

高寒针茅草原植物生长季土壤水分动态变化规律

朱宝文^{1,2}, 郑有飞¹, 陈晓光²

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810000)

摘 要: 利用 1999~2007 年青海省兴海县牧业气象观测站 0~50 cm 土壤水分观测资料分析了高寒针茅草原植物生长季土壤水分的年变化、月变化和旬际变化规律及垂直分布特征。结果表明: 高寒针茅草原天然草地土壤水分年际变化振荡明显, 呈多波动变化, 与年降水量相关关系显著; 植物生长季逐月土壤水分变化曲线基本呈“M”型分布, 按土壤水分月变化曲线可分为春季缓慢增墒期、春夏快速增墒期、盛夏快速失墒期、秋季快速增墒期和秋末快速失墒期 5 个阶段; 土壤水分在 20~30 cm 层最大, 就其垂直变化而言, 0~10 cm 为多变层, 10~50 cm 为缓变层; 根据植物根系对土壤水分利用情况将土层分为根系利用层和根系微利用层; 土壤水分垂直剖面的季节变化按变异系数大小可分为两个阶段, 土壤水分变异系数雨季(6~9 月)大于干季。

关键词: 西北针茅草原; 植物生长季; 土壤水分; 时间变化; 垂直分布;

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0096-05

西北针茅(*Stipa krylovii*)草原是青海高寒牧区主要的放牧草场之一, 其面积仅次于矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸草场, 广布于青藏高原及其周围山地。近几十年来, 随着气候暖干化趋势的影响, 以及草原载畜量迅速增加、鼠虫害增多等草地生态环境恶化下, 草场退化、水土流失加剧, 导致西北针茅草原草地生产力不断下降。在本文试验所在地的兴海牧业气象观测站草地生态系统主要表现为优良牧草减少、产量下降、毒杂草增多; 土壤物理特性变化, 持水保肥能力降低; 土壤侵蚀加剧等退化趋势^[1]。

造成草场退化的诸多生态因子中, 水分是影响植物生存、生长发育的主要制约因子之一。土壤水分是土壤的重要性质之一, 是土壤物理学的重要内容。土壤水分是土壤-植物-大气(SPAS)连续体的一个关键因子, 是土壤系统养分循环和流动的载体, 它不但直接影响土壤的特性和植物的生长, 而且间接影响植物分布和在一定程度下影响小气候的变化^[2,3]。因此, 许多学者对不同地区土壤水分动态分布规律进行了深入的研究和探讨^[4~13], 但对高寒针茅草原土壤水分动态变化的研究相对薄弱^[14,15]。本文利用 1999~2007 年 9 a 青海省兴海县西北针茅草原 4~10 月的土壤水分测定数据, 分析该地区土壤水分的时间变化规律和垂直变化特征, 为掌握西北针茅草原土壤水分与牧草生长发育的内在关系、预测干旱的发生程度、综合防治干旱灾害和实现水资源的可持续利用提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究在兴海县气象局牧业气象观测站(兴海站)西北针茅草原进行。兴海站地处黄河之滨三江源边缘地区的兴海县, 海拔高度 3 323.2 m, 地理位置 99°59'E, 35°36'N。该区是环湖牧区向青南牧区过渡的区域, 地处欧亚大陆腹地, 属典型的高原大陆性气候, 东南季风及西南季风较弱。高海拔条件制约, 气温低, 无明显四季之分, 仅有冷暖二季之别, 干湿季分明; 地区年平均气温 1.4℃, 年平均降水量 353.2 mm, 年蒸发量 1 526.7 mm, 年日照时数 2 700.0 h, 平均无霜期 45 d^[1], ≥0℃活动积温稳定通过时间春季为 4 月 1 日, 秋季为 9 月 26 日。土壤类型为栗钙土, 土壤发育年青、土层浅薄、有机质含量较丰富。本文所在试验的西北针茅草原主要分布在滩地, 其植物群落组成、生长状况等均能代表典型的高寒针茅草原。草层高度 20~40 cm, 植被总盖度在 60%以上, 除以西北针茅为建群种外, 常见的伴生草种有矮嵩草、冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、斜茎黄芩(*Astragalus adsurgens*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等, 植被均匀。每年 3~10 月对研究点围栏封育, 牧草黄枯后适当放牧采食。

