

气象因子对祁连山北坡天然草地土壤水分动态变化的影响

黄德青^{1,2}, 于 兰³, 张耀生^{1*}, 赵新全¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所/高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001;

2. 桂林师范高等专科学校化工系, 广西 桂林 541002; 3. 桂林医学院基础医学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 利用 2004 年祁连山北坡五类天然草地生长季的土壤水分数据和同期的气象资料, 以回归和相关分析的方法分析了气象因子对五类天然草地土壤水分动态变化的影响。结果表明: (1) 土壤水分的动态主要受降水量及其季节分配的影响, 并建立了降水量对土壤含水量的回归方程; (2) 利用 ASCE-PM 模型计算了五类草地群落的潜在蒸散量, 潜在蒸散量对 0~20 cm 土层水分含量影响显著 ($P < 0.05$), 而愈向土壤深层, 影响愈不明显; (3) 土壤含水量对气温、土壤温度、相对湿度和近地面风速的响应由土壤表层至深层均呈递减趋势。

关键词: 气象因子; 天然草地; 潜在蒸散量; 土壤含水量; 祁连山

中图分类号: S168 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2011)03-0233-07

1966 年澳大利亚学者 Philip J R 首先提出 SPAC 概念^[1], 他将土壤—植物—大气看成是一个连续变化和运动着的水流系统, 土壤水分状况是这个系统中众多因子相互影响的结果。可以说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^[2]。其中, 土壤水分变化与气象因子之间的关系密切而复杂。国内外研究指出^[3~5], 气象因子对山地土壤水分变化经常起着决定性作用^[6], 降水几乎是山地土壤水分的唯一来源, 气温和太阳辐射对土壤水分消耗的主要方式——蒸散有着非常重要的影响。此外, 空气湿度、风速等因素也有一定作用。

目前对干旱半干旱区土壤水分研究报道较多^[2,5~10], 对于祁连山区植被土壤水分的动态研究, 目前报道主要集中在林区^[11~13], 而气象因子对天然草地土壤水分动态的相关研究甚少^[14]。为此, 本文采用祁连山北坡五类天然草地 2004 年生长季的土壤水分资料与同期气象资料按不同草地类型进行了分析, 为深入了解祁连山区天然草地土壤水分状况以及该区退化植被的恢复与生态环境综合治理打下基础。

1 试验区概况

试验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 7°28' ~ 39°49' 之间, 属大陆性

高寒半干旱气候。本研究以占肃南县草地总面积的 63.2% 的五种主要的天然草地类型, 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研究对象, 在各草地类型设立相应观测点, 各草地类型立地条件的基本概况和群落主要植物分别见表 1 和表 2。

2 研究方法

2.1 土壤水分测定及计算

在设置样地内, 于 2004 年 4~10 月下旬每月测定一次, 采用土钻法分层取样, 取样深度为 120 cm, 各层分别为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 和 100~120 cm, 共 7 个层次, 每层重复取样 5 次, 然后用烘干法 (105 °C) 烘干称重, 取其平均值为该层的土壤水分含量。土壤含水量的计算公式为:

$$\text{土壤含水量}(\%) = \frac{\text{土壤湿重} - \text{土壤干重}}{\text{土壤干重}} \times 100\% \quad (1)$$

2.2 气象要素的观测及计算

在定位实验区设立小型自动气象站和降水量观测点, 按照地面气象观测规范的要求和试验研究的需要进行各气象要素的观测。观测时间为 2003~2005 年, 观测步长为 30 min, 观测指标有土壤温湿度、空气温湿度、气压、太阳辐射、风速等, 观测方法是小气候自动观测系统自动记录。获取 2004 年的观测数据, 取其平均值用于数据分析。

收稿日期: 2011-01-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2009BAC61B03-1, 2006BAC01A02); 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2XB20601); 中国科学院知识创新工程重大项目 (kzcx1-09-01); 中国科学院西北高原生物研究所知识创新重点研究领域项目 (cjc020144)

作者简介: 黄德青 (1980-), 男, 山东定陶人, 讲师, 从事植物系统进化和生态适应性的研究。E-mail: huangdeqing2008@163.com。

✉ 通讯作者: 张耀生, E-mail: zys@nwipb.ac.cn. Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 5 个观测点的基本概况

