

文章编号: 1008-2786-(2016)2-142-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000111

祁连山大野口流域土壤温度空间变化特征

敬文茂¹ 牛 赟^{1 2 3} 刘贤德^{1 2*} 李 新³ 吕一河⁴

(1. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院 甘肃省森林生态与冻土水文水资源重点实验室, 甘肃 张掖 734000;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

3. 甘肃张掖生态科学研究院 甘肃省祁连山生态科技创新服务平台, 甘肃 张掖 734000;

4. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要: 选择祁连山大野口为试验流域, 研究土壤温度在海拔、坡向、坡度、深度等空间的变化特征。结果表明: 1. 土壤温度随海拔升高呈波动性降低, 降低率约为 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$; 2. 阳坡土壤温度比半阳坡高 1.3 倍、比半阴坡高 2.2 倍, 半阳坡土壤温度比半阴坡高 1.6 倍; 3. 土壤温度随坡度增大而略呈降低趋势; 4. 土壤温度与深度关系为 $S_{dt} = -0.0536d + 9.192$ ($R^2 = 0.994$), 温度随深度降低率约为 $0.536\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ cm})$, 呈线性函数关系; 5. 亚高山灌丛林比乔木林土壤温度低 1.6 倍、比草地低 2.3 倍, 乔木林土壤温度比草地低 1.4 倍; 6. 从土壤温度的变化程度分析, 高海拔半阴坡灌丛林土壤温度变化最剧烈, 低海拔阳坡草地土壤温度变化较小; 在 $0\sim 80\text{ cm}$ 土层范围内, 表层土壤温度变化最剧烈, $40\sim 60\text{ cm}$ 土层的温度变化最小。研究可为流域水源涵养功能、水资源管理及利用、林分结构调控及土壤水资源植被承载力等研究提供基础数据和参考资料。

关键词: 土壤温度; 空间变化; 祁连山大野口流域

中图分类号: S152.8

文献标志码: A

在同一个流域内, 不同海拔、坡度、坡向、土壤深度, 其水源涵养功能不同。在研究流域水源涵养功能的过程中, 土壤温度是一个极其重要的因子, 其不仅影响着有机质和氮素积累、磷素供应、钾素容重和强度, 以及生物化学过程, 也影响着水分的汽、液、固 (冰川、积雪、冻土) 等形态以及降水在土壤中的入渗、产流等。有关土壤温度空间变化的研究国内外已开展了一些工作, 一是利用气象站多年观测数据建立土壤温度与气温、降水等气象因子的回归模

型^[1-2]; 二是通过分析土壤温度与经纬度、海拔等环境因子相关关系, 建立多元回归方程对土壤温度空间分布进行预测^[3-4]; 三是利用 GIS 地统计学和空间地理分析技术, 结合气象站观测资料和遥感数据研究土壤温度空间分布^[5]。这些相关研究的土壤温度数据均需要在试验现场即时监测获得, 是一项对仪器依赖较强的监测指标。由于监测仪器的短缺, 在土壤温度与冻土冻融^[6]、土壤呼吸^[7]、土壤蒸发^[8]、气象因子^[9-10]、植被分布^[11-12]等关系研究

收稿日期(Received date): 2015-09-11; 改回日期(Accepted): 2016-01-02。

基金项目(Foundation item): 由国家自然科学基金项目《祁连山大野口流域水源涵养功能生态水文关系分析》(41461004)、甘肃省基础研究创新群体《祁连山土壤水源涵养功能与森林分布变化响应关系》(145RJG337)、甘肃省科技创新服务平台《甘肃省祁连山生态科技创新服务平台》(144JTCG254) 联合资助。[United fund by National Natural Science Fund Project "Analysis eco-hydrological relationship of function of conservation water in Dayekou basin of Qilian Mountains (41461004)" and Gansu Province Groups of Basic Research Innovation "The response relationship between soil water conservation function and forest distribution change in Qilian Mountains (145RJG337)" and Gansu Province Science and Technology Innovation Service Platform "Science and technology innovation service platform of Ecology in Qilian Mountains (144JTCG254)".]

