

## 黄土丘陵区沙打旺草地土壤水分过耗与恢复

程积民, 万惠娥, 王 静, 雍绍萍

(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:**研究了黄土丘陵区沙打旺(*Astragalus adsurgens*)草地土壤水分的动态规律和恢复过程及人为调控土壤水分的效果。结果表明:沙打旺在该区生长年限为 6~7a, 生物量形成的高峰期在第 3~4 年, 之后土壤水分大量亏缺, 生物量逐年下降, 第 6 年生物量和水分均下降到最低点。同时土壤水分的消耗深度与根系的分布相一致, 土壤干层主要集中在根系分布的密集区 0.3~0.8 m。随着沙打旺生长年限的延长及根系的下扎, 土壤干层逐渐加深, 3~6 年生沙打旺草地土壤干层平均厚度为 2.3 m; 土壤水分要自然恢复到种植前的含水量需要 6~7a; 通过水平阶和水平沟整地进行人工调控, 土壤水分比自然恢复可提前 2~3a, 一般需要 4~5a 的时间即可恢复正常。

**关键词:**黄土丘陵区; 沙打旺; 土壤水分; 消耗与恢复

### Over depletion and recovery of soil moisture on *Astragalus adsurgens* grasslands in the loess hilly-gully region

CHENG Ji-Min, WAN Hui-E, WANG Jing, YONG Shao-Ping (Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Water Resources, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2979~2983.

**Abstract:** Dynamic laws and recovery process of soil moisture on *A. adsurgens* grasslands, as well the regulation effects of soil moisture by taking engineering measure in loess hilly-gully region are researched. The results show that *A. adsurgens* grows only six to seven years in the loess hilly-gully region. The maximum biomass in the growth process of *A. adsurgens* occurs in the third and fourth years. Thereafter, *A. adsurgens* growth slows down and its biomass decreases due to deficiency of soil moisture on *A. adsurgens* grasslands. The minimum biomass occurs in the six years of *A. adsurgens* growth and soil water content reaches the lowest value in that year. Meanwhile, the depth of soil moisture consumption is consistent with the distribution of root system. The soil dry-layer, where soil water content is less than withering coefficient, mainly distribute at dense root system zone, i. e., 0.3~0.8 m of soil profile. As the growth year of *A. adsurgens* increases and root system grows into deep soil layer, the soil dry-layer gradually deepens. The average thickness of soil dry-layer in *A. adsurgens* grasslands, where *A. adsurgens* age is three to six-years, is 2.3 m. Soil moisture recovers to the condition before *A. adsurgens* plantation needs six to seven years under natural restoration. However, after taking engineering measure, such as constructing level ditch, the soil moisture recovery needs four to five years, which is earlier two to three years than that under natural restoration.

**Key words:** loess hilly-gully region; *A. adsurgens*; soil moisture; depletion and recovery

文章编号: 1000-0933(2004)12-2979-05 中图分类号: Q968.1; Q948.1 文献标识码: A

**基金项目:**“十五”国家科技攻关计划资助项目(2001BA508B19); 国家自然科学基金重点资助项目(30230290); 国家重点基础研究发展规划“973”资助项目(G2000018606); 国家高技术研究发展计划(863 项目 2002AA6Z301)资助项目

收稿日期: 2003-12-18; 修订日期: 2004-09-28

**作者简介:**程积民(1955~), 男, 陕西蒲城人, 研究员, 从事草地生态与植被恢复研究。E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn

**致谢:**本文承蒙中国林业科学院王彦辉研究员和中国科学院水利部水土保持研究所郑粉莉研究员的修改, 在此一并致谢

**Foundation item:** National Science and Technology Tackle of China(No. 2001BA508B19), National Natural Science Foundation of China(No. 30230290); “973” Item(No. G2000018606) and “863” Item of China(No. 2002AA6Z3301)

Received date: 2003-12-18; Accepted date: 2004-09-28

**Biography:** CHENG Ji-Min, Professor, mainly engaged in grassland ecology and vegetation resumption. E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn

近 30a 来,人们为加强黄土丘陵区林草植被建设和改善生态环境,进一步发挥区域资源优势,在缓坡山地大面积种植人工牧草,这一举措曾一度缓解了本地区的饲草不足,促进了畜牧业的发展,使生态环境得到一定的改善。但人工牧草随着生长年限的延长普遍开始衰败。特别是在年降水量 400~500 mm 的半干旱区,人工草地深层土壤水分严重亏缺,土壤水分能否得到及时补偿和恢复,这一重要问题受到人们的极大关注,并成为该区能否大面积发展人工草地的战略性决策问题,许多专家学者观点各异<sup>[1~7]</sup>。但是,有关沙打旺人工草地土壤水分的动态规律和深层水分的恢复过程等问题,至今尚缺乏多年系统的研究和报导。本文以沙打旺人工草地土壤水分消耗与恢复为重点,研究人工草地土壤水分变化特征和深层土壤水的补偿与恢复过程,为集中利用有限降水,发展高效人工草地提供科学依据。

### 1 试验区自然概况

试验区位于黄土高原西部丘陵沟壑区的宁夏固原县河川乡,东经 106°26'~106°30',北纬 35°59'~36°02'。海拔 1550~1850m,年均气温 6~7℃,平均降水量 428 mm(1983~1999 年),丰水年占 25.0%,平水年占 37.5%,枯水年占 37.5%。一般在 7~9 月份的降水量占年降水量的 65%~75%,蒸发量为 1330~1640mm,≥10℃积温 2100~3200℃,干燥度 1.5~2.0。气候属温凉半干旱区,植被属典型草原地带,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,地下水位深,且补充能力差。

### 2 材料与方法

试验于 1985 年布设在固原河川乡腰岷梁退耕地和荒山荒坡上,试验材料为豆科牧草沙打旺,播种期为 1985 年 4 月 23 日,播种方式为条播,播种量为 7.5~11.25 kg/hm<sup>2</sup>,播种深度为 3~5 cm,实行常规田间管理。播种前没有采取任何整地措施,然后从播种当年开始,每年在植物生长的 4、7 月份和 10 月份采用土钻法分层测定 0~8.0 m 土壤水分,取土分层为:0~2.0 m 内每 0.2 m 为一层,2.1~8.0 m 内每 0.5 m 为一层。同时设固定样地定期进行株高、分枝、单株产量、生物产量及不同层次茎叶结构等项目测定,每项测定重复 3~5 次,另外,利用剖面切割法分层测定不同深度的主根、侧根和毛根的数量,取样测定体积为(长)0.6m×(宽)0.4m×(高)0.2 m,然后采用统计分析方法进行数据处理与资料整理及其图形的绘制。为了研究整地措施对衰败草地土壤水分恢复的影响,在退化沙打旺草地进行水平阶(长为沿山体水平伸展,宽为 1.5~2.0 m,反坡 3~5°)和水平沟(长为沿山体水平伸展,宽为 1.0 m,反坡 3~5°)两种方法的整地,对照为荒山荒坡和无任何整地措施的退化沙打旺草地。

### 3 结果分析

#### 3.1 土壤水分年际动态

沙打旺在适宜的生境条件下,生长年限一般为 8~10a,但在黄土丘陵区沙打旺的生长由于受水分的限制年限较短。从图 1 看出,沙打旺草地随着生长年限的延长和生物量的提高,土壤水分消耗逐年加大,沙打旺草地从种植的当年到草地衰败约 6~7a。其中沙打旺生物量形成的高峰期一般在生长的第 3 年和第 4 年(图 2),生物量鲜重最高可达 23380 kg/hm<sup>2</sup>,干鲜比为 1:4.2,当年降水量为 438.6mm,每生产 1 kg 干物质需消耗 1.182 mm 降水,而荒山草地干鲜比为 1:3.0,生产 1 kg 干物质需消耗 2.04 mm 降水。沙打旺草地生物量最低是在生长的第 6 年,鲜重为 2660 kg/hm<sup>2</sup>,比生长的高峰期降低了 88.62%,同时土壤含水量也大幅度下降,在生长的第 3 年和第 4 年土壤含水量比第 1 年分别降低,其中 0~1.0 m 降低 8.8%和 9.1%;1.1~2.0 m 降低 11.8%和 12.12%;2.1~3.0 m 降低 9.1%和 10.8%;3.1~4.0 m 降低 6.0%和 7.7%;4.1~5.0 m 降低 6.2%和 8.0%;5.1~6.0 m 降低 2.1%和 3.5%;6.1~7.0 m 降低 1.4%和 3.3%;

