

寒冻锥形土不同地形部位土壤湿度 及其与主要植被类型的对应关系

李英年, 沈振西, 周华坤

(中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘 要: 寒冻锥形土不同地形部位土壤湿度均有较高的水平, 0 cm~60 cm 整层土壤湿度北坡>滩地>南坡。土壤湿度在年内可分为春季水分消耗期、雨季初水分补给期、水分波动消耗期和冬季冻结水分稳定聚集期。在垂直方向随深度加深湿度逐渐降低, 北坡极为明显, 南坡及滩地降低幅度均匀。土壤湿度随时间的变化过程分解为周期性变化项、随机性分量项及趋势项。同时表明, 在土壤湿度较低的南坡, 以小嵩草等为主的草原化草甸植被类型; 土壤湿度适中的滩地, 多以矮嵩草为主的高寒嵩草草甸植被类型; 湿度较高的北坡, 多以金露梅为主的灌丛草甸植被类型; 而在土壤湿度很高、地表长久积水的河边, 多以藏嵩草等为主的沼泽化草甸植被类型。

关键词: 寒冻锥形土; 不同地形部位; 土壤湿度; 植被类型

中图分类号: S152.7⁺2

文献标识码: A

土壤湿度是土壤—植被—大气间物质循环和能量流动的介质, 作为土壤环境的重要指标, 在土壤发展方向、发育速率, 以及生物生产力形成和植物群落结构、种群数量稳定和演替, 植物细胞的膨润增长、营养物质迁移等过程中占据重要的地位。多年来, 国内外学者对于土壤湿度的研究虽较多^[1~4], 但较少涉及青藏高原高寒草甸寒冻锥形土分布区。虽然我们对高寒草甸地区的土壤湿度动态变化曾有报道^[5,6], 但同一地区的不同地形部位, 由于坡向所接受太阳辐射差异, 导致植被蒸散, 土壤水分的侧渗和下渗等物理过程错综复杂, 因而表现出同一地区不同地形部位土壤湿度时空分布有较大的差异。因此, 我们对高寒草甸寒冻锥形土地区不同坡向的土壤水分动态变化进行了测定, 现对观测结果给予分析报道。

1 资料概况

1.1 区域气候条件

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)进行。海北站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河谷, 37°37'N、101°19'E、海拔3 200 m。区域年平均气温-17℃, 最暖的7月平均气温9.8℃, 最冷的1月

平均气温-14.8℃。年降水量约580 mm, 降水年际变率较大, 最高年是最低年的2倍。降水主要分布于暖季的5~9月, 占年降水量的80%^[7]。

1.2 资料及研究方法

土壤湿度观测在1991~1993年牧草生长季的4月上旬(牧草萌动发芽前期)到10月中旬(牧草停止生长转入枯黄期)进行。观测点选择在代表性较好的南坡、北坡、滩地。三地点两两相距2 000 m、1 600 m和1 000 m, 南北二地观察点相对滩地高30 m和40 m, 坡度分别约为35°和50°。

湿度测定采用土钻法取土, 每5 d(每最后一日)取土一次, 如遇较大降水天气过程时后延1 d~2 d, 每次重复3次。土样在烘箱烘干, 温度控制在85℃。连续烘干24 h后, 称重并计算出土壤水分占干土重的百分比(%)。本研究资料采用海北站1991~1993年每年4月上旬到10月中旬植物生长期不同地形部位土壤湿度测定的平均值, 及其有关气象平行观测资料。

2 结果分析

2.1 不同地形部位土壤湿度的动态变化

寒冻锥形土(过去多称作亚高山草甸土或寒毡

收稿日期: 2000-08-14; 改回日期: 2000-10-19.

基金项目: 国家与中科院“九五”重大项目及特别支持项目(1998040800, KZ951-AI-204, KZ951-AI-301, KZ951-06)及中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站、中国生态系统网络研究监测项目基金资助。

作者简介: 李英年(1962-), 男(汉族), 青海乐都人, 高级工程师, 从事生物气象工作。E-mail: Liyingnian@China.com.