1.2 资料来源

试验样地位于兴海牧业气象观测站天然牧草观测场内, 是中国气象局确定的土壤水分固定观测地

段,于 1999 年~2007 年植物生长发育期内的 4~9 月,每月逢 8,18,28 日测定土壤水分。每次测定 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和 40~50 cm 共 5 个层次 4 个重复的土壤水分,若遇雨天则延后 2~3 d。土壤水分测定采用土钻取土,烘箱烘干法。4 月上旬,天然牧草开始返青,随着气温升高、降水增多,牧草高度升高,植被盖度增加,产量上升;8 月后期,气温下降、降水减少,天然牧草停止生长。降水量资料取自距观测地段 2.5 km 处兴海国家基准气候站平行观测资料。

1.3 资料处理

整理土壤 10 cm 解冻至冻结期间(植物生长季)的土壤含水率和土壤总贮水量。土壤含水率是土壤含水量与干土重的百分比。土壤水分贮存量是指一定土层厚度的土壤含水量,以水层深度(mm)表示。计算公式为:

$$H = \rho \times h \times W \times 10$$

式中, H 为土壤水分贮存量(mm); ρ 为土壤容重(g/cm^3); h 为土层厚度(cm); W 为土壤重量含水率。本文土壤水分是以土壤水分贮存量表示。

对统计整理的土壤水分贮存量用 Excel 办公软件和 SPSS 统计分析软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 土壤水分时间变化特征

2.1.1 土壤水分年际变化 青藏高原西北针茅草原分布区长期以来处于自然放牧状态。研究区地下水位一般维持在 10 m 左右,加之土层浅薄,土壤厚度多在 70 cm 以上,70 cm 处于砾石接触面,其下部为砾石结构,而该地植物根系多分布在 0~30 cm,较深层土壤毛细管数量显著下降,因而地下水对土壤水分的补给极低,可以忽略不计。由此认为,自然降

水是土壤水分的主要来源。然而同一地区不同年份降水及降水期的长短都有差别,从而造成年际间土壤水分动态变化的差异(图 1)。

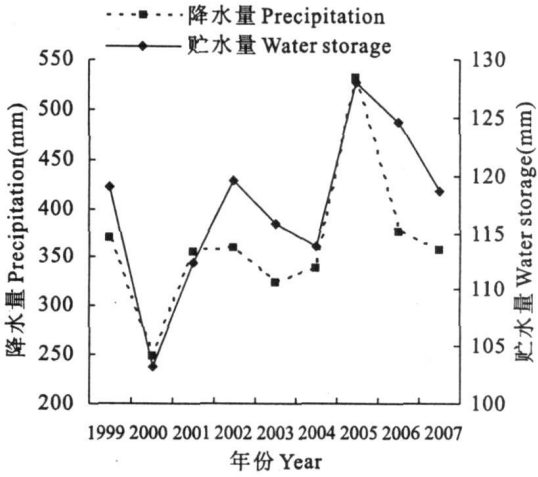


图 1 土壤贮水量与降水量的年变化
Fig.1 Interannual variation of soil water storage and precipitation

年度土壤水分即全年取土期间的土壤含水量的平均状况,包含了牧草生长发育的整个过程。从图 1 可以看出,年度 0~50 cm 土壤平均贮水量及降水量年际变化振荡比较明显,呈多波动分布,两者达极显著正相关关系(相关系数达 0.7574),说明在兴海西北针茅草原年降水量的多少决定了牧草生长季平均土壤水分的高低。9 a 平均土壤水分为 117.1 mm,平均降水量为 362.7 mm,降水量是土壤水分的 3.1 倍。降水变化较土壤水分变化更剧烈,年平均土壤水分最小值出现在 2000 年,为 103.3 mm,最大值出现在 2005 年,为 128.0 mm,是最少年的 1.2 倍,而年降水量最小值出现在 2000 年,为 247.3 mm,最大值出现在 2005 年,为 530.9 mm,是最少年的 2.1 倍。