7.1~8.0 m 降低 1.6%和 3.0%,而且在沙打旺群落中生长的野生牧草由于水分不足,63.5%干枯死亡,仅保存下来的为一些中旱生植物,主要有厚穗冰草(*Agropyron cristatum*)、星毛萎陵菜(*Potentilla acaulis*)、本氏针茅(*Stipa bungeana*)、冷蒿(*Artemisia jrigida*)等。在沙打旺生长的第 5 年,由于土壤水分比前 4a 下降更多,致使水分大量亏缺,野生牧草种数和生物量也大幅度下降。到第 6 年野生牧草种数和生物量及土壤水分均下降到最低点,土壤含水量仅 4.3%,0~8.0 m 土层贮水量为 463.6 mm,而野生牧草的生长受沙打旺群落的抑制,与荒山荒坡对照相比有 82.5%的植物种从沙打旺群落中消失。此时,沙打旺草地的杂草一方面受沙打旺地上部生长的拟制,另一方面受土壤水分不足的影响,随着沙打旺草地的退化,杂草产量也不断下降,并很快形成裸地,直到沙打旺完全衰败后,杂草逐渐开始恢复大约需要 6~7a 的时间野生植物才能进入正常生长阶段,并

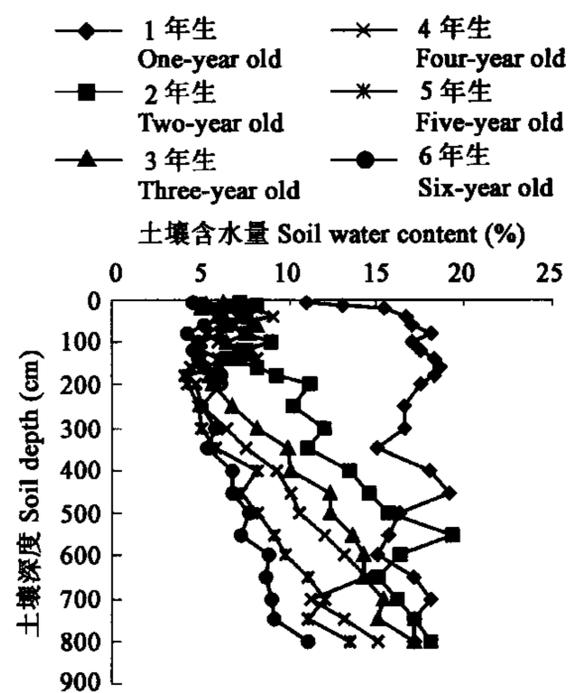


图 1 沙打旺草地不同生长年限土壤水分变化

Fig. 1 Variations of soil water in different aged *A. adsurgens* grasslands

形成半稳定的群落类型。

另外,从沙打旺草地生物量的形成与降水量的变化看,沙打旺草地生物量的形成主要取决于土壤水分,而天然降水虽起一定的作用,但往往是水热不同步,沙打旺草地生长与生物量形成的高峰季节 5~6 月份,天然降水稀少,气温快速回升,沙打旺草地生长消耗大量的土壤水分,如在沙打旺草地生长生物量形成的高峰第 3~4 年,降水量为 324.6~438.6 mm,生物量达 21000~23380 kg/hm<sup>2</sup>,而到生长的第 6 年降水量达 475.3 mm,生物量仅仅只有 2660 kg/hm<sup>2</sup>,这充分说明沙打旺草地的生长与生物量的形成,主要取决于土壤水分,其次是生长年限与天然降水。

### 3.2 沙打旺根系分布与土壤干层

从图 3 看出,沙打旺生长年限不同,根系的分布深度不同,且每年以 1.0~1.35 m 的速度下伸,6 年生沙打旺的根系分布深度可达 7.6 m 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,将土壤的干化层进行分级,一般划分为 3 级,土壤含水量 8%~10% 为轻度干层;6.0%~8.0% 为中度干层;6.0% 以下为重度干层。本区沙打旺草地的土壤干层主要集中在其根系分布的密集区。一般随着沙打旺生长年限的延长及根系的下扎,土壤干层的形成逐渐加深。在生长的第 1~2 年因植株生长缓慢,生物产量低,植物蒸腾量小,根系分布浅、毛根数量少,土壤水分消耗低,无明显干层。随着沙打旺的生长与根系的不断加深及土壤水分的大量利用,在第 3 年土壤干层的形成深度在 1.0~2.5 m 范围,干层厚度达 1.5 m,干层含水量仅为 5.5%~7.0%;第 4 年土壤干层的形成深度在 1.6~3.0 m,干层厚度为 1.4 m,含水量为 4.4%~6.4%;第 5 年土壤干层的形成深度在 0.8~3.5 m,干层厚度为 2.7 m,含水量为 4.1%~6.2%;第 6 年土壤干层的形成深度在 0.8~4.5 m,干层厚度为 3.7 m,含水量为 4.3%~6.8%。6 年生沙打旺 0~8.0 m 土壤含水量的变化一般可分为 4 层,第 1 层为速变层,常受降水的影响,分布深度为 0~0.5 m;第 2 层为过度层,土壤水分常受降水和根系利用的影响变化较明显,分布深度在 0.6~0.9 m;第 3 层为根系利用层,随着根系的延深及密集分布,干层分布范围愈来愈大,造成本层土壤水分含量最低,分布深度在 1.0~4.0 m;第 4 层为恢复层,分布深度在 4.1~8.0 m,随着沙打旺种群的衰败土壤含水量虽然有一定恢复,但恢复速度较慢。