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

土) 广布于青藏高原大部, 海拔多在 3 900 m ~ 4 600 m 区域。在青海北部的祁连山地也有较多分布, 但因纬度偏北, 其分布高度可下降至海拔 3 200 m 左右。一般区域气温低, 降水量相对丰富, 气候较为湿润。

同一地区不同地形部位的南坡、北坡及滩地, 由

于接受太阳照射通量及日照时间长短不一, 加之植被类型的分布差异, 虽然降水量基本保持相同, 但因地表受热不均及蒸发力不同, 土壤湿度将发生明显的差异。图 1 绘出了海北站 1991 ~ 1993 年植物生长期不同地形部位 0 cm ~ 60 cm 土层 3 年平均土壤湿度的动态变化情况。

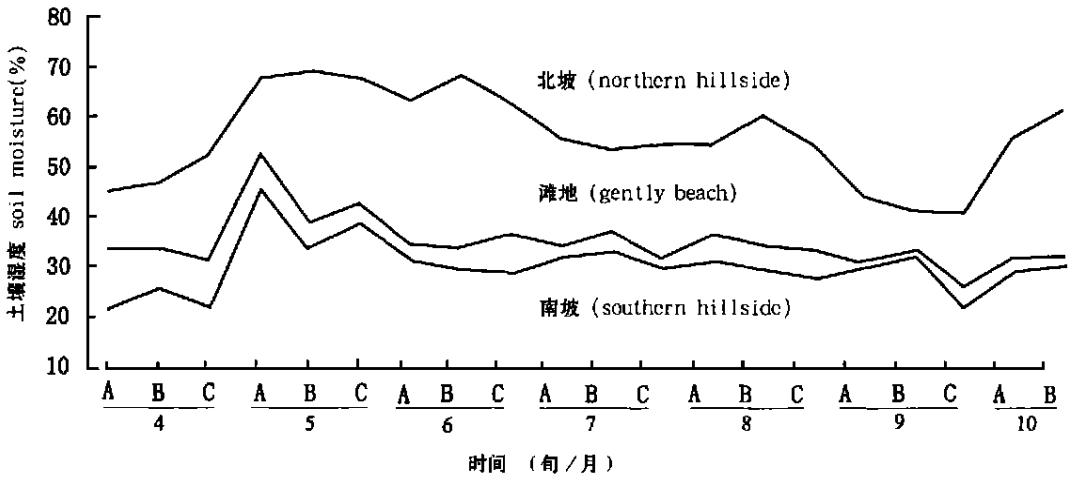


图 1 植物生长期不同地形部位 0 cm ~ 60 cm 整层土壤湿度的季节变化 (1991 ~ 1993 年)

Fig. 1 The dynamic change of soil moisture at different topographic position in plant growing period (1991 ~ 1993)

可以看出, 海北高寒草甸寒冻锥形土分布区的不同地形部位, 其土壤湿度均具有较高的水平。植物生长期内的 1991 ~ 1993 年 4 月中旬到 10 月中旬 0 cm ~ 60 cm 整层土壤湿度北坡 > 滩地 > 南坡, 其平均值三地分别为 56.9%、36.0% 和 31.7%。这是由于该地区年降水量高, 植物生长发育好, 植被盖度高 (> 90%), 0 cm ~ 20 cm 土壤层植物根系盘根错节, 具有较高的持水和滞水能力, 使土壤保持有较高的湿度。

图 1 还表明, 不同地形部位土壤湿度, 年内随时间进程的变化规律基本相同。随季节推进可分为 4 个时期, 即春季水分消耗期、雨季初水分补给期、水分波动消耗期和冬季冻结水分稳定聚集期。

1. 春季水分消耗期 春季气温逐渐升高, 地表植被因受冬春放牧及多风天气影响近似裸露, 叶面积小, 滩地及南坡更小, 白天地表吸收太阳辐射后迅速升温, 夜间长波辐射冷却强烈。土壤表层日消夜冻, 较深层冻土仍维持, 融冻水从底层冻结层以热力条件为载体, 不断补偿给融化层, 裸露地表蒸发大, 虽然植被的蒸腾微小, 但可产生较高的蒸发过程。此期间大气降水小, 而地表蒸散量远大于降水