Table 1 General condition of five observation sites

草地类型 Grassland type	试验区 Experimental area	海拔(m) Altitude	土壤类型 Soil type	年均降水量(mm) Precipitation	年均气温(°C) Temperature
高寒草原 Alpine steppe	天生圈 Tianshengquan	3445	高山草原土 Alpine steppe soil	252.2	-3.1
山地草甸 Mountain meadow	灰沟梁 Huigouliang	3134	亚高山灌丛草甸土 Subalpine shrubby meadow soil	300~500	0~-5.4
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	牛心墩 Niuxindun	2950	山地暗栗钙土 Mountain dark chestnut soil	370~450	0
山地草原 Mountain steppe	马场滩 Machangtan	2785	山地栗钙土 Mountain chestnut soil	260~491	0.2~2.1
山地荒漠草原 Mountain desert grassland	珠龙关 Zhulongguan	2861	山地棕钙土 Mountain brown calcic soil	253.7	≥3.6

注: 年均降水量和年均气温引自《甘肃省肃南裕固族自治县牧业区划报告汇编》。

Note: Annual average precipitation and temperature were quoted from assembly report of animal husbandry divisions in Sunan Yugur Autonomous County of Gansu Province.

表 2 观测区主要草地群落类型及其组成

Table 2 Main grassland types and constitutes of the observation sites

草地类型 Grassland type	群落主要植物 Community predominant vegetation
高寒草原 Alpine steppe	紫花针茅(<i>Stipa purpurea</i>)、异针茅(<i>Stipa aliena</i>)、苔草(<i>Carex spp.</i>)、早熟禾(<i>Poa annua</i>)、芨芨草(<i>Achnatherum splendens</i>)、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)、垂穗披碱草(<i>Elymus nutans</i>)等
山地草甸 Mountain meadow	金露梅(<i>Dasiphora fruticosa</i>)、线叶蒿草(<i>Kobresia capillifolia</i>)、黑褐穗苔草(<i>Carex atrifusca</i> subst. <i>minor</i>)、二裂委陵菜、珠芽蓼(<i>Polygonum viviparum</i>)、直梗唐松草(<i>Thalictrum przewalskii</i>)、紫花地丁(<i>Viola yeloensis</i>)、紫菀(<i>Aster tataricus</i>)、风毛菊(<i>Saussurea japonica</i>)、火绒草(<i>Leontopodium leontopodioides</i>)等
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	大针茅(<i>Stipa grandis</i>)、赖草(<i>Aneurolepidium dasystachys</i>)、垂穗披碱草、早熟禾、扁穗冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)、狼毒(<i>Stellera chamaejasme</i>)、长柱灯心草(<i>Juncus przewalskii</i>)、乳白香青(<i>Anaphalis lactea</i>)、醉马草(<i>Achnatherum inebrians</i>)等
山地草原 Mountain steppe	西北针茅(<i>Stipa sarettana</i> var. <i>krylovii</i>)、短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)、多茎委陵菜(<i>Potentilla multicaulis</i>)、扁穗冰草、野决明(<i>Thermopsis lanceolata</i>)、紫菀、早熟禾、天山鸢尾(<i>Iris loczyi</i>)、赖草、碱韭(<i>Allium polyrhizum</i>)等
山地荒漠草原 Mountain desert grassland	驴驹蒿(<i>Artemisia dalaï-lamae</i>)、新麦草(<i>Pseudostachys Kronenburgii</i>)、芨芨草、赖草、松叶猪毛菜(<i>Salsola laricifolia</i>)等

降水量观测采用气象站用常规雨量筒测定。

本文选取标准化、统一化后 FAO 推荐的 P-M 公式^[14]来计算祁连山北坡五类天然草地生长季的潜在潜在蒸散量:

$$LE = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \frac{C_n \times \gamma \times U_s \times (e_s - e_a)}{(T + 273)}}{\Delta + \gamma(1 + C_d \times U_s)} \quad (2)$$

式中, L 为汽化潜热 (MJ/kg); E 为潜在蒸散量 (mm/h); Δ 为饱和水汽压曲线对温度的斜率 (kPa/°C); R_n 为净辐射 [MJ/(m²·h)]; G 为地热通量 [MJ/(m²·h)]; γ 为干湿表常数 (kPa/°C); C_n 和 C_d 分别是以 1 h 和 1 d 为步长的彭曼公式设置常数; U_s 为风速 (m/s); e_s 、 e_a 分别饱和水汽压和实际水汽压。

