

# 祁连山北坡主要草地类型的土壤水分动态研究

黄德青<sup>1,2</sup>, 张耀生<sup>1</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 宋磊<sup>1</sup>, 王启兰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院生物系, 北京 100001)

**摘要:**祁连山北坡天然草地植被以高寒草原、山地草甸、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原等类型为主,对这5种典型草地类型土壤水分进行了观测,结果显示:不同草地类型生长季土壤水分动态变化规律基本一致,主要受降水量及其时间分配的影响,土壤水分的季节动态可划分为消耗期、积累期、消退期和稳定期4个时段;5类草地群落土壤水分垂直变化与土层深度的关系并不完全一致,其剖面变化可分为活跃层、调节层和相对稳定层;土壤水分储量以山地草甸最高,其它依次为山地草甸草原、高寒草原、山地草原、山地荒漠草原。

**关键词:**祁连山;草地类型;土壤水分动态;降水量

**中图分类号:**S152.7      **文献标识码:**A      **文章编号:**1001-0629(2005)08-0006-05

土壤水分状况是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映,是干旱区生态系统和植被建设的基础,对土壤物理性质和植被生长状况有着重要的影响<sup>[1]</sup>。目前对于干旱半干旱区土壤水分研究报道较多,主要集中在3个方面:一是植被类型、土壤物理性质及环境因子对土壤水分状况的影响<sup>[2-5]</sup>;二是进行土壤湿度变化模拟研究<sup>[6-8]</sup>;三是土壤下伏干层形成原因、土壤干燥程度及植被对其影响<sup>[9,10]</sup>。对于祁连山区植被土壤水分的动态研究,目前主要集中在林区<sup>[11-13]</sup>,而对天然草地的相关研究不多。为此于2004年4月开始对祁连山北坡5类主要天然草地类型的土壤水分进行连续定点观测,系统研究了祁连山北坡主要草地类型土壤水分的动态特征,为深入了解祁连山天然草地土壤水分状况提供了资料,为该区退化植被的恢复与生态环境综合治理提供了理论依据。

## 1 观测样地概况

观测样区设在黑河上游的甘肃省肃南裕固族自治县,地处祁连山北坡中段、河西走廊南侧,位于东经97°20'~102°13',北纬37°28'~39°49',属大陆性高寒半干旱气候。祁连山脉由西北走向东南,起伏延绵千余公里,相对高差悬殊,导致气候在水平、垂直方向都有明显的差异,土壤和植被因地形和气候的差异而形成明显的垂直分布带。研究以占肃南县草地总面积63.2%的5种主要天

然草地类型,即高寒草原、山地草甸、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原为对象,在各类型草地设立相应观测点,各草地类型立地条件见表1。

## 2 研究方法

2004年4月牧草返青开始在所选样地用土钻法分层取样,每月测定1次,到10月土壤冻结为止。取样深度为120cm,7个层次,各层下限分别为10,20,40,60,80,100和120cm,每层重复取样5次,然后用烘干法(105℃)测定,取其平均值为该层的土壤含水量,其计算公式为:

土壤含水量 = (土壤湿重 - 土壤干重) / 土壤干重 × 100 %

土壤储水量的计算公式为:  $H = \sum_{i=1}^n \rho_i \times h_i \times W_i \times 10$   
式中  $H$  为土壤储水量(mm);  $\rho_i$  为土壤容重( $g/cm^3$ );  $h_i$  为土层厚度(cm);  $W_i$  为土壤含水量百分率(如:土壤含水量为15%,则土壤含水量百分率为0.15%)。

土壤容重采用环刀法。年生长季降水量观测采用气象站用常规雨量筒实测。

\* 收稿日期:2004-12-08  
基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(kzcx1-09-01)和中国科学院西北高原生物研究所知识创新重点领域项目(cjc020144)  
作者简介:黄德青(1980-),男,山东定陶人,在读硕士生。  
E-mail:dquang@mails.gscas.ac.cn