的补给, 使地表土壤水分散失严重。

2. 雨季初水分补给期 雨季来临初期, 气温继续升高, 日均气温稳定通过 $\geq 3^{\circ}\text{C}$, 牧草普遍返青, 进入旺盛生长初期, 但植物生长又并不茂盛, 叶面积逐渐加大, 地表有一定的植被盖度, 地表温度变化不如前期剧烈, 地表蒸发有所下降, 蒸散量少于大气降水, 底层冻土出现于 50 cm ~ 90 cm, 最深达 210 cm 左右, 深层冻土不但阻碍冻水的渗漏损失, 而且使其冻融水通过毛管引力补偿迁移给上层土体。降水增多, 地表径流不发育, 降水易下渗贮存于土壤, 易使土壤水分得到提高。

3. 水分波动消耗期 雨季的中后期, 气温为年内最高, 日均温稳定通过 $\geq 5^{\circ}\text{C}$, 降水量丰沛, 大气层结极不稳定, 天空对流旺盛, 此时叶面积最大, 蒸散主要集中于植物的蒸腾, 而且蒸腾强度大, 植被耗水最多, 虽有降水的补充, 但入不敷出, 季节土壤冻结层融化殆尽, 土壤渗漏加大, 土壤湿度随降水变化明显, 当遇降水过程持续时间长、降水量大时, 土壤湿度迅速上升, 入渗亦明显, 可超过 50 cm 土体, 而遇数日无降水或降水量很小时的天气过程, 土壤含水量迅速下降, 使土壤湿度在该期呈现强烈的波动

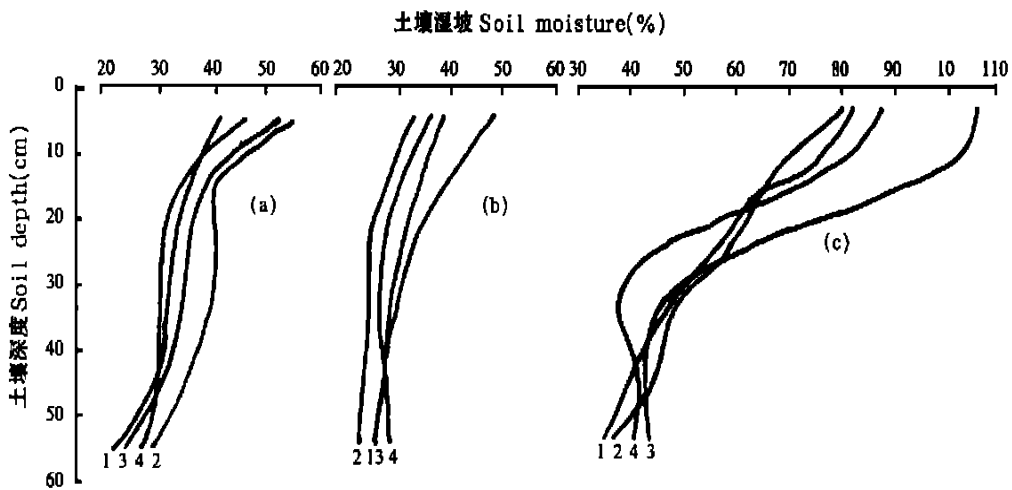
性,且波动周期随降水间隔增宽而延长,其峰值及土体湿度亦因每次降水量的递减而减小。

4. 冬季冻结水分稳定聚集期 9月底,海北高寒草甸地区地表开始冻结,以后随时间推移,约在10月下旬开始,土壤自上而下出现稳定冻结且逐渐加深,到翌年4月底,土壤冻结层最深,期间气温低、降水极少,植被处于枯黄阶段,地表凋落物增多,蒸腾变得极微小,枯黄植被及凋落物的存在,使地表蒸发也明显减小,降水虽然较前期下降,但多以雨夹雪为主,降水均匀,水分下渗充分,冻结过程中土壤水分从下部相对暖和的底层向上转移聚集,并结成冰晶,随冰晶的“长大”,土体含水量提高,使冬季土壤保持了较高的土壤湿度,且变化平稳。