2.3 数据分析与处理

用 Microsoft Excel 2003 程序作图; 利用 SPSS 11.5 对影响土壤水分动态的各气象因子分别作回归和相关分析; 潜在蒸散量的计算通过 SAS8.1 统计软件进行。

3 结果与分析

3.1 降水

试验区 2004 年生长季降水量季节分配情况见表 3。方差分析显示, 不同草地类型间的降水量无显著差异 ($P = 0.205 > 0.001$); 而同一草地类型不同季节间的降水量差异性显著 ($P = 0.000 < 0.001$), 说明降水量季节分配极不均匀, 各草地类型降水的相对变率是春秋季节变率大, 夏季变率较小。需要说明的是, 本文中的“显著差异”是指在 0.05 水平上的显著差异, “极显著”指在 0.01 水平上的显著。

表 3 5 个试验区 2004 年生长季降雨量(mm)及其季节分配

Table 3 Precipitation during growing season and its location in 2004 of five experimental areas

草地类型 Grassland type	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	总计 Total
高寒草原 Alpine steppe	2.9	31.66	31.44	75.6	45.8	19.4	6.5	213.3
山地草甸 Mountain meadow	—	—	52.4	95.7	74.0	40.8	12.8	275.7
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	8.8	54.7	34.8	86.1	56.3	28.4	4.2	273.3
山地草原 Mountain steppe	6.1	51.5	22.9	81.2	35.0	24.4	3.8	224.9
山地荒漠草原 Mountain desert grassland	2.11	24.5	23.0	41.2	29.2	7.0	2.5	129.5

回归分析表明(表 4), 各天然草地生长季土壤含水量与降水量呈高度线性相关, 即土壤含水量随着降水量的多少而增减, 且两者的相关程度均达极

显著水平, 说明生长季的降水量及其分配是决定当年生长季不同类型草地土壤水分变化趋势的主要因素, 因此可以用生长季的降水量来预测土壤含水量。

表 4 土壤含水量与降水量的回归方程

Table 4 Regression equation of soil water content and precipitation

草地类型 Grassland type	回归方程 Regression equation	相关系数 R Correlation coefficient	估计标准误 Standard error of estimate
高寒草原 Alpine steppe	$y = 0.1197x + 9.0837$	0.9547*	1.02
山地草甸 Mountain meadow	$y = 0.0996x + 34.583$	0.9156*	1.59
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$y = 0.0768x + 14.056$	0.9126*	1.09
山地草原 Mountain steppe	$y = 0.0492x + 10.316$	0.8990*	0.71
山地荒漠草原 Mountain desert grassland	$y = 0.0849x + 4.7037$	0.9119*	0.63

注: y 为土壤含水量, x 为降水量, * $P < 0.01$ 。

Note: y, Soil moisture content; x, Precipitation; * $P < 0.01$.

3.2 潜在蒸散量

利用 ASCE-PM 模型计算了五类草地群落的潜在蒸散量, 结果表明山地荒漠草原最大, 平均为 7.9453 mm/d, 而高寒草原最小, 平均为 6.0924 mm/d, 山地草甸、山地草甸草原和山地草原居中, 这主要与影响蒸散的全类型草地的主导气象因子差异有关。

相关分析表明, 五类类型草地生长季潜在蒸散量对土壤表层 0~10 cm 的土壤含水量影响最大(表 5), 潜在蒸散量与该层土壤含水量显著相关 ($P < 0.05$), 主要因为土壤表层是土壤-植被-大气系统的临界面, 蒸散最初是从表层土壤开始的缘故; 其次是蒸散对 10~20 cm 土层的土壤含水量影响也达显著水平(除山地草甸外), 这是由于 0~20 cm 的土层是大量根系集中分布的主要层次, 植物根系吸水以及植物生长发育的利用所造成的。另外, 潜在蒸散量对 20~40 cm 及以下土层含水量的影响不显著 ($P > 0.05$), 即蒸散对深层土壤水分的影响较小, 因