表1 5个观测点的基本概况

草地类型	海拔 (m)	土壤类型	年均降水量 (mm)	年均温 ( )	主要植物种类
高寒草原类	3 445	高山草原土	252. 2	- 3. 1	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i> + 苔草 <i>Carex</i> sp.
山地草甸类	3 134	亚高山灌丛草甸土	300 ~ 500	0 ~ - 5. 4	金露梅 <i>Dasiphora fruticosa</i> + 线叶高草 <i>Kobresia capillifolia</i> + 委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>
山地草甸草原类	2 950	山地暗栗钙土	370 ~ 450	0	赖草 <i>Aneurolepidium dasystachys</i> + 垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i> + 早熟禾 <i>Poa</i> sp.
山地草原类	2 785	山地栗钙土	260 ~ 491	0. 2 ~ 2. 1	西北针茅 <i>S. krylovii</i> + 扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>
山地荒漠草原类	2 861	山地棕钙土	253. 7	3. 6	驴驴蒿 <i>Artemisia dalailamae</i> + 芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>

注:年均降水量和年均温引自《甘肃省肃南裕固族自治县牧业区划报告汇编》。

### 3 结果与分析

**3.1 生长季期间降水量** 观测区 2004 年生长季降水量季节分配情况见表 2。各类草地生长季降水的特点为前期(4 - 6 月)干旱少水,中期(7 - 8 月)降水较多,降水峰期始于 7 月,终于 8 月下旬,后期(9 - 10 月)降水偏低,试验区 7 - 8 月的

降水量占生长季总降水量的 52% ~ 62%。方差分析显示,不同草地类型间的降水量无显著差异 ( $P > 0.001$ );而同一草地类型不同季节间的降水量差异显著 ( $P < 0.001$ ),说明降水量季节分配不均匀,各草地类型降水的相对变率是春秋变率大,夏季变率较小。

表2 2004 年生长季降水量季节分配

草地类型	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	总计
高寒草原类	2. 90	31. 66	31. 44	75. 60	45. 80	19. 40	6. 50	213. 30
山地草甸类			52. 40	95. 70	74. 00	40. 80	12. 80	275. 70
山地草甸草原类	8. 80	54. 70	34. 80	86. 10	56. 30	28. 40	4. 20	273. 30
山地草原类	6. 10	51. 50	22. 90	81. 20	35. 00	24. 40	3. 80	224. 90
山地荒漠草原类	2. 11	24. 50	23. 00	41. 20	29. 20	7. 00	2. 50	129. 51

注:2004 年试验区山地草甸类牧草于 6 月 5 号返青,4、5 月降水量和土壤水分无实测值。

**3.2 土壤水分的季节变化及趋势** 试验区位于干旱、半干旱区,大气降水几乎是试验区土壤水分的唯一来源,且试验地地势较为平坦,测定期间未观测到能形成径流的降水过程,其土壤水分变化主要由降水和蒸散 2 个因素决定。

图 1 表明不同草地类型土壤含水量随季节变化趋势基本一致,但季节波动幅度不同,方差分析表明,除山地草原与高寒草原土壤平均含水量无明显差异外,其它草地类型之间的土壤平均含水量显著差异 ( $P < 0.001$ );而且与大气降水紧密相关,在生长季期间,高寒草原、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原土壤水分平均值与大气降水的关系均达极显著相关,相关系数分别为 0.955,

0.913,0.890 和 0.912,而山地草甸类表现为显著相关 ( $r = 0.916$ ),说明各草地类型土壤水分和降水量呈强正线性相关,其季节性变化主要受降水量及其季节分配的影响。

在生长季初期,各土层水分含量相对较高,其水分来源主要是冬春季的融雪,而且此时气温相对较低,植物地上部分的生长发育也刚刚开始,因此有利于水分的保持。图 1 所示,各草地类型土壤水分曲线在 5 月均出现小时段的峰值。但随着气温的回升,土壤水分的蒸发损失增大,而且植物的生长速率也加快,对土壤水分的利用和蒸腾耗水量也随之提高,而这一时期大气降水相对较少,其生理用水主要由冻融的雪水和土壤内储存的水