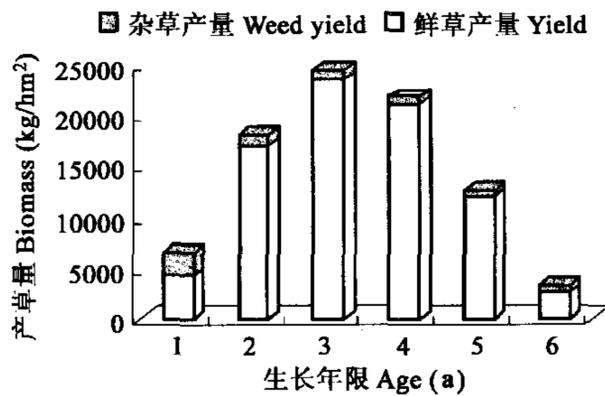


图 2 沙打旺草地不同生长年限产草量变化

Fig. 2 Variations of biomass in different aged *A. adsurgens* grasslands

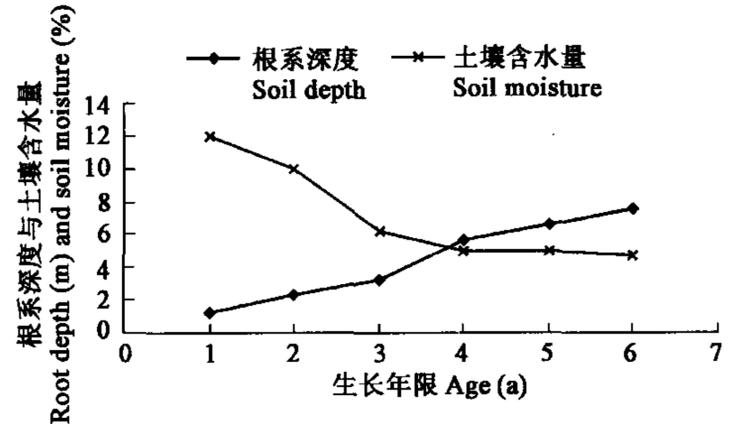


图 3 沙打旺不同生长年限根系与水分分布动态

Fig. 3 Dynamics of roots distribution in different ages of *Astragalus adsurgens* grassland

### 3.3 沙打旺草地土壤水分的自然恢复与调控

沙打旺草地退化后土壤水分的自然恢复过程从图 4 看出,在生长的第 6 年土壤水分亏缺严重,其后随着沙打旺草地退化年限的延长土壤水分受降雨的影响逐渐开始恢复,但恢复速度缓慢,所需年限较长,一般退化沙打旺草地土壤水分要恢复到种植前的含水量需要 6a 时间。恢复的第 1 年,即种植沙打旺的第 7 年,0~8.0m 土壤含水量比第 6 年提高 1.2%~1.7%;恢复第 2 年(种植沙打旺的第 8 年)比第 6 年提高了 2.1%~2.4%;恢复的第 3 年(种植沙打旺的第 9 年)比第 6 年提高了 2.1%~3.1%;恢复的第 4 年(种植沙打旺的第 10 年)比第 6 年提高了 2.7%~3.0%;恢复的第 5 年(种植沙打旺的第 11 年)比第 6 年提高了 4.5%~4.7%;恢复的第 6 年(种植沙打旺的第 12 年)比种植前提高了 6.7%~7.9%,此时土壤含水量同种植前基本相同,可视为基本恢复,地面野生牧草的生长已进入正常的演替阶段。沙打旺草地退化后由于土壤水分的严重亏缺,致使野生牧草的生长受到极大抑制,因此在退化沙打旺草地上采用了水平阶和水平沟整地,进行土壤水分调控恢复,发展集流高效草地,提高土壤含水量。退化沙打旺草地,通过水平阶整地调控后,各层土壤水分比未整地的均有提高,在栽培沙打旺后的第 7 年即水平阶整地的第 1 年,0~8.0m 的土壤水分比未整地的自然恢复草地提高了 1.2%~1.6%;在第 8 年(即水平阶整地的第 2 年),提高了 2.2%~2.7%;在第 9 年(水平阶整地的第 3 年),提高了 3.4%~3.6%;在第 10 年(水平阶整地的第 4 年),提高了 4.2%~4.8%;在第 11 年(水平阶整地的第 5 年)土壤水分基本恢复正常,比未整地的自然恢复可提前 2~3a;在第 12 年(水平阶整地的第 6 年),从图 4 看出,提高幅度较大,为 5.9%。因此,退化沙打旺草地通过水平阶调控后土壤水分一般为 4~5a 即可恢复到未

整地前的自然含水量。

另外,从图 4 看出,退化沙打旺草地通过水平沟整地调控,各层土壤水分均比未整地的土壤水分提高,在第 7 年(水平沟整地的第 1 年)提高了 1.0%~1.3%;第 8 年(水平沟整地的第 2 年)提高了 2.0%~2.3%;第 9 年(水平沟整地的第 3 年)提高了 2.4%~3.0%;第 10 年(水平沟整地的第 4 年)提高了 3.2%~3.6%;第 11 年(水平沟整地的第 5 年)提高了 4.0%~4.6%;第 12 年(水平沟整地的第 6 年)土壤水分基本恢复正常,与自然恢复的相比可提前 2a。因此,退化沙打旺草地通过水平沟调控后土壤水分的恢复一般需要 5~6a。

#### 4 结论与讨论

随着我国生态环境建设的开展,退耕还林还草的生态用水问题愈来愈突出,尤其是人工牧草的发展受有限降水的影响较大,能否在半干旱区大面积种植,一直是人们较为关心的问题。沙打旺是黄土高原一种优良的水土保持及多年生高产牧草,但在生产实践中,人们发现该牧草几年后很快退化,其功能减弱。本文通过 15a 的研究得出,沙打旺在生长的前 3~4a 随生长年限

的延长,生物量大幅度增加,造成土壤水分大量消耗,之后,草地开始衰败,致使沙打旺在该区生长年限仅 6~7a,生物量形成的高峰期在生长的 3~4a,最高可达 23380 kg/hm<sup>2</sup>,第 6 年降到最低点,此时土壤含水量比种植前降低了 5.0~8.0%,造成了土壤水分的严重亏缺,人工牧草衰亡之后,天然牧草的生长也由此受到抑制。

张信保等研究认为,高生长量的人工牧草,耗水量大,浅层土壤水分不能满足植物生长需要时,大量耗用深层土壤水分,形成土壤干层,植物势必衰亡。本研究进一步证明,人工草地沙打旺地上部的旺盛生长和生物量的大幅度增加及根系的分布范围逐年扩大是一致的,土壤干层在第 3 年开始明显形成,厚度为 1.5 m,第 4 年为 1.4 m,第 5 年为 2.7 m,沙打旺草地随着土壤干层的逐年加厚而退化,到第 6 年土壤干层达 3.7 m 时全部衰败,土壤水分也极度亏缺。实践证明,黄土丘陵区干旱少雨,且降雨不均,土壤水分消耗后不能及时得到补充,造成土壤水分亏缺严重。沙打旺草地退化后,要想自然恢复到种植之前的含水量,一般需要 6~7a 时间。其恢复可分为 3 个阶段:第 1 阶段 1~2a 为缓慢恢复期,0~8.0 m 土壤含水量比严重亏缺期(第 6 年)提高了 1.2%~2.4%;第 2 阶段在 3~5a 为稳定恢复期,土壤含水量提高 3.1%~4.7%;第 3 阶段在 6a 以上为快速恢复期,土壤含水量提高 6.7%~7.9%,此时土壤含水量同种植之前相比已基本恢复正常,地上部天然牧草的生长也趋于良好。人工种植的沙打旺草地,在生长过程中虽然加速了土壤水分的消耗,但地上部分衰败后,又为天然草地植被的演替和群落的快速恢复创造了一定的条件,其原因是沙打旺残留根系增加了土壤的空隙度,促进了雨水入渗和积蓄。因此,半干旱区人工草地的建设与发展,应如何在保护天然植被和恢复土壤水库水分的基础上,发展禾本科和豆科牧草相结合及科学合理的轮作制度,使生态用水与蓄水相结合,全面保护和有效利用有限的水资源,是应该继续深入探讨的问题。在半干旱区建设和发展人工草地,不能单纯追求高生物量,要避免掠夺性的水资源利用,才能保持草地的持续发展和良性循环。