为表层土壤及植被限制了深层土壤水分的蒸散发, 减缓了深层土壤水分蒸散的过程, 因此可以确定蒸散对土壤水分影响表现出愈向土壤深层, 影响愈小。

3.3 气温

2004 年生长季五类天然草地气温的季节变化动态见图 1。观测结果表明, 五类类型草地气温均在 8 月上旬达到生长季的峰值, 其中山地荒漠草原平均最高, 其他依次为山地草原、山地草甸草原、山地草甸和高寒草原。随着生长季气温的回升和降水的增多, 土壤水分含量也逐渐增大, 但气温和土壤含水量的关系不是简单线性相关, 比如在 6 月份, 各天然草地大气温度持续升高, 蒸散增大, 而由于此期降水较少, 土壤含水量支出大于收入水平, 致使土壤含水量呈下降趋势。分析还表明, 在 7 月上旬到 8 月下旬日平均气温高于 10℃ 这段时间内, 土壤含水量随时间的推移而逐步降低, 表现在气温越高, 土壤含水量降低的速率越大, 但是 7 月份气温在五类草地群落中平均比 8 月份要高 1.03℃~2.04℃, 而 7 月

份土壤含水量在五类草地群落中却比 8 月份平均高 0.87% ~ 3.72%，这是由于 7、8 月份是五类草地群落降水较为集中的时段，土壤含水量虽然受到气温的影响，但也远没有超越降水对土壤内水分的补充

作用，所以五类草地群落土壤含水量未表现出降低的趋势，由此也可以说明降水对土壤水分的补给作用要远远大于气温对土壤水分动态的影响。

表 5 潜在蒸散量与土壤含水量的关系模拟

Table 5 Relation simulation of potential evapotranspiration and soil water content

土层 (m) Soil layer	草地类型 Grassland type	拟合曲线 Fitted curve	R^2 相关系数 Correlation coefficient	R 相关系数 Correlation coefficient	标准误差 Standard error
0~ 10	高寒草原 Alpine steppe	$y = 2.7616x - 2.2296$	0.6412	0.8007*	0.92
	山地草甸 Mountain meadow	$y = 2.8506x + 33.251$	0.5974	0.7729*	1.33
	山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$y = 2.8589x - 0.4516$	0.5875	0.7665*	1.07
	山地草原 Mountain steppe	$y = 2.12x - 2.6337$	0.6020	0.7759*	0.77
	山地荒漠草原 Mount air desert grassland	$y = 1.7786x - 8.123$	0.6436	0.8022*	0.59
10~ 20	高寒草原 Alpine steppe	$y = 1.8943x + 2.2743$	0.6213	0.7882*	0.66
	山地草甸 Mountain meadow	$y = 1.0764x + 42.849$	0.4063	0.6374	0.75
	山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$y = 1.4221x + 8.7459$	0.5751	0.7584*	0.54
	山地草原 Mountain steppe	$y = 1.1298x + 4.176$	0.5943	0.7709*	0.42
	山地荒漠草原 Mount air desert grassland	$y = 0.8557x + 0.3938$	0.6024	0.7762*	0.31
20~ 40	高寒草原 Alpine steppe	$y = 1.0391x + 6.5472$	0.4401	0.6634	0.52
	山地草甸 Mountain meadow	$y = 2.3412x + 28.446$	0.5552	0.7451	1.21
	山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$y = 1.5673x + 8.5211$	0.5207	0.7216	0.67
	山地草原 Mountain steppe	$y = 0.489x + 8.3036$	0.4617	0.6795	0.23
	山地荒漠草原 Mount air desert grassland	$y = 0.4053x + 3.6927$	0.3260	0.5710	1.05
40~ 60	高寒草原 Alpine steppe	$y = 0.2685x + 8.9588$	0.1087	0.3297	1.36
	山地草甸 Mountain meadow	$y = 0.3959x + 35.7$	0.2098	0.4580	2.05
	山地草甸草原 Mountain meadow steppe	$y = 1.5399x + 7.5797$	0.5954	0.7684	1.77
	山地草原 Mountain steppe	$y = 0.4901x + 9.2318$	0.3889	0.6236	1.1
	山地荒漠草原 Mount air desert grassland	$y = 0.0968x + 4.6631$	0.0431	0.2076	0.83

注: y 为土壤含水量, x 为潜在蒸散量, * $P < 0.05$ 。

Note: y , Soil moisture content; x , Potential evapotranspiration; * $P < 0.05$.