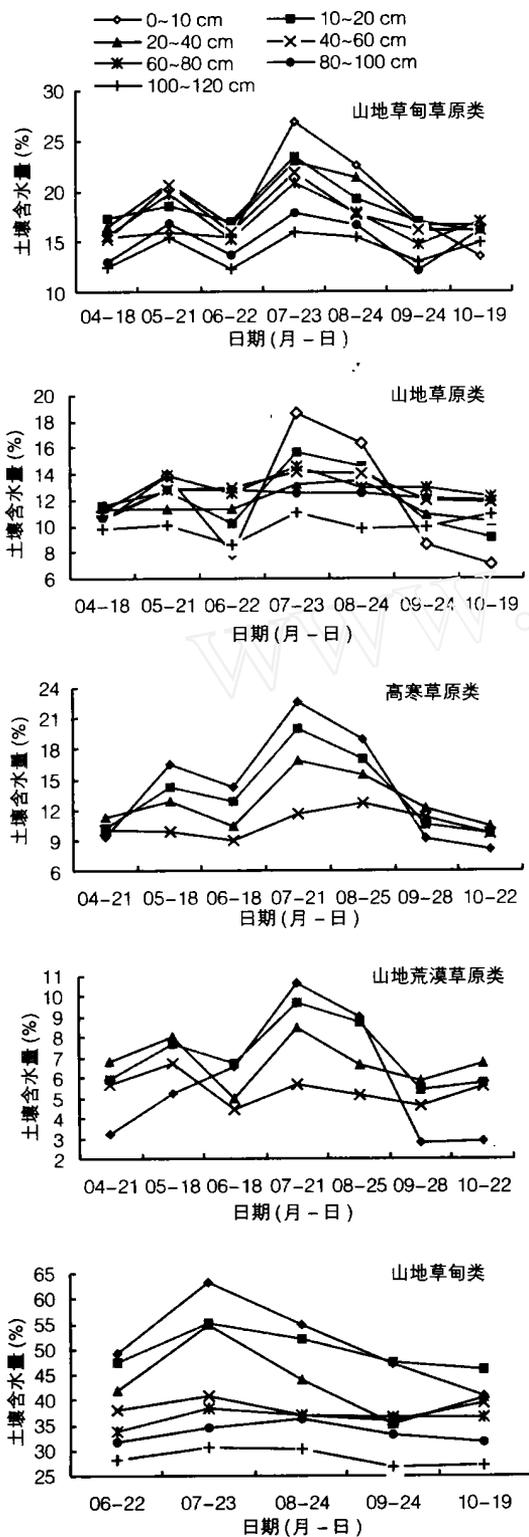


图1 不同草地类型土壤含水量随时间的变化

注:高寒草原类与山地荒漠草原类60 cm深度以下为砾石层,无实测数据。

分来供应,土壤水分因根系的吸收,大量蒸腾消耗,致使土壤中的水分消耗大于补给,土壤含水量不断下降,到6月降到最低值。图1中各草地类型土壤水分曲线均反映了这一趋势,这一时段总的特征是土壤中的水分消耗大于补给,因此称为土壤水分的消耗期(5-6月底)。

随着雨季的来临,土壤含水量呈升高趋势,牧草生长也达到整个生长季的旺盛阶段,虽然土壤蒸发和牧草蒸腾作用强烈,但由于降水量较大,土壤含水量仍然持续升高,到7月底和8月初各草地类型土壤含水量都达到了一年中的最高值,这一时段降水量最大,土壤水分的总特征是收入大于支出并且还有积累,聚集下来的水分向土壤深层渗入并贮存于土壤中,称为土壤水分的积累期(6月底-8月初)。

8月初到9月底,各草地类型土壤水分呈消退趋势,虽然还有部分降水,但气温仍适宜于植物的生长,由于植物蒸散较大,土壤的蒸发也比较强烈,所以渗入土壤中水分供不应求,不能弥补消耗掉的水分,该时段也因此称为土壤水分的消退期。

进入10月,气温逐渐降低,牧草逐渐停止生长,大气降水也比较少,此时水分的消耗主要以土壤蒸发为主,但枯枝落叶的覆盖减缓了蒸发,使其呈现出比较平稳的趋势;随着气温进一步降低,土壤开始冻结,土壤中的水分也以冻结的形式存在,进一步阻止了水分的运动,从而减少了水分的消耗,一直到第2年的5月份,是土壤水分的稳定期(9月底到翌年5月)。这与徐炳成等在黄土丘陵区的研究是基本一致的<sup>[14]</sup>。

**3.3 土壤水分垂直动态变化** 总体来看,5类天然草地土壤含水量不同层次之间差异显著( $P < 0.001$ ),但山地草原与山地草甸草原、高寒草原、山地荒漠草原之间以及高寒草原与山地草甸草原、山地荒漠草原之间无显著差异(见图1)。土壤含水量与土壤深度简单相关分析表明,山地草甸草原、山地草甸和高寒草原土壤含水量与土壤深度呈高度负相关,相关系数分别为-0.897, -0.989, -0.976,说明这3类天然草地土壤含水量随着土层的加深而递减,而山地草原和山地荒漠草原土壤含水量随土壤深度变化规律不明显。

各草地类型表层(0~20 cm)土壤均具有最大含水量变化幅度,主要受气候条件的影响,特别是大气降水影响。除山地草甸类,表1中显示了在气温相对较高的6月,降水量均低于35 mm,与此相应,在此期间表层土壤只具有较低的含水量,其含水量变化6.65%~16.16%,但在降水量均高于75 mm的7月,土壤表层的含水量达到10.14%~25.17%,充分说明表层土壤的水分含量直接受控于大气降水的变化,主要由于该层是雨水到达土壤时最先承接雨水的部位,其土壤含水量变化对降水最为敏感,雨后该层土壤水消耗也快,图1中表层土壤水分变化较大正是这一原因。此外,由于0~20 cm的土层是大量根系集中分布的主要层次,植物根系吸水以及各种植物生长发育节律的作用也是影响该层土壤含水量变化的重要因素。因此该层为土壤水分变化的活跃层。

土壤水分含量变化幅度较大的另一个层次是20~60 cm土层,如图1所示,该层土壤水分含量虽然也有明显的季节性波动,但其变化幅度明显小于0~20 cm的表层土壤水分变化情况,这种现象与降水量的季节分配、每次降水量的大小以及水分在土壤中的运移规律有关。如果一次降水量过小,虽然可以明显地影响表层土壤的含水量,但对20~60 cm土层的含水量可能只有非常微弱的影响。此外,该层分布着仅次于表层的植物根系,当根系吸水和植物蒸腾作用过大使土壤水分降低时,该层通过水势梯度使深层水分向该层移动,以保证植物的正常生长需要,丰水年还可以起到储水的作用,对植物根系吸收水分有一定的调节作用,称为土壤水分的调节层。

60~120 cm土层的含水量与上层土壤水分含量的变化相比有明显的滞后现象,受大气降水的影响相对较小,变化比较缓慢。对于水量适中的一次降水来说,其中绝大部分水分被保持在上层的土壤中,并逐步的消耗于土壤的水分蒸发和植物的水分蒸腾过程,而只有很少量或者没有多余的水分补给到该层中,只有在降水量较大的情况下,水分才能通过重力水的流动补给到该层,图1中,在降水较多的7,8月土壤水分增大较多,但就整个生长季而言,该层土壤含水量变化幅度较

小,是土壤水分变化中相对比较稳定的土层。这与牛云等所做的工作基本一致<sup>[13]</sup>。

由土壤水分的季节动态和垂直变化可以看出,土层深度与土壤水分季节变化的关系一般是土层较浅时,土壤水分曲线波动幅度大,上层土壤水分收支变化大于下层,所以土层较浅时,土壤水分季节变化趋势愈显突出。

**3.4 土壤储水量动态变化** 土壤储水量的动态与土壤水分动态完全一致,但土壤储水量更直接地反映各草地类型土壤水分的量值。土壤储水量是指在自然状况下,某一特定土壤层次中土壤的含水量,由土壤容重、土层厚度及土壤含水量决定。从图2可以看出,5种草地类型0~60 cm土层储水量以山地草甸类最高,为 $182.08 \pm 20.10$  mm(平均值 $\pm$ 标准差),其它依次为山地草甸草原( $72.79 \pm 11.90$  mm)、高寒草原( $50.92 \pm 12.50$  mm)、山地草原( $48.21 \pm 8.90$  mm)、山地荒漠草原( $25.09 \pm 5.57$  mm);生长季末各草地类型土壤水分因牧草生长利用和土壤蒸发,土壤含水量普遍低于生长季初期的土壤含水量。方差分析显示,总体上5类天然草地土壤储水量差异显著( $P < 0.001$ ),0~60 cm土层水分变化幅度最大的是山地草甸,土壤储水量最高值与最低值的差额为48.78 mm,其它依次分别为高寒草原(33.07 mm)、山地草甸草原(32.92 mm)、山地草原(23.26 mm)、山地荒漠草原(15.67 mm)。以土壤储水量与测定期间的降水量进行的简单相关分析表明,二者显著相关( $r = 0.839, P < 0.05$ ),因此可以用生长季降水量来估测生长季末的土壤储水量。综合分析显示,各草地类型土壤储水量变化主要受降水量和植物耗水的影响,这说明草地具有较好的水文效应,在利用土壤水分方面是较好的土地利用方式,这为该区实施退林还草工程提供了理论依据<sup>[15]</sup>。