土壤湿度随季节变化的这4个不同时期,在南坡和滩地表现较为明显。同时不同地形部位,上述4个时期出现的位相略异。南坡和滩地春季水分消耗期终止期出现在4月中下旬,5月上旬开始进入水分波动消耗期,到9月下旬结束,在10月上旬开始转入冬季冻结水分稳定聚集期。在北坡水分波动消耗期出现于4月中旬,略提早,而春季水分消耗期似乎不出现,其它二期变化与南坡和滩地一致,但所表现的高土壤湿度极为明显。

总体讲,虽然土壤湿度表现在南坡为最小,但有趣的是当出现较大降水过程时(一般日降水量 $>5\text{ mm}$),将出现南坡土壤湿度较滩地大的现象,这表明虽南坡径流比滩地大,同时侧渗明显,蒸发也相对较大,但由于南坡以小蒿草为主的植被类型,根系极为发达,在土壤 $0\text{ cm}\sim 20\text{ cm}$ 层次形成一定厚度的“毡状”结构,地下生物量远大于滩地或北坡,密集的植物根系滞水和持水能力更强,且比滩地维持时间相对较长,而滩地则易产生下渗至深层的现象,致使南坡在较大降水后 $1\text{ d}\sim 2\text{ d}$ 内出现的土壤湿度大于滩地。但在降水过程过后的第3天左右,土壤水分急剧减小,恢复到正常状态。

植物生长期内的不同时期,不同地形部位由于植物根系分布差异不同,以及土壤蒸发、植被蒸腾、受太阳辐射强弱等影响,地表受热不均一,土壤底层消融时间不一致性,所造成土壤湿度的垂直变化及空间分布差异明显。在垂直方向,不同地形部位的土壤湿度,一般其表层较大,随深度加深逐渐减少,但视地形部位的不同,随深度加深减少幅度较不一致,图2列出1993年度不同地形部位,在植物生长期不同时间土壤湿度的垂直分布。



滩地(a)、南坡(b)、北坡(c); gently beach(a), southern hillside(b), northern hillside(c)

图2 不同地形部位土壤湿度的垂直变化

Fig.2 The vertical change of soil moisture at different topographic position

由图2可看出,北坡土壤湿度随土壤深度加深下降明显,滩地次之,北坡最低。这种情况受多方面因素的影响,其主要原因是:在土壤表层由于不同地形部位的植被类型和盖度、坡向所受太阳辐射不同,以及不同坡向所受不同方向下的风速性质不同,致

使地表蒸发差异明显,造成地表土壤湿度北坡 $>$ 滩地 $>$ 南坡。而在深层,植物根系分布基本相似,不同地形部位均到达石质接触面,土壤水分的侧渗和下渗处于同水平程度,从而导致不同地形部位土壤湿度随土壤深度的加深出现不同的变化幅度。

2 2 不同地形部位土壤湿度与天气气候的关系

高寒草甸寒冻锥形土分布区, 植物根系发达, 盘根错节, 根系主要分布于 0 cm~20 cm 土层, 40 cm~60 cm 处的砾石结构易阻隔地下水上升, 密集的植物根系有很强的滞水和持水能力, 土壤水分的变化主要隶属于自然状况。其土壤温度随时间的变化过程 $W(t)$ ($t=1, 2, \dots, N$, 为数据测定序列) 可由周期性变化 $W_f(t)$ 、随机性分量 $W_g(t)$ 及趋势性分布 $W_p(t)$ 来决定。其中周期性变化主要是由于植物耗水规律和气候年周期波动影响所造成, 它在土壤湿度的波动变化过程中占有很大比例, 一般要占 80% 左右; 随机性分量主要受制于年度气候振动的差异性, 不同年份相同时间内, 由于气候等因素特别是降水因素的随机分布, 使土壤湿度产生随机波动; 趋势分布是长期气候趋势及人类活动叠加的持续干扰影响, 下垫面发生趋势性演替, 造成生态环境的变迁, 土壤温度表现有向某一方向发展, 如波动中递减或递增。土壤湿度变化的这三部分可用时间序列的加法模式来确定^[6], 即

$$W(t)=W_f(t)+W_g(t)+W_p(t)$$

式中 $W_f(t)$ 可用傅立叶级数理论谐波分析的方法作周期估计; 由于土壤水分长期趋势在短时间尺度内变化十分微小, 表现极不明显, 故 $W_p(t)$ 可以忽略; $W_g(t)$ 可从土壤湿度随时期变化的实际量减去周期分量而得, 有 $W_g(t)=W(t)-W_f(t)$ 。