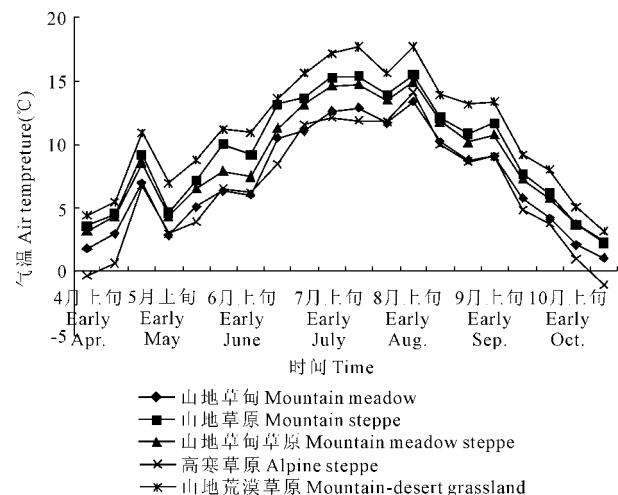


图 1 不同类型草地生长季气温变化

Fig. 1 Air temperature change of different types of grassland in the growing season

相关分析表明,气温对不同类型草地各层土壤含水量的影响从土壤表层向深层呈递减趋势。其中在 0~ 40 cm 土层内,五类草地群落气温与土壤含水量的相关程度都在 79.4% 以上,而 40 cm 土层以下相关程度明显降低,均低于 55.9%,因此可以确定气温对土壤水分的影响主要限于 0~ 40 cm 的土壤表层部分,而气温对 40 cm 以下土层的含水量的影响不显著。

3.4 土壤温度

2004 年五类天然草地生长季土壤温度变化过程见图 2。各观测点土壤温度均在 8 月中旬达到年度最高值,其中山地荒漠草原土壤温度在五类草地群落中最高,平均为 10.6928 ± 0.8614 °C,山地草甸土壤温度最低,平均为 6.4233 ± 0.5107 °C。

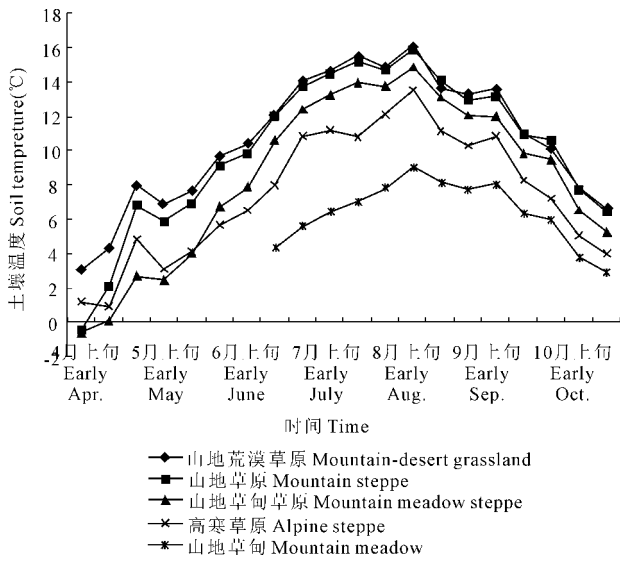


图 2 五种类型草地生长季土壤温度动态变化
Fig. 2 Dynamic change of soil temperature of five types of grassland in the growing season

相关分析表明, 土壤温度随土层深度加深而减小, 并且表层 0~ 20 cm 的土壤温度变化幅度较大, 而 40~ 60 cm 土层的土壤温度变化较为稳定。这说明在 0~ 60 cm 土层内, 土层之间的温度差别比较大, 而土层温差越大, 土壤水分传输速度就越快, 土壤蒸发速率也就越大。

3.5 相对湿度

2004 年生长季不同类型草地相对湿度变化动态曲线见图 3。其中, 五类天然草地相对湿度最大的是山地草甸, 为 $56.13 \pm 10.4296\%$, 其它依次为高寒草原 ($50.82 \pm 9.6118\%$)、山地草甸草原 ($49.5 \pm 10.009\%$)、山地草原 ($48.85 \pm 9.9376\%$)、山地荒漠