2.1.2 土壤水分月际变化 图 2 是兴海高寒西北

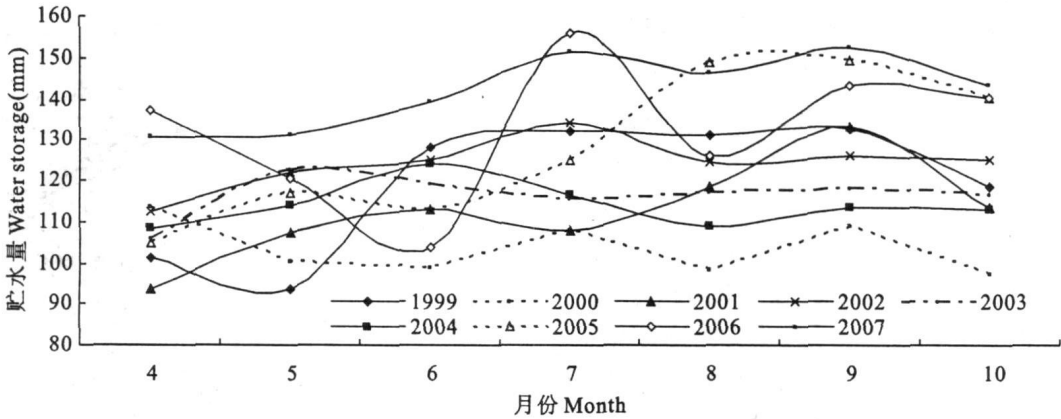


图 2 土壤贮水量各年月变化曲线

Fig.2 Monthly change curves of different years of soil water storage

针茅草原各年土壤水分月变化曲线。从图可以看出,每年降水量的多寡及时间分布不一致导致土壤水分变化不尽相同。如 2006 年各月土壤水分变化跨度最大,其余各年土壤水分变化曲线较平缓。

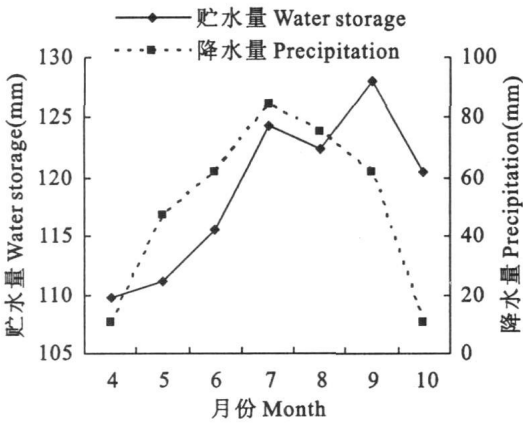


图 3 土壤贮水量月变化曲线

Fig. 3 Monthly change curves of average soil water storage

图 3 是兴海高寒西北针茅草原 1999~2007 年平均土壤水分及降水量平均月变化曲线。逐月土壤水分变化曲线基本呈“M”型分布。0~50 cm 平均土壤水分的变化可分为以下五个主要时期。①春季缓慢增墒期(4~5 月),这主要是由于 2~4 月降水很少,仅占年降水量的 5.2%,气温上升近 10℃,大风日数多而风速大,蒸发大,同时天然牧草相继返青,耗水量大于降水量,导致天然草地失墒较多,4 月下旬土壤水分降至一年中最低值,5 月降水量增大,第一场透雨均出现在 5 月上中旬,降水量大于牧草耗水量,土壤水分缓慢上升。②春夏快速增墒期(5~7 月),随着降水量的增加,土壤接纳的雨水明显增多,土壤水分从 131.0 mm 增至 151.3 mm,增加 20.3 mm。③盛夏快速失墒期(7~8 月),7~8 月是降水最多的时段,但此时段恰是天然牧草营养生长和生殖生长并进期,干物质迅速积累,大量土壤水分被消耗,同时较高的气温有利于地表蒸发和植物蒸腾,土壤墒情快速下降。④秋季快速增墒期(8~9 月),8 月末,大多数牧草已黄枯,需水量急剧下降,同时兴海县 9 月降水量较多,占历年平均值的 17.1%,降水量远大于耗水量,0~50 cm 土壤水分上升至一年中的最大值。⑤秋末快速失墒期(9~10 月),秋季随着降水量的减少土壤水分也呈现出下降的趋势。

2.1.3 土壤水分旬际变化 土壤水分月际变化主要反映月内各旬测定结果的平均值,在高寒地区植物生长季,降水时间分布不均,太阳辐射强,地表气温高,土壤蒸发和植物蒸腾强,尤其是天然牧草营养生长和生殖生长并进的 8 月,干物质迅速积累,大量