高寒草甸地区, 自然降水是土壤湿度的重要补偿者, 而水分的散失除下渗、侧渗外, 下垫面蒸散 (包括土壤蒸发和植被蒸腾) 是水分的主要散失部分, 而下垫面蒸散过程基本包含在周期项内, 因而可以认为, $W_g(t)$ 的变化主要受制于降水的影响。三年观测发现, 在有降水产生时, 土壤水分积聚迅速, 温度很快达较高水平, 当连续出现晴好天气时, 土壤水分则急剧下降, 这也证实温度随机波动与降水具有明显的相关关系。从而 $W_g(t)$ 的变化可由降水量的变化 (用线性回归方法 $W_g(t)=a+bR$, R 为时段内降水量) 来估算。即对土壤湿度年内动态变化可建立如下形式的模拟方程

$$W(t)=W_f(t)+W_g(t)$$

$$=[\sum_{k=1}^PA_k\cos\omega_k t+B_k\sin\omega_k t]+[a+bR]$$

式中 ω_k 为各谐波频率, $\omega_k=2K\pi/T$, A_o 、 A_k 、 B_k 为傅立叶系数, 由以下方法来确定

$$A_k=(1/N)\sum_{t=1}^N[W(t)]$$

$$A_k=(2/N)\sum_{t=1}^N[W(t)\cos(2\pi k/N)\cdot(t-1)]$$

$$B_k=(2/N)\sum_{t=1}^N[W(t)\sin(2\pi k/N)\cdot(t-1)]$$

式中 N 为时间序列长度, T 为基本波的周期, $K(K=1, 2, \dots, P)$ 为谐波序号 (数), 一般为 $1<P<n/2$ 。

作者曾以 1992 年滩地土壤湿度 (体积含水量) 资料利用该方法, 对植物生长期内的变化状况进行模拟处理^[6]。结果发现其模拟效果较好, 具有较高的拟合率, 同时利用所建立的模拟方程对 1993 年土壤湿度变化状况进行预报, 表现有较高的预报准确率。说明用该方法对高寒草甸地区的土壤湿度进行模拟预测是可行的。

2 3 不同地形部位土壤湿度与高寒草甸植被类型的对应

二年前, 我们曾指出, 冬春季温对高寒草甸植被生产力的影响不可忽视^[8], 认为冬春气温较低时, 虽然低气温所产生的冻害现象对牧草根系及早春幼苗杀伤力较重, 但与低气温环境影响下, 所能形成较厚和坚实的冻土层含有较高的土壤湿度相比, 显得次要。同一地区, 海拔高度相同, 大气候条件总体也是一致的, 但在不同地形部位其植被景观将有较大的差异, 这种景观差异当然受不同地形环境下的太阳辐射、地气能量交换以及风向、风速等的作用, 但也不可忽视不同地形部位对土壤湿度的差异性的影响。

海北站地区, 多分布为高寒草甸和高寒灌丛草甸, 而不同植被类型分布的差异性与土壤湿度的分异有着极为明显的对应关系, 这种对应关系可由图 3 简要说明。

可以看到, 一般在山地阳坡 (南坡) 多为线叶嵩草、小嵩草、羊茅等植物为主的植被类型, 属草原化高寒草甸, 灌丛似乎不能发育生长, 这里土壤湿度最低, 一般在 18%~44% 间, 平均为 31.7%。地表接受太阳辐射强烈, 受密集植物根系较强持水和滞水能力的影响, 有降水产生时土壤湿度在短时内急剧增高, 当遇几日少降水 (一般 $<5\text{ mm}$) 或无降水时, 由于强辐射及高蒸发作用, 土壤湿度迅速降低, 地表就显得干燥。在滩地多以矮嵩草、垂穗披碱草等植物为主的湿中性植被类型, 属典型的高寒草甸植被类型, 土壤湿度相对较高的局部地区还生长发育着金露梅灌丛, 该类地区的土壤湿度适中, 居于北坡与南坡之间, 土壤湿度基本在 28%~45% 间, 平均为 36.0% 土壤湿度变化较南坡相对平衡。而