草原 ($41.8 \pm 10.7722\%$)。

由图 3 可知, 7 月中旬前后是相对湿度急剧变化的阶段, 7 月中旬以前, 气温回升较快, 但相对湿度变化较缓慢, 7 月下旬以后, 随着气温的逐渐降低, 相对湿度升高速率加快, 由此可知, 相对湿度的变化与气温变化是相反的。

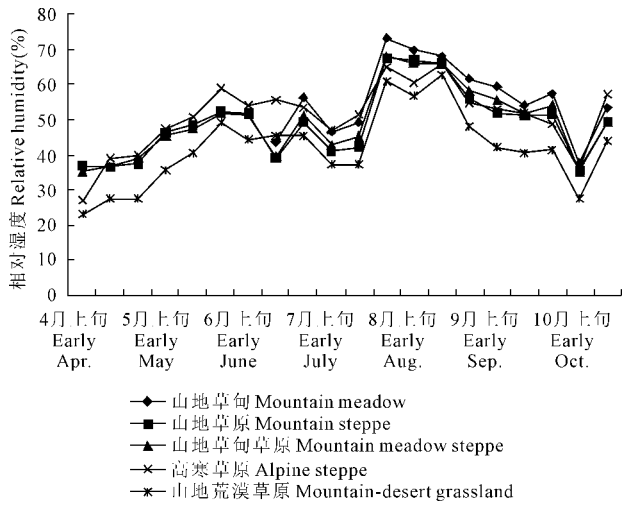


图 3 五种类型草地生长季空气湿度动态变化
Fig. 3 Dynamic change of air relative humidity of five types of grassland

相关分析表明(表 6), 在 0~ 20 cm 土层中, 相对湿度与土壤含水量的相关性由土壤表层至下层逐渐变差, 而相对湿度与 20~ 40 cm 土层含水量相关系数在高寒草原、山地草甸、山地草甸草原、山地草原和山地荒漠草原分别为 0.4661、0.354、0.3913、0.4423、0.4872。由此可知, 相对湿度对土壤含水量的影响主要在土壤表层。

表 6 相对湿度与土壤水分的相关关系
Table 6 Correlativity of relative humidity and soil water content

草地类型 Grassland type	土层深度(cm) Soil layer	相关关系 Correlativity	R ² 相关系数 Correlation coefficient	R 相关系数 Correlation coefficient
高寒草原 Alpine steppe	0~ 10	$y = 0.1904x^{1.0809}$	0.4560	0.6753
山地草甸 Mountain meadow	10~ 20	$y = 0.0296x^{1.595}$	0.4500	0.6708
山地草甸草原 Mountain meadow steppe	0~ 10	$y = 11.793x^{0.3889}$	0.4417	0.6646
山地草原 Mountain steppe	10~ 20	$y = 2.5632x^{0.745}$	0.4281	0.6543
山地荒漠草原 Mountain desert grassland	0~ 10	$y = 0.4765x^{0.9293}$	0.4312	0.6567
	10~ 20	$y = 2.8077x^{0.4868}$	0.3405	0.5835
	0~ 10	$y = 2.3626x^{0.4121}$	0.9967	0.9983
	10~ 20	$y = 1.1723x^{0.5129}$	0.6637	0.8147
	0~ 10	$y = 0.8152e^{0.044x}$	0.5411	0.7356
	10~ 20	$y = 3.6675e^{0.0155x}$	0.4191	0.6474

注: y 为土壤含水量, x 为相对湿度。

Note: y, Soil moisture content; x, Relative humidity.

从以上分析看出,虽然相对湿度并不能决定表层土壤含水量,但可以作为反映表层土壤含水量的指标。因此,在没有获得土壤水分资料的情况下,可以根据气象站完整的相对湿度记录来评价表层土壤水分状况。

3.6 风速

风能起到输送水热和二氧化碳的作用,是影响蒸散发的重要因素之一,所以在模拟计算土壤水分蒸散发时,风速是必须考虑的因素之一。特别是在干旱半干旱地区,平均风速较大,对蒸散发的影响尤为剧烈。

2004年五类天然草地风速的季节动态见图4。由图4可知,不同类型草地生长季风速的变化动态基本一致,表现为春季风速最大,夏季次之,秋季最小。其中,高寒草原平均风速最大,为 2.78 ± 0.4607 m/s,山地草甸风速最小,平均为 1.97 ± 0.3996 m/s。