其次,退化沙打旺草地通过水平阶整地调控恢复,土壤水分的恢复一般需 4~5a,比未整地的可提前 2a;水平沟整地土壤水分的恢复一般需 5~6a,比未整地可提前 1a。退化沙打旺草地通过水平阶和水平沟整地,土壤水分提高幅度不仅显著,而且更重要的是为以后的灌草类植被的建设创造了一个相对较好的生长环境。因此,该区的林草植被建设应该是强化退耕地短期人工草地的建设,培育中期稀疏灌木林基地的建设,淡化人工乔木林的发展。

#### References:

- [1] Zhang X B. Advices on the construction of vegetation in Loess Plateau. *Science Daily*, 2002-12-08.
- [2] Cheng J M, et al. Study on community ecology grassland of *Astragalus adsurgens* in the loess plateau. *Acta Pratacultura Sinica*, 1993, 2(4):61~74.
- [3] Cheng J M, Wan H E. *Vegetation construction and soil and water conservation in the Loess Plateau of China*. Beijing: China Forestry Press, 2002. 5.
- [4] Zou H Y, Cheng J M. Results of pasture improvement in loess hilly area with seven herbage. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, (4):88~92.

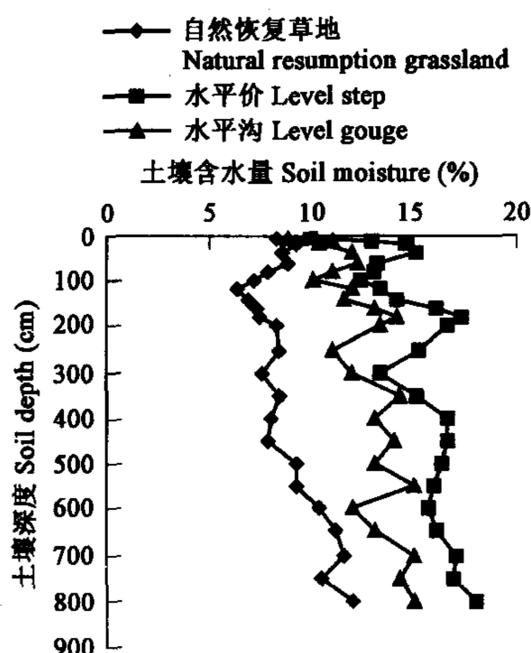


图 4 12 年退化沙打旺草地土壤水分变化

Fig. 4 Changes in soil water contents in degenerated *Astragalus adsurgens* grassland after 12 years

- [5] Zou H Y, Cheng J M. Studies of laws of aboveground biomass formation in the community of *Astragalus adsurgens* Pall. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, (1): 49~54.
- [6] Wei G X, Feng G C, Song X H, et al. Study on water required rule of artificial forage *Astragalus adsurgens* in semi-arid wind-sand area. *Acta Pratacultura Sinica*, 1994, 3 (5): 46~51.
- [7] Chen G L, Mu X M, Jia H Y. Study on cooperation effect of water and fertilizer on the yields of *Astragalus adsurgens*. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1992, (3): 73~78.

#### 参考文献:

- [1] 张信保, 安芷生. 黄土高原植被建设的建议. 科学时报, 2002-12-08.
- [2] 程积民, 等. 黄土高原沙打旺草地群落生态的研究. 草业学报, 1993, 2(4): 61~74.
- [3] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持. 中国林业出版社, 2002. 5.
- [4] 邹厚远, 程积民. 七种牧草改良黄土地区草场的成效. 水土保持学报, 1989, (4): 88~92.
- [5] 邹厚远, 程积民. 沙打旺种群地上部生物量的形成规律. 水土保持学报, 1990, (1): 49~54.
- [6] 魏广祥, 冯革尘, 宋晓华, 等. 半干旱风沙区人工牧草沙打旺需水规律的研究. 草业科学, 1994, 3(5): 46~51.
- [7] 陈国良, 穆兴民, 贾恒义. 水肥对沙打旺产草量的协同效应研究, 水土保持学报, 1992, (3): 73~78.