓿生物量的影响至关重要。Ottman 等^[15]报道,在沙地上,紫花苜蓿停止灌溉超过 12 周以上,产量会显著降低,严重时植株密度减小,甚至整个植株死亡。半干旱区紫花苜蓿在生长的第 2 年 0~800 cm 深土壤含水量变幅均在 9.0%~17.0%,土壤干层不甚明显;随着紫花苜蓿旺盛生长和生物量的大幅度增加,土壤干层厚度也逐年加大,第 3 年为 110 cm,第 4 年为 120 cm,含水量比第 2 年降低了 4%~7%;第 5 年至第 12 年土壤干层高达 200~260 cm 的厚度,其含水量最低,仅为 4.2%~5.0%。植物生长发育过程中可能受到多种环境因子的影响,如水分、温度、病虫害等,其中水分胁迫最为普

遍^[10,14]. 研究表明,在水分胁迫下,成熟植株叶片和茎的生长速率明显减小^[2,16]. 本试验认为,由于草地土壤水分降低和土壤干层的形成,加之气候干旱,降雨稀少,致使土壤水分亏缺严重,极大地影响和抑制了紫花苜蓿的正常生长,也是其生物产量 5 年后逐渐降低、草地开始衰败的主要原因. 但随着草地的退化,其 0~800 cm 的土壤水分可自然恢复,恢复过程需 5 年.

参考文献

- Bai W-M(白文明). 2002. Effect of irrigation methods and quota on morphological characteristics of Alfalfa in Wulanbuhe sandy region. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 22(8): 1247~1253(in Chinese)
- Brown PW, Tanner CB. 1983. Alfalfa stem and leaf growth during water stress. *Agron J*, 75: 779~805
- Carter PR, Sheaffer CC. 1983. Alfalfa response to soil water deficits 1. Growth, forage quality, yield, water use, and water-use efficiency. *Crop Sci*, 23: 669~675
- Chen H-S(陈洪松), Shao M-A(邵明安), Zhang X-C(张兴昌). 2003. Effect of soil water and fertilizer on soybean yield on loess slopeland. *Chin J App Ecol* (应用生态学报), 14(2): 211~214(in Chinese)
- Cheng J-M(程积民), Wan H-E(万惠娥) 2002. Vegetation Construction and Soil and Water Conservation in the Loess Plateau of China. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
- Cheng J-M(程积民). 1991. Study on laws of aboveground biomass accumulation of alfalfa. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), (5): 67~71(in Chinese)
- Cheng J-M(程积民). 2001. Shrub-grass vegetation and regulation of soil water in barren slope. Forum on Ecological Environment in Northwest Region. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
- Cheng J-M(程积民). 2000. Solid collocation of water collected shrub grass and water regulation in semi-arid region of Loess Plateau. *Acta Agrestl Sin* (草地学报), 8(3): 210~219(in Chinese)
- Cheng J-M(程积民). 2001. Recovery and reconstruction of degraded shrub-grass vegetation in semi-arid region of Loess Plateau. *Sci Silvae Sin* (林业科学), 37(4): 50~57(in Chinese)
- Fan J(樊军), Shao M-A(邵明安), Hao M-D(郝明德), et al. 2004. Desiccation and nitrate accumulation of apple orchard soil on the Weibei dryland. *Chin J App Ecol* (应用生态学报), 15(7): 1213~1216(in Chinese)
- Geng H-Z(耿华珠), Wu Y-F(吴永敷), Cao Z-Z(曹致中). 1955. Alfalfa in China. Beijing: China Agriculture Press. 25~58(in Chinese)
- Huang M-B(黄明斌), Yang X-M(杨新民), Li Y-S(李玉山). 2001. Effect of apple basin regional water cycle in Weibei upland of the Loess Plateau. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 56(1): 7~12(in Chinese)
- Jiang D-J(姜德娟), Wang H-X(王会肖). 2004. Research advance in ecological and environmental water requirement. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(7): 1271~1275(in Chinese)
- Meyer WS, Walker S. 1981. Leaflet orientation in water-stressed soybean. *Agron J*, 73: 1071~1074
- Ottman MJ, Tickes BR, Roth RL. 1996. Alfalfa yield and stand response to termination in an arid environment. *Agron J*, 88: 44~48
- Sheaffer CC. 1988. Alfalfa water relation and improvement. *Amer Soc Agron*, 29: 373~409
- Wang G-X(王根绪), Cheng G-D(程国栋), Shen Y-P(沈永平). 2002. Dynamic tendency of arid oasis under the influence of water resources decrease—A case study of Ejina oasis in Heihe River Basin. *Chin J App Ecol* (应用生态学报), 13(5): 564~568(in Chinese)
- Wang Y-F(王义风). 1991. Vegetational Resources and Its Rational Utilization in the Region of Loess Plateau. Beijing: China Science and Technology Press. 46~51(in Chinese)
- Yang W-Z(杨文治), Shao M-A(邵明安), Peng X-D(彭新德), et al. 1998. On the relationship between environmental aridization of the Loess Plateau and soil water of loess. *Sci China (series D)* (中国科学·D 辑), 28(4): 357~365(in Chinese)

作者简介 程积民,男,1955年生,研究员,博导.主要从事草地生态与植被恢复研究,发表论文 120 篇. E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn