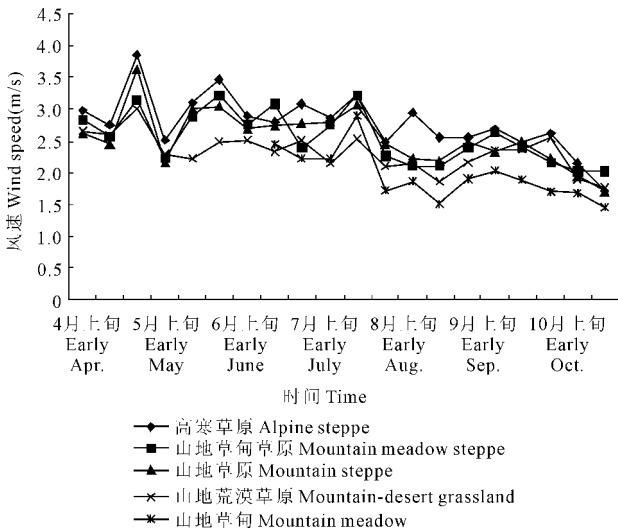


图4 不同类型草地生长季风速动态变化

Fig. 4 Dynamic change of wind speed of the different type grassland in growing season

相关分析表明,风速与土壤水分的蒸散发呈正相关关系,即风速越大,蒸散发也相应增大,反之亦然。这与康绍忠等^[1]的研究结论是基本一致的。分析还表明风速对各层土壤水分的影响从土壤表层向下呈递减趋势,比如高寒草原,风速与0~10、10~20、20~40 cm 土层土壤水分的相关系数分别为0.3508、0.2761、0.2106,而风速与0~60 cm 土层含水量的相关系数仅为0.0934,其它类型草地风速与不同土层含水量的相关性均表现出了与高寒草原一致的变化规律,即风速对土壤水分的影响主要限于土壤表层和较浅层,到40 cm 以下时,风速的影响几乎可以忽略不计。

4 讨论

在干旱半干旱区降水对土壤水分动态有着强烈的影响^[15,16]。本研究表明,生长季的降水量及其时间分配是决定祁连山北坡五类草地土壤水分动态变化的主要因素,因此可以根据降水量来预测各类型草地的土壤含水量。另外,降水对土壤水分的影响是一个复杂的过程,既与降水量有关,还与降水强度和降水历时长短等诸多因素有关^[2]。

土壤水分蒸散是土壤—植被—大气系统水分交换的主要方式,在描述它们的相互作用的关系时,降水入渗不仅依赖于随机的降水事件,而且受制于土壤水分状况^[17,18];同时,不同植被类型的土壤具有不同的水分平衡关系,土壤湿度依赖于植被类型和土壤特性,但反过来是决定不同植被蒸散量的关键因素^[19]。本研究中,山地荒漠草原和高寒草原潜在蒸散量与0~20 cm 土壤含水量的相关程度较其它三类天然草地要高,主要由于它们的植被盖度较其它三类天然草地植被盖度低的缘故,比如,在山地荒漠草原,植被盖度低于15%,而山地草甸平均盖度高达95%。由此得出,植被盖度越高的草地类型,潜在蒸散量与土壤含水量的相关性越低,即盖度愈高,潜在蒸散量对土壤含水量的影响愈小,盖度愈低,潜在蒸散量对土壤含水量的影响愈大。这与王根绪等^[20]对高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环的影响的研究结论是一致的。

研究表明^[21,22],温度明显影响土壤水的蒸发性能。在祁连山北坡,由于气温的日变化和季节变化较大,对土壤水分状况的影响更为显著。在平均气温高于10℃时,土壤含水量随时间推移而逐步降低,表现为气温越高,土壤含水量降低的速率越大。

土壤温度的变化直接影响土壤中水分的保持和运动,对土壤中许多物理过程都起一定的作用,土壤剖面特别是土壤表层的温度变化可影响土壤水分的保持和转换,特别是在干旱半干旱地区,这种影响更为显著^[23],因为这些地区的表层土壤每天的、季节的温度变化极为强烈。本研究显示,祁连山北坡五类天然草地土壤表层0~20 cm 的土壤温度变化幅度较大,而40~60 cm 土层的土壤温度较为稳定,表明土壤温度随土层深度加深而减小,且土层之间的温度差别比较大,而土层温差越大,土壤水分传输速度就越快,土壤蒸发速率也就越大。