土壤水分被消耗,导致 8 月土壤水分较低。若要分析较小时间尺度土壤水分平衡状况,旬际变化不失为较理想选择。计算兴海 1999~2007 年 4 月上旬~10 月下旬每旬 0~50 cm 土壤平均贮水量(图 4),分析其变化规律,4 月中下旬是该地天然牧草返青期,耗水量增加,而降水量不足,气温回升,解冻后的土壤蒸发量加大,天然草地土壤水分降低,随着 5 月降水量增加,土壤水分表现为较大的波动,5 月中旬~8 月下旬,天然牧草耗水量与降水量均增加,降水时间分布不均匀导致土壤水分呈波动上升,9 月上旬~10 月下旬,天然牧草黄枯,耗水量下降,降水量也逐渐减少,土壤水分下降。土壤水分 1999~2007 年旬平均值总体变化规律可以用三次多项式 $y = -0.0155x^3 + 0.4422x^2 - 2.2667x + 113.46$ 拟合。

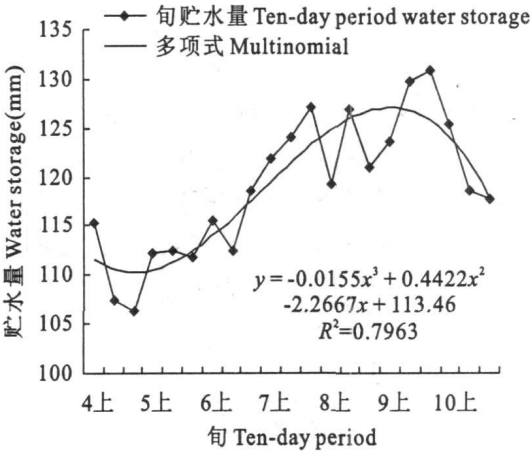


图 4 土壤贮水量旬变化

Fig. 4 Ten day's variation of soil water storage

2.2 土壤水分垂直变化特征

2.2.1 土壤水分垂直变化 图 5 表示 1999~2007 年兴海天然草地平均土壤水分垂直变化。由图可以

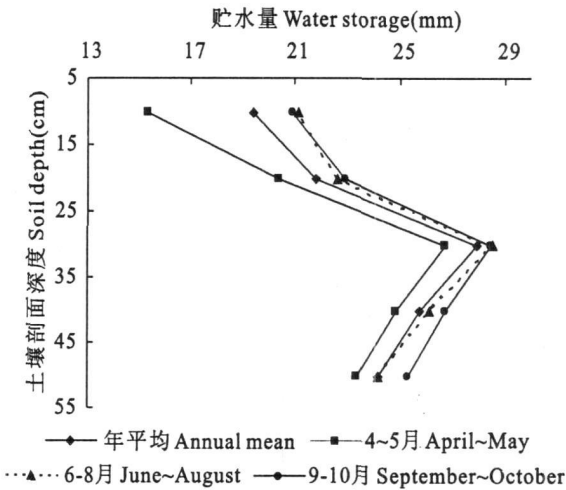


图 5 土壤水分垂直变化

Fig. 5 Vertical distribution of soil water storage

看出,不论是年平均值,还是春(4~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~10 月)季平均值,其垂直变化规律十分相似,土壤表层(0~10 cm)贮水量最低,年平均为 19.4 mm,春季为 15.3 mm,随着深度的增加,贮水量增大,20~30 cm 层土壤水分最大,是 0~50 cm 层出现的一拐点,而后土壤水分又逐渐减小。

分析计算兴海天然草地 1999~2007 年 0~50 cm 各层土壤水分平均变异系数(图 6)可知,其垂直变化很有规律。土壤表层 0~10 cm 贮水量变异系数达 36.8%,10~50 cm 变异系数在 11.7%~17.0% 之间。依据变异系数大小^[17],将兴海天然草地 0~50 cm 层贮水量垂直变化分多变层和缓变层两个层次。0~10 cm 为多变层,该层也是天然牧草根系主要分布层,与大气直接接触,受天气气候、牧草生长和人类活动等因素影响较大,接纳雨水能力强,水分上下交换活跃,土壤水分增加或减少变化迅速,干湿变化明显。土壤水分最高时达 34.4~38.4 mm,最低时可降至 6.0~17.3 mm,变异系数 17.0%~36.8%;10~50 cm 为缓变层,该层为土壤中层,受大气影响相对较小,牧草的根系可伸展到此层,也是浅层与深层水分交替供应的过渡层。土壤水分变化不太大,最高时达 23.0~38.4 mm,低时可降至 17.6~24.6 mm,变异系数为 11.7%~12.6%。