作者简介(Biography): 敬文茂(1979-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 主要从事森林生态水文学方面的研究。[Jing Wenmao(1979-), male, Gansu Lanzhou person, doctorate, mainly engaged in study of forest ecological hydrology.] E-mail: niuyun2028@163.com, Tel: 13649361345

* 通信作者(Corresponding author): 刘贤德(1963-), 男, 甘肃金塔人, 博士生导师, 研究员, 主要从事森林生态和保护方面的研究。[Liu Xiande (1963-), male, Gansu Jinta person, doctoral tutor, Professor, mainly engaged in research on forest ecology and protection.]

中,只是在某个点上监测土壤温度,而没有考虑土壤温度的空间变化特征。本文将以整个流域内分不同海拔、坡度、坡向布置监测仪器获取数据,通过土壤温度的空间变化特征分析,进一步解析流域的林分结构以及其水源涵养功能机理,为流域生态水文学提供科学依据和参考。

1 研究区概况

祁连山生态区位十分重要,土壤水热状况是该区域极其重要的两个生态因子。大野口流域($38^{\circ}16' \sim 38^{\circ}33'N$, $100^{\circ}13' \sim 100^{\circ}16'E$)属于祁连山中山气候带,东至马鬃梁、西至西沟梁、北邻正南沟、南含排露沟,发源于甘肃省肃南县境内的野牛山,主要有东岔、西岔、头滩沟、西沟梁、观台沟和深沟6条较大支流汇集于大野口水库,面积约 80 km^2 ,控制了流域98%的集水区,是典型的闭合流域(图1)。由于流域内海拔变化区间较大,水热条件有较大差异,形成了垂直梯度和水平差异的植被和土壤类型。海拔由低到高,植被类型依次为山地荒漠植被、山地草原植被、山地森林草原植被、亚高山草甸植被、高山冰雪植被;土壤类型依次为山地灰钙土、山地栗钙土、山地灰褐土、亚高山灌丛草甸土、高山寒漠土。在各类土壤中山地灰褐土和亚高山灌丛草甸土是生长森林的土壤,分别分布在海拔 $2400 \sim 3300 \text{ m}$ 和 $3300 \sim 4000 \text{ m}$ 的区域。建群种青海云杉(*Picea crassifolia*)呈斑块状或条状分布在试验区海拔 $2400 \sim 3300 \text{ m}$ 阴坡和半阴坡地带,与阳坡草地交错分布,祁连圆柏(*Sibina przewalskii*)呈小块状分布于阳坡、半阳坡,灌木优势种有金露梅(*Potentilla fruticosa* Linn)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata* (Pall.) Poir)、吉拉柳(*Salix gilashanica* C. Wang et P. Y. Fu)等,草本主要有珠芽蓼(*Polygonum viviparum*-Linn.)、黑穗苔(*Carex heterostachya* Bge.)和针茅(*Stipa capillata* Linn.)等。该流域的闭合性、土壤和植被在空间变化的典型性,是研究流域生态水文过程的理想试验区,而土壤温度又是极其重要的生态因子之一。

2 研究方法

2.1 样地布设及仪器安装

2013年6月,根据流域海拔、坡向和植被类型

的不同和代表性,设置9块样地(表1)。每块样地内根据乔、灌、草根系的分布区域在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 、 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 、 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 、 $60 \sim 80 \text{ cm}$ 深度的土层中分别布设1个探头(U30-NRC,产品序列号为:10673689),设置每5 min取一个数据,共取得5000多个数据。为了方便研究,采用 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 分别标记 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 、 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 、 $40 \sim 60 \text{ cm}$ 、 $60 \sim 80 \text{ cm}$ 深度的土层温度,采用 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 、 T_6 、 T_7 、 T_8 、 T_9 分别标注海拔为 2745 m 、 2800 m 、 2900 m 、 2923 m 、 2946 m 、 3100 m 、 3300 m 、 3300 m 、 3500 m 的样地。

2.2 数据采集与处理

1. 每年的10月土壤冻结之前,将仪器中的数据以Excel格式导出,因6月和10月数据不是全月的,予以剔除。

2. 特征值参数算法

用以下公式计算土壤温度平均值 μ 、标准差 σ 、变异系数 C_v

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

式中 x_i 为土壤温度实测值, N 为统计数。本文中平均值采用“ $\mu \pm \sigma$ ”的方式表示(计算结果如表2所示),变异系数 C_v 计算结果如表3所示。