## 4 结论

**4.1 祁连山北坡主要草地群落土壤水分季节动态特征是**,不同草地类型土壤水分的季节性变化趋势基本一致,主要受降水量及季节分配的影响。从5月开始,土壤水分的季节动态可划分为消耗期(5月到6月底)、积累期(6月底到8月初)、消

退期(8月初到9月底)和稳定期(9月底到翌年5月)4个时段。

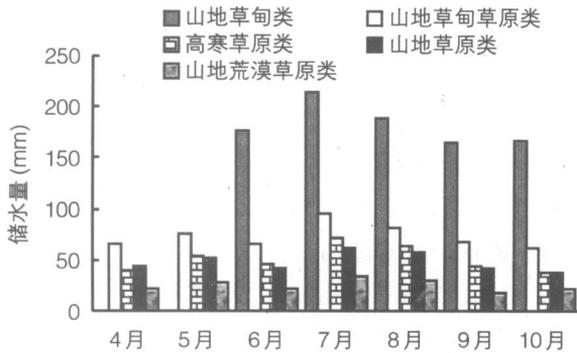


图2 5种草地类型0~60 cm土壤水分储量的季节变化

4.2 祁连山北坡主要草地群落土壤水分垂直变化与土壤深度的关系并不完全一致,山地草甸草原、山地草甸和高寒草原土壤含水量随着土层的加深而递减,而山地草原和山地荒漠草原土壤含水量随土壤深度变化规律不明显,但5类草地群落土壤水分的垂直动态均可划分为活跃层(0~20 cm)、调节层(20~60 cm)和相对稳定层(60~120 cm)3个层次。

4.3 祁连山北坡5种草地类型的土壤储水量差异显著。0~60 cm土层储水量以山地草甸类最高,其它依次为山地草甸草原、高寒草原、山地草原、山地荒漠草原;生长季末各草地类型土壤水分因牧草生长利用和土壤蒸发,土壤含水量普遍低于生长季初期的土壤含水量。土壤储水量与测定期间的降水量显著相关,可用生长季降水量来估测生长季末的土壤储水量。

各种草地类型土壤水分动态特征的阐明,对深入分析该区草地土壤水分状况与草地植被群落的关系以及植被建设的合理布局都具有重要意义。如何在有限的土壤水分条件下,选择适生植物种和植被类型,既能与土壤水分供应与养护相协调,又能使植被生产力保持稳定与提高,从根本上达到保护生态环境的目的,正是研究者们下一步要做的工作。

#### 参考文献:

[1] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北

京:科学出版社,2000. 86-133.