联系土壤水分的垂直变化和植物根系的分布状

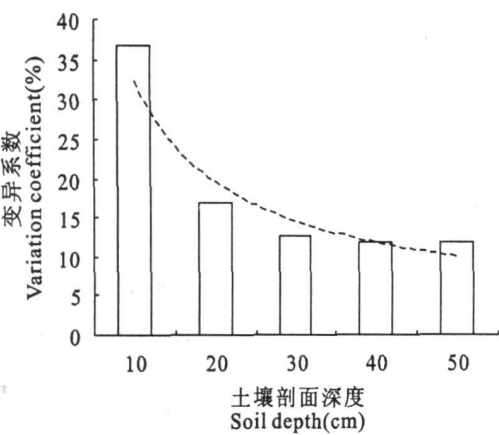


图 6 各层土壤水分变异系数

Fig.6 Variation coefficient of soil water in different layers

3 结论与讨论

1) 兴海高寒西北针茅草原土壤水分年变化振荡明显,呈多波动变化,其变化与年降水量基本一致;一年中土壤水分有明显的时间变化,逐月土壤水分变化曲线基本呈“M”型分布,土壤水分低谷在 4、5

况,可将高寒针茅草原土壤分为根系利用层和根系微利用层。根系利用层位于 0~30 cm,该层植物根系所占比例最大,也是土壤水分最为丰富的一层,这一层土壤水分的多少直接关系到植物的生长发育和产量形成。该层虽然蒸发量大,但大气降水可直接快速地补给该层,同时该层也可以得到下层土壤水分的补给。30~50 cm 为根系微利用层,该层对植物生长也有一定的影响,当上层土壤水分不足时,该层可通过毛细管向上输送水分,该层受大气降水的影响较小,因此波动也较小。

2.2.2 土壤水分垂直剖面变化 对于天然草地,土壤水分垂直剖面的季节变化与自然降水的补给和牧草的耗水量以及上下层之间水分的输送有密切关系^[4]。图 7 是兴海县 1999~2007 年 0~50 cm 垂直剖面的土层贮水量变异系数平均月变化曲线。由图可知,兴海土壤水分变异系数的季节变化可分为雨季和干季两个阶段;4、5 和 10 月土壤水分变异系数为 40.0%~44.1%,低于年平均值,变化较小;6~9 月水分变异系数为 46.4%~48.3%,高于年平均值,变化最大。以上分析表明,在三江源边缘地区的兴海天然草地,雨季(6~9 月)土壤水分的变异系数(47.3%)大于干季(41.7%),说明雨季土壤水分变化较干季复杂。这一结论与黄志刚^[7]等关于土壤水分变异系数雨季大于干季的研究结果类似。

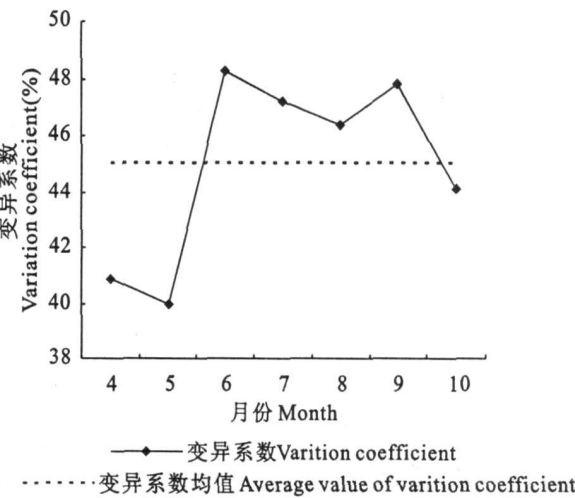


图 7 变异系数月变化

Fig.7 Monthly variation of variation coefficient

月,变化分为春季缓慢增墒期、春夏快速增墒期、盛夏快速失墒期、秋季快速增墒期和秋末快速失墒期等五个阶段。

2) 土壤水分的垂直变化明显,在 20~30 cm 层含水量最大;0~20 cm 为多变层,与大气直接接触,受天气气候、牧草生长和人类活动等因素影响较大,

接纳雨水能力强,水分上下交换活跃,土壤水分增加与减小变化迅速,干湿变化明显;20~50 cm 为缓变层。

3) 土壤水分垂直剖面的季节变化按变异系数大小可分为两个阶段,贮水量变异系数雨季大于干季,表明雨季土壤水分变化较干季复杂。

4) 根据植物根系对土壤水分利用情况对土壤水分进行垂直分层,可将高寒针茅土壤水分分为根系利用层和根系微利用层。

5) 本文研究结论对揭示三江源边缘地区土壤水分变化特征,建立特定区域土壤水分模型和干旱预报方程及分析土壤水分与牧草生长发育的内在关系等方面有一定意义,但其局限性在于只分析了特定地理背景下的一般规律,若要研究不同坡度、不同植被覆盖下土壤水分变化规律,需要在以后的工作中设定不同的试验处理进行专题研究。