3. 土壤温度回归模型分析

对每年7—9月土壤温度 S_i ($^{\circ}\text{C}$) 与相关的海拔 a (m)、坡度 s ($^{\circ}$)、土壤深度 d (cm) 建立数学模型。在建立的回归模型中,为了区别土壤温度 S_i 与它们的关系,再次填加下标,如与相关的海拔 a (m) 的拟合关系中,以 S_{at} 标记。

3 结果与分析

3.1 土壤温度海拔变化特征

从表1、表2可以看出,在生长季节的7—9月, $T_1 \sim T_9$ 的各层土壤平均温度为 $8.19 \pm 1.46 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10.75 \pm 1.68 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8.07 \pm 1.48 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $6.09 \pm 1.13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12.6 \pm 1.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5.57 \pm 1.79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5.89 \pm 1.65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4.38 \pm 1.46 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $4.8 \pm 1.80 \text{ }^{\circ}\text{C}$,再次平均为 $7.37 \pm 1.58 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。土壤各层温度平均值 S_{at} (单位: $^{\circ}\text{C}$) 与流域海拔 a 间的拟合关系为 $S_{at} = -0.0074a + 29.934$ (相

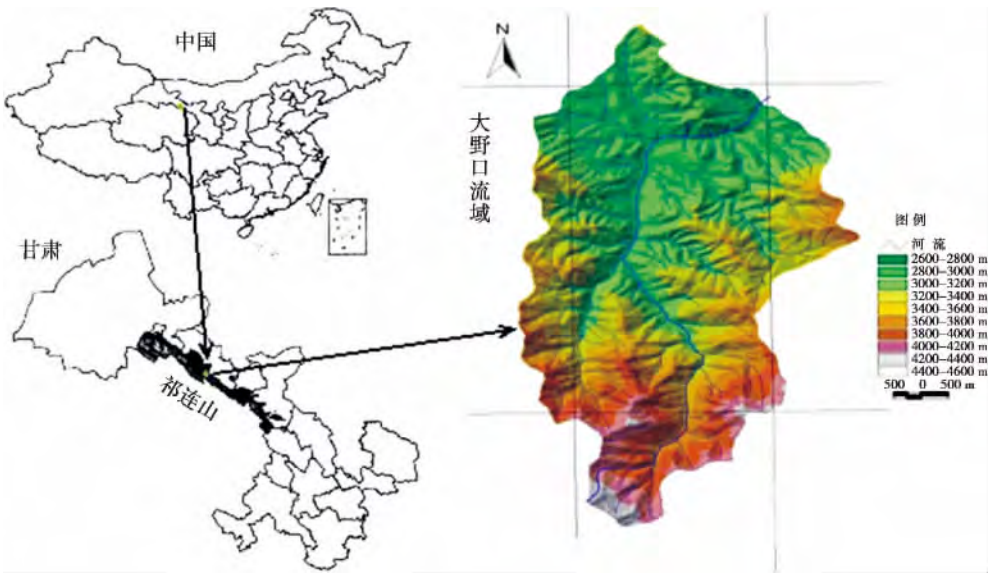


图 1 祁连山大野口流域位置示意图
Fig. 1 Position sketch map of Dayekou basin of Qilian Mountains

表 1 样地编号及其基本情况
Tab. 1 Sample number and its basic situation

样地号	海拔/m	GPS - E	GPS - N	样地/m ²	植被类型	坡向	坡度/°	郁闭度
T ₁	2 745	100°17'06"	38°33'27"	20 × 20	藓类云杉林	半阴坡	25	0. 69
T ₂	2 800	100°17'37"	38°33'05"	20 × 20	草地	半阳坡	18	0. 70
T ₃	2 900	100°18'02. 7"	38°32'40. 8"	20 × 20	灌丛	半阳坡	12	0. 50
T ₄	2 923	100°18'06"	38°32'42"	20 × 20	草类云杉	半阴坡	33	0. 83
T ₅	2 946	100°17'59"	38°32'47"	20 × 20	草地	阳坡	30	0. 50
T ₆	3 100	100°18'13"	38°32'31"	20 × 20	灌丛云杉林	半阴坡	20	0. 70
T ₇	3 300	100°18'16"	38°32'20"	20 × 20	灌丛云杉林	半阴坡	34	0. 35
T ₈	3 300	100°18'14. 5"	38°32'07. 8"	20 × 20	灌丛	半阴坡	33	0. 36
T ₉	3 500	100°18'00. 4"	38°32'00. 9"	20 × 20	灌丛	半阴坡	40	0. 30