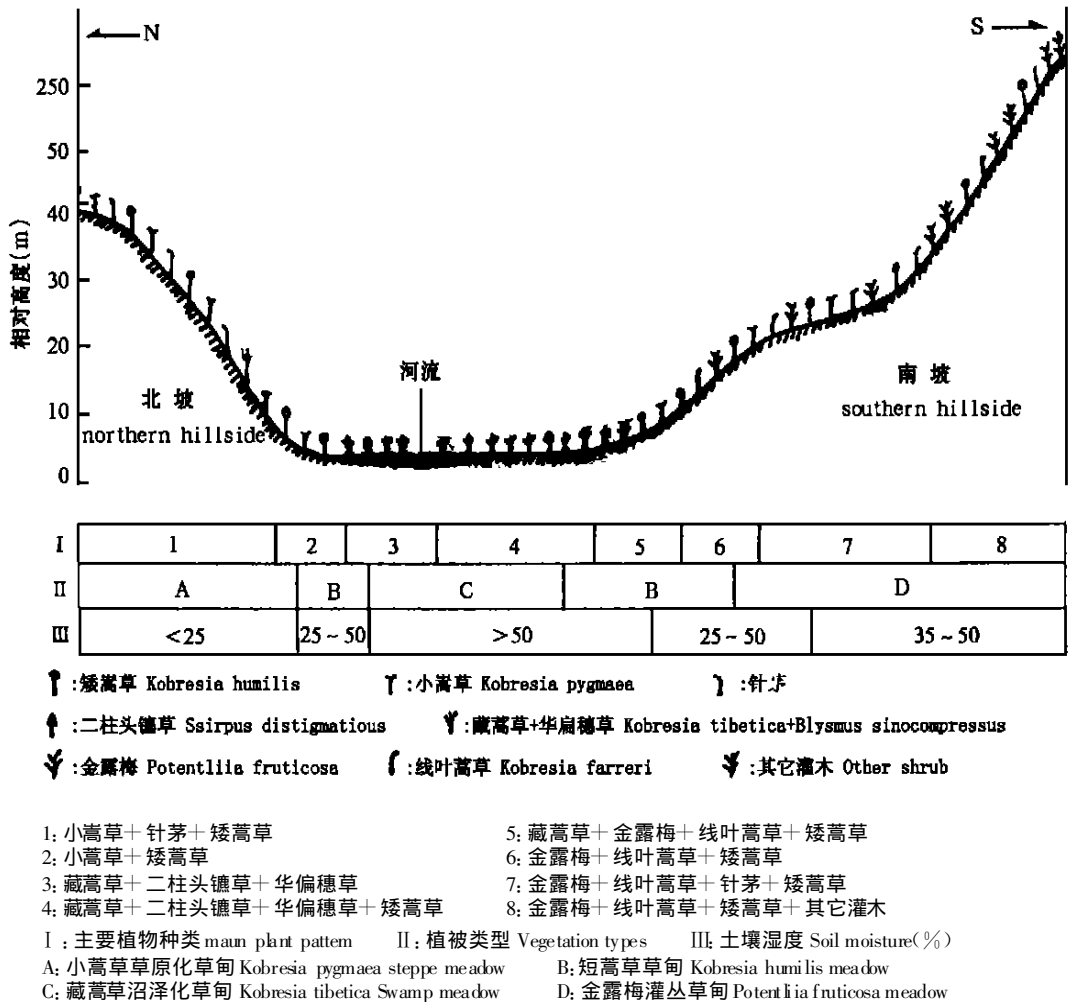


图 3 不同地形部位土壤湿度分异与主要植被类型的对应谱状状况

Fig. 3 The corresponding spectrum of the soil moisture distribution and main vegetation type at different topographic position

在土壤湿度高的阴坡(北坡)地带,则以矮蒿草和金露梅灌丛为主的植被类型,这里由于地表接受太阳辐射较弱,蒸发力亦较低,土壤湿度长年保持有较高的水平,接近土壤最大持水量,有时甚至达饱和状态,土壤湿度一般在 38 %~78 % 间,平均为 56.9 %。在湿度更高的沼泽地,那里土壤湿度常年处于超饱和状态,地表长久积水,植被类型则以藏蒿草、华扁穗草、镰草等为主。表现出不同地形部位植物种及植被类型在很大程度上取决于该地的土壤湿度。当然,在不同地形部位,仍有其它大量的植物种类,这里仅以禾草类进行了概述。