参考文献:

- [1] 朱宝文,李周藏,祁如英,等.兴海县草地生态现状及成因分析[J].草业科学,2007,24(4):88—92.
- [2] 王月玲,张源润,蔡进军,等.宁南黄土丘陵不同生态恢复与重建中的土壤水分变化研究[J].中国农学通报,2005,21(7):367—369.
- [3] 何其华,何永华,包维楷.干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J].山地学报,2003,21(2):149—156.

- [4] 仇化民,邓振镛,方德彪.甘肃省东部旱作区土壤水分变化规律的研究[J].高原气象,1996,15(3):334—340.
- [5] 陈洪松,傅伟,王克林,等.桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探[J].水土保持学报,2006,20(4):136—139.
- [6] 邵晓梅,严昌荣.黄河流域半湿润偏旱区土壤水分动态变化规律研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):91—95.
- [7] 韩伟,李自峰,郑黎明,等.黄土丘陵不同坡向柠条林地土壤水分动态研究[J].山东林业科技,2007,(3):3—5.
- [8] 黄志刚,李锋瑞,曹云,等.南方红壤丘陵杜仲人工林地土壤水分动态[J].应用生态学报,2007,18(9):1937—1944.
- [9] 党宏忠,赵雨森,陈祥伟,等.祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1148—1152.
- [10] 赵之重,王晋民,王俊鹏.青海东部浅山旱地土壤水分状况及其作物利用研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):97—100.
- [11] 胡九林,张清,韩烈保,等.天津泰达高羊茅草坪土壤水分动态研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):198—201.
- [12] 张孝中,韩仁峰,李玉山.渭北旱原土壤水分动态规律研究[J].干旱地区农业研究,1990,(4):27—35.
- [13] 张洪芬,王劲松,郭江勇.西峰麦田土壤水分动态分布特征[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):151—154.
- [14] 张国胜,徐维新,董立新,等.青海省旱地土壤水分动态变化规律[J].干旱区研究,1999,16(2):36—40.
- [15] 宋理明,姜海萍.环青海湖地区天然草地土壤水分动态研究[J].中国农业气象,2006,27(2):151—155.
- [16] 国家气象局编.农业气象观测规范[S].北京:气象出版社,1993:127—190.
- [17] 钱莉,张惠玲,刘明春,等.河西走廊东部土壤水分变化特征及预测[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):58—63.

Dynamic law of soil water during vegetation growing season in alpine stipa steppe

ZHU Bao-wen^{1,2}, ZHENG You-fei¹, CHEN Xiao-guang²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Qinghai Key Laboratory of Disaster Prevention and Reduction, Xi'ning 810000, China)

Abstract: By using the soil water observational data (0~50 cm) from 1999 to 2007 in Xinghai stockbreeding meteorological station in Qinghai Province, the variations (interannual, monthly and ten-day's) and vertical distribution of soil water during vegetation growing season in the alpine stipa steppe were analyzed. The results show that: the interannual variation of soil water was obvious with multi-variations character and had a significant correlation with annual precipitation. The monthly change curves of soil water during vegetation growing season was "M" shape, and the whole growing season could be divided into five different periods, named slow increase in spring, fast increase between spring and summer, fast decrease in summer, fast increase in autumn, fast decrease in the end of autumn, respectively. The soil water in the 20~30 cm layer was the largest, and for the vertical distribution of soil water, the 0~10 cm layer varied frequently, while the 10~50 cm layer varied slowly. Based on the character of roots' utilization of soil water, soil layers were divided into roots' utilization layer and root's micro-utilization layer. According to the variation coefficient, the monthly change of soil water virtual distribution in rainy season was larger than in dry season.

Keywords: Northwest stipa steppe; vegetation growing season; soil water; temporal variation; vertical distribution