关系数 $R^2 = 0.4651$,下同) 。从这个关系式和图 2 可见 ,土壤温度随海拔升高呈波动性降低 ,降低率约为 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$ 。在一个流域内 ,土壤温度的空间变化主要受太阳辐射能的输入、土壤导热率以及土壤蒸散潜能等影响。海拔不同 ,太阳辐射能的大小不同 ,而太阳辐射能的大小主要受气候变化影响。随着海拔的增加 ,气温降低、降水增加、风速增大、空气湿度增加。土壤表面湿度越大 ,对太阳辐射能的反射越大 ,降水和风速越大 ,对土壤蒸发潜能越大 ,土壤温度越低。又由于海拔不同 ,土壤水分不同 ,对太阳辐射能的接受效能也不同。在试验区 ,土壤各层体积含水率平均值 S_w (单位: %) 与流域海拔 a 间的拟合关系为 $S_w = 0.0253a - 52.546$ ($R^2 =$

0.6515) ,土壤水分随海拔升高呈波动性增多的变化趋势。水分有较大的热容量和导热率。因此 ,海拔越高 ,土壤温度呈波动性降低。从图 2 还可以看出 ,土壤温度空间变化 ,海拔只是其中的一个因子 ,还受坡向、坡度等因子影响。

3. 2 土壤温度坡向变化特征

从表 1 可以看出 , T_5 代表阳坡样地 , T_2 、 T_3 代表半阳坡样地 ,其他均为半阴坡样地。从表 2 计算出阳坡、半阳坡、半阴坡各层土壤温度平均值 ,分别为 $12.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $9.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5.82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通过 3 个数据比较可以得出 ,阳坡土壤温度比半阳坡高出 1.3 倍、比半阴坡高出 2.2 倍 ,半阳坡土壤温度比阴坡高出 1.6 倍。相同海拔条件下 ,阳坡日照时数最长 ,半阳坡次之 ,

阴坡最短。因此,阳坡土壤水分比半阳坡低 1.4 倍、比半阴坡低 1.7 倍,半阳坡土壤水分比半阴坡低 1.2 倍;阳坡和半阳坡接受太阳辐射能多,土壤水分低,热容量和导热率较大。

3.3 土壤温度坡度变化特征

从表 1 和表 2 计算可得,在阳坡,坡度越大,土壤温度越低,土壤各层温度平均值 $S_{\text{阳}}$ (单位: $^{\circ}\text{C}$) 与坡度 $S_{\text{阳}}$ (单位: $^{\circ}$) 之间的拟合关系为 $S_{\text{阳}} = -1.3156 S_{\text{阳}} + 46.717 (R^2 = 0.7376)$ 。在阴坡,坡度越大,土壤温度有降低的趋势。综合分析,坡度越大,土壤温度有随之降低的变化趋势。主要原因是坡度越大,土壤表层的空气乱流越大,热量散失越快,以致土壤温度较低。

3.4 土壤温度垂直变化特征

从表 1、表 2 可以看出,在生长季节的 7—9 月,不同深度的土层各样地的平均温度 S_{di} 分别为 $8.98 \pm 2.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8.43 \pm 1.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $7.5 \pm 1.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $6.38 \pm 1.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5.56 \pm 0.97\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均值为 $7.37 \pm 1.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随着土壤深度的增加,土壤温度逐渐降低(图 2)。由于土壤温度监测探头布设在各层土壤的中部,因此,不同深度的土层,其确切的土壤深度 d 分别是 5 cm、15 cm、30 cm、50 cm、70 cm, S_{di} 与 d 的拟合关系为 $S_{di} = -0.0536d + 9.192 (R^2 = 0.994)$ 。土壤温度与深度呈线性函数关系,深度每增加 10 cm,温度降低 $0.536\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。地热、有机质及养分分解热以及微生物活动对土壤温度的影响较小,土壤温度主要受太阳辐射能的控制和气候变化的影响。土壤越深,接受太阳辐射能越少,温度逐渐降低。