3 讨论及小结

距离相近,海拔高度相同的寒冻锥形土不同地形部位,由于受太阳照射及日照时间长短不一致,虽

然降水基本相同,但地表受热及蒸发量不同,土壤湿度出现明显的差异。

海北寒冻锥形土土壤湿度均具有较高的水平。三个年度的植物生长期(4月中旬到10月中旬)平均值均在 31 % 以上。0 cm~60 cm 整层土壤湿度北坡>滩地>南坡,其平均值三地分别为 56.9 %、36.0 % 和 31.7 %。

不同地形部位的土壤湿度,年内均表现随时间进程基本相同的变化规律。植物生长期,随季节推进可分为 4 个时期,即春季水分消耗期、雨季初期水分补给期、水分波动消耗期和冬季冻结水分稳定聚集期。

不同地形部位的土壤湿度,一般其表层较大,随深度加深逐渐减少,但视地形部位的不同,随深度加深减少幅度较不一致,南坡及滩地减少幅度均匀,减

少量较小, 但北坡随深度变化激烈, 减少幅度明显。

土壤水分随时期变化过程可由周期性变化、随机性分量及趋势性分布来决定。其中周期性变化主要是由于植物耗水规律和气候年周期被动影响所造成, 它在土壤水分的波动变化过程中要占 80% 左右; 随机性分量主要受制于年度气候振动的差异性, 不同年份相同时间内, 由于气候等因素特别是降水因素的随机影响明显。

海北站寒冻锥形土分布区, 一般在山地阳坡(南坡)多为以线叶蒿草、小嵩草、羊茅等植物为主的植被类型。在滩地多以矮嵩草、垂穗披碱草等植物为主的植被类型, 土壤深度较高的局部地区还生长发育着金露梅灌丛草甸。而在土壤湿度高的阴坡(北坡), 则以金露梅灌丛草甸为主的植被类型。在湿度更高的沼泽地, 植被类型则以藏嵩草、华扁穗草、镰草等为主的植被类型。

参考文献:

- [1] 康绍忠. 土壤水分动态的随机模拟研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 17~24.
- [2] 朱自玺, 牛现群, 侯建新. 冬小麦水分动态分析和干旱预报[J]. 气象学报, 1988, 46(2): 20~209.
- [3] 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, 1994, 15(3): 334~341.
- [4] 李绍良. 栗钙土的水分状况与牧草生长[A]. 见: 草原生态系统(第2集)[C]. 北京: 科学出版社, 1988, 10~19.
- [5] 鲍新奎, 李英年, 曹广民. 寒毡土(亚高山草甸土)湿度的时空动态及其应用[A]. 见: 高寒草甸生态系统(第4集)[C]. 北京: 科学出版社, 1995, 19~26.
- [6] 李英年. 高寒草甸地区土壤水分动态的模拟研究[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 77~83.
- [7] 李英年. 海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. 资源环境网络研究动态, 1998, 9(3): 30~33.
- [8] 李英年, 张景华. 祁连山海北冬春气温变化对草地生产力的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 443~446.

The Cooresponding Analysis between Soil Moisture and Main Vegetation Types of the Mat-Crylic Cambisols at Different Topographic Position in Haibei Area

LI Ying-nian, SHEN Zhie-nxi and ZHOU Hua-kun

(Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001 China)

Abstract: The soil moisture change of the Mat-Crylic Cambisols at different topographic position was analysed. We can conclude that soil moisture is high, and it is north slope-land > valley plain > south slope-land at the depth of 0~6 cm. The change of soil moisture is divided as four periods which are water consuming period in spring, water supply period in the beginning of rainy season, water fluctuation consuming period, frozen water steady sinking period in winter, respectively. The soil moisture is gradually decreased from topground to bottom ground, which is showed the most significant at north slope-land, and the soil moisture decrease is even at south slope-land or valley plain. Soil moisture with the change of season is divided an periodic part, random part, and trending part.

Key words: the Mat-Crylic Cambisols; different topographic position; soil moisture; vegetation type