- [2] Singhl J S, Milchunas D G, Lauenroth W K. Soil water dynamics and vegetation patterns in a semi-arid grassland [J]. *Plant Ecology*, 1998, 134: 77-89.
- [3] Eliel Steen. Soil Water: Basis for observation and Management of the Plant Cover of Dry Areas [J]. *AMBIO*, 1993, 27(7): 539-544.
- [4] 中国科学院兰州沙漠研究所, 沙坡头沙漠科学研究所. 腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究 [M]. 银川: 宁夏人民出版社出版, 1991. 27-57.
- [5] Coronato F R, Bertiller M B. Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semiarid rangelands of Patagonia [J]. *Journal of Arid Environments*, 1996, 34: 1-9.
- [6] Federer C A A. Soil-plant-atmosphere model for transpiration and variability of soil water [J]. *Water Resource Research*, 1979, 15: 556-562.
- [7] 王树森. 土壤水分动态模拟与调控 [A]. 谢贤群. 作物与水分关系研究 [C]. 北京: 科技出版社, 1992. 94-101.
- [8] 冯起, 高前兆. 沙地土壤储水量变化的模拟研究 [J]. *土壤通报*, 1997, 28(6): 254-256.
- [9] 王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤干层量化指标初探 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 87-90.
- [10] 付明胜, 钱卫东, 牛萍, 等. 连续干旱对土壤干层深度及植物生存的影响 [J]. *干旱区研究*, 2002, 19(2): 71-74.
- [11] 张学龙, 车克钧, 王金叶, 等. 祁连山寺大隆林区土壤水分动态研究 [J]. *西北林学院学报*, 1998, 13(1): 1-9.
- [12] 牛云, 张宏斌, 刘贤德, 等. 祁连山主要植被下土壤水的时空动态变化特征 [J]. *山地学报*, 2002, 20(6): 723-726.
- [13] 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.
- [14] 徐炳成, 山仑. 半干旱黄土丘陵区白羊草人工草地生产力和土壤水分特征的研究 [J]. *草业科学*, 2004, 21(6): 6-10.
- [15] 赵忠, 王安禄, 马海生, 等. 青藏高原东缘草地生态系统动态定位监测与可持续发展要素研究 天然草地产草量与水、热因子的灰色关联分析 [J]. *草业科学*, 2002, 19(8): 11-15.

# 甘肃牧草种质资源的保护与利用

曹明崇,杨学兰

(甘肃省草原总站,甘肃 兰州 730046)

**摘要:**牧草种质资源是人们选育牧草新品种的基因来源。对牧草种质资源进行现状分析,开展牧草种质资源多样性的基础调查及收集保存,重视保存设施的建设,努力开发新的栽培植物,加强种质资源立法和政策研究,争取各级政府重点支持,这是保护与利用牧草种质资源的必要措施。

**关键词:**牧草;种质资源;保护;利用

中图分类号:S540.24

文献标识码:B

文章编号:1001-0629(2005)08-0011-03

牧草种质资源是人类社会生存与发展的战略性资源。重视牧草种质资源的研究、保护与利用,对保护植物基因资源、挖掘其中的优异基因、筛选培育优良牧草品种具有十分重要的现实意义;对实施西部大开发、促进甘肃省农业结构调整、生态治理工程、发展草产业和维系国家食品安全具有深远的战略意义<sup>[1]</sup>。

## 1 种质资源的现状

甘肃省地域辽阔,牧草种质资源丰富,兼有黄

土高原、青藏高原、蒙新高原和秦巴山地各植物区系的牧草种类。甘肃省草原总站通过对全省草地资源的调查,共采集裸子、被子、蕨类、苔藓等各类植物标本 10 万余份,分属 154 科 706 属 2 128 种,占全国饲用植物的 1/3。其中 84 个属 298 个

收稿日期:2004-03-18

作者简介:曹明崇(1962-),男,甘肃张掖人,畜牧师,学士。

E-mail:caomingchong123@163.com

## Study on soil moisture dynamics of the main grassland types in the northern slopes of Qilianshan Mountains

HUANG De-qing<sup>1,2</sup>, ZHANG Yao-sheng<sup>1</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1</sup>, SONG Lei<sup>1</sup>, WANG Qi-lan<sup>1</sup>

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. Postgraduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100001, China)

**Abstract:** Based on the research on soil water of five main vegetation types: alpine pastureland, mountainous meadow, mountainous meadow pastureland, mountainous pastureland, mountainous desert pastureland in the northern slopes of the Qilianshan mountains, the results show that the seasonal dynamics of soil moisture is delimited into four stages: consumptive stage, accumulating stage, receding stage, stable stage. Seasonal change tendency of soil moisture of different vegetation types in growing period is almost identical, which is affected by precipitation and its temporal distribution. The relationship between the vertical change of soil water and soil depth is not uniform absolutely in the five vegetation types and it can be classified into three layers: active layer, regulative layer and relatively stable layer. Soil water storage of mountainous meadow is the highest of the 5 vegetation types, and others are in order of mountainous meadow pastureland, alpine pastureland, mountainous pastureland, and mountainous desert pastureland.

**Key words:** Qilianshan mountains; grassland type; soil moisture dynamics; precipitation