3.5 不同植被类型土壤温度变化特征

表 1 中, T_8 、 T_9 代表灌丛林, T_1 、 T_4 、 T_6 、 T_7 代表乔木林, T_2 、 T_3 、 T_5 为草地。从表 2 计算出灌丛林、乔木林、草地各层土壤温度平均值分别为 $4.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $6.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通过 3 个数据比较可以得出,亚高山灌丛林比乔木林土壤温度低 1.6 倍、比草地低 2.3 倍,乔木林土壤温度比草地低 1.4 倍。不同植被类型对土壤温度的影响除苔藓枯落物层的保温保湿作用,土壤结构、土壤养分水分对土壤热量的传递作用外,不同植被类型的盖度、郁闭度、高度不同,对风速风向的影响也不同。盖度、郁闭度或高度越大,对风速的降低程度越大,土壤蒸发潜能越小。因此,乔木林对于因风速引起的土壤温度降低影响最大、灌丛林次之、草本最小。

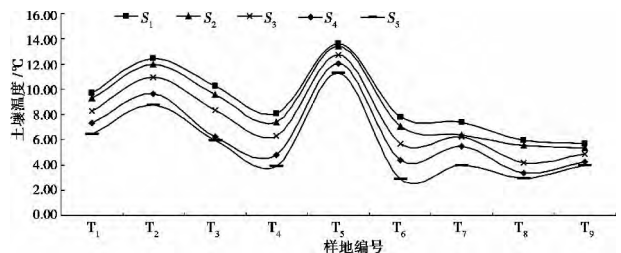


图 2 土壤温度随海拔变化特征
Fig.2 Soil temperature changed with altitude

3.6 土壤温度变异特征

从表 1、表 2 可以看出,在生长季节的 7—9 月, $T_1 \sim T_9$ 的各层土壤温度变异系数的平均值分别为 0.170、0.149、0.187、0.183、0.134、0.339、0.272、0.325、0.364,平均为 0.236。各层土壤温度变异系数的平均值 C_{va} 与海拔 a 间的拟合关系为 $C_{va} = 0.0003a$

表 2 不同海拔、土壤深度植被-坡度的土壤温度(7—9 月)

Tab.2 Temperature of each deep soil of different vegetation and altitude and slope (from July to September) / $^{\circ}\text{C}$

海拔 /m	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	平均值
T_1	9.68 ± 2.49	9.29 ± 1.93	8.25 ± 1.23	7.32 ± 0.83	6.41 ± 0.8	8.19 ± 1.46
T_2	12.44 ± 3.13	11.94 ± 2.24	10.93 ± 1.37	9.65 ± 0.82	8.78 ± 0.84	10.75 ± 1.68
T_3	10.27 ± 2.24	9.56 ± 1.51	8.38 ± 1.01	6.21 ± 1.26	5.94 ± 1.4	8.07 ± 1.48
T_4	8.08 ± 1.83	7.38 ± 1.41	6.29 ± 0.92	4.76 ± 0.69	3.91 ± 0.81	6.09 ± 1.13
T_5	13.59 ± 3.36	13.37 ± 2.31	12.72 ± 1.41	12.07 ± 0.96	11.27 ± 0.68	12.6 ± 1.74
T_6	7.79 ± 2.68	7.07 ± 2.00	5.68 ± 1.49	4.41 ± 1.42	2.87 ± 1.38	5.57 ± 1.79
T_7	7.41 ± 2.56	6.37 ± 1.8	6.22 ± 1.63	5.48 ± 1.36	3.97 ± 0.88	5.89 ± 1.65
T_8	5.94 ± 2.18	5.53 ± 1.94	4.17 ± 1.31	3.33 ± 1.00	2.95 ± 0.87	4.38 ± 1.46
T_9	5.65 ± 2.83	5.35 ± 2.24	4.83 ± 1.63	4.21 ± 1.21	3.94 ± 1.08	4.8 ± 1.80
平均值	8.98 ± 2.59	8.43 ± 1.93	7.5 ± 1.33	6.38 ± 1.06	5.56 ± 0.97	7.37 ± 1.58