土壤水分蒸发量的大小还与近地面层的空气湿度有关。董治宝等^[24]在土壤水分抗风蚀性的研究中认为土壤含水率与空气湿度的相关性由土壤表层

至下层渐差, 本研究也表明, 相对湿度与土壤含水量的相关性由土壤表层至下层逐渐变差, 影响主要限于0~20 cm的土壤表层。

参考文献:

- [1] 康绍忠, 刘晓明, 高新科, 等. 土壤-植物-大气连续体水分传输的计算机模拟[J]. 水利学报, 1992, (3): 1-12.
- [2] 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.
- [3] Bhaskar Choudhury. Simulating the effects of weather variables and soil water potential on a corn canopy temperature[J]. Agricultural Meteorology, 1983, 29(3): 169-183.
- [4] 鹿洁忠, 曾希全, 万明清. 河北省曲周土壤水分变化及其预报方法[J]. 水文, 1987, (4): 10-15.
- [5] 李德广, 赵同应, 马锡彬, 等. 旱地土壤水的特征阶段、垂直类型与土壤水分预报[J]. 农业气象, 1987, (4): 41-45.
- [6] 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.
- [7] Singh 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.
- [8] Coronato F R, Bertiller M B. Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semi arid rangelands of Patagonia[J]. Journal of Arid Environments, 1996, 34: 1-9.
- [9] 王力, 邵明安, 侯立春. 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] Allen R G, Smith M, Perrier A. An update for the calculation of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994, 43(2): 35-92.
- [15] Coronato F R, Bertiller M B. Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semiarid range lands of Patagonia[J]. Journal of Arid Environments, 1996, 34: 1-9.
- [16] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.
- [17] Dawson T E. Hydraulic lift and water parasitism by plants: implications for water balance, performance, and plant-plant interaction[J]. Oecologia, 1993, 95: 565-574.
- [18] Zhang L, Dawas W R, Reece P H. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale[J]. Water Resour Res, 2001, 37(3): 701-708.
- [19] Rodriguez Iturbe I. Ecohydrology: A hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics[J]. Water Resour Res, 2000, 36(1): 3-9.
- [20] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653-659.
- [21] Hopmans J W, Dane J H. Temperature dependence of soil water retention curves[J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50: 562-567.
- [22] 张富仓, 张一平, 张君常. 温度对土壤水分保持影响的研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 160-169.
- [23] 蔡树英, 张瑜芳. 温度影响下土壤水分蒸发的数值分析[J]. 水利学报, 1991, (11): 1-8.
- [24] 董治宝, 李振山. 六道沟流域土壤水分抗风蚀性分析[J]. 中国沙漠, 1996, 16(3): 275-280.

Influence of meteorological factors on the dynamic changes of soil moisture of natural grassland in the northern slopes of the Mountains Qilian

HUANG De qing^{1,2}, YU Lan³, ZHANG Yaosheng^{1*}, ZHAO Xiruan¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Xining, Qinghai 810001, China; 2. Department of Chemistry and Technology, Guilin Normal College, Guilin, Guangxi 541002, China; 3. School of Basic Medicine Science, Guilin Medical College, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: We conducted a field study by regression and correlation analysis to examine the relationships between soil moisture and meteorological factors for five kinds of grassland in the northern slopes of the Mountains Qilian; and soil moisture was collected from the study site along with synchronous meteorological data in 2004 for analysis. The results showed that (1) Dynamic change of soil moisture was determined by precipitation and its seasonal distribution, and regression equation between precipitation and soil moisture were set up. (2) The potential evapotranspiration of five types of grassland was analysed based on ASCE-PM model. The relationship between potential evapotranspiration and soil moisture in 0~20 cm soil layer was significant ($P < 0.05$). But there was no correlation between potential evapotranspiration and other soil layers. (3) Air temperature, soil temperature, relative humidity and near ground wind speed exert an influence on soil moisture, and the responses of soil moisture to these factors were descending along the soil layer depth.

Keywords: meteorological factor; natural grassland; potential evapotranspiration; soil moisture content; Mountains Qilian