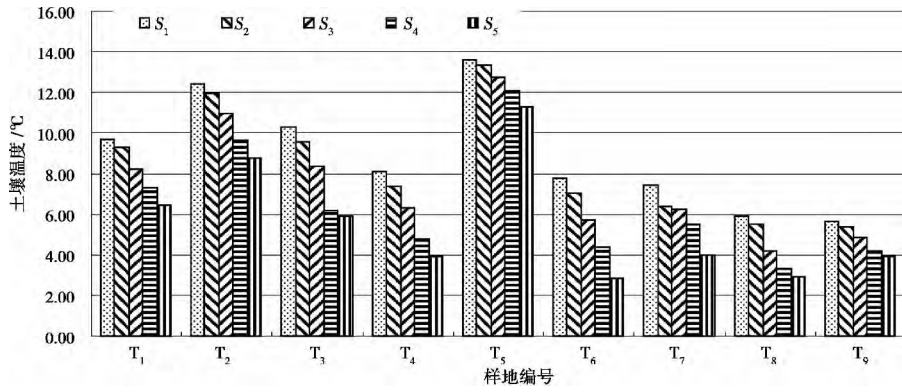


图3 不同海拔的土壤温度在垂直剖面上的变化

Fig. 3 Variation of soil temperature on vertical section of different altitude

-0.6825 ($R^2 = 0.7567$)。这说明土壤温度变化程度与海拔呈线性正相关,海拔越高,土壤温度变化越剧烈,越不稳定(图4)。从表3计算出阳坡、半阳坡、半阴坡各层土壤温度变异系数的平均值分别为0.134、0.168、0.276。这说明阳坡土壤温度变化程度最小、半阳坡次之、半阴坡最大(图5)。从图5可见,当坡度在 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区间上,土壤温度最稳定,当坡度过缓或过陡,土壤温度变化均较剧烈,呈现出了二次函数的抛物线变化趋势。但阴坡和阳坡的变化规律略有不同,半阴坡 $C_{rs} = 0.0013s^2 - 0.0748s + 1.2833$ ($R^2 = 0.5329$),半阳坡或阳坡 $C_{rs} = 0.0003s^2 - 0.0148s + 0.324$ ($R^2 = 1$)。从图5可见,土壤温度变化程度与土层深度也呈现出了二次函数的抛物线变化趋势。0~10 cm 土层温度变化最剧烈,是土壤温度易变层,随着土壤深度的增加,土壤温度变化减小,40~60 cm 土层的土壤温度最稳定,到60~80 cm 的土层,其温度变化又呈现出较剧烈的特点。从表3可见,灌丛林、乔木林、草地土壤变异系数的平均值分别为0.345、0.241、0.157,说明灌丛林土壤温度变化最剧烈、乔木林次之、草地最小(图6)。综合分析,试验区高海拔半阴坡灌丛林土壤温度变化

最剧烈,低海拔阳坡草地土壤变化较小;表层土壤温度变化最剧烈,40~60 cm 土层的温度变化最小。

4 结论与讨论

4.1 讨论

土壤温度主要受控于太阳辐射能,地热对近地面土壤温度的影响极小,火山爆发等极端灾害引起的土壤温度变化例外。在一个流域内,由于海拔、坡向、坡度、土层深度等微地形因子对土壤温度变化的局部影响,形成了土壤温度在流域上的空间变化规律。牛贇等人认为^[13],试验区土壤温度随海拔每升高100 m 而降低约 0.8°C ,该研究与本文数据来源不同,但与本文研究结果[递减率 $0.74^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$]十分接近。根据祁连山森林生态站2002—2011年的近10 a 地面气象站监测^[6],10 a 内7—9月土壤温度与深度关系为 $S_{dt} = -0.0467d + 13.609$ ($R^2 = 0.998$),土壤深度每增加10 cm,其温度降低约 0.467°C ,呈线性函数关系。该研究与本文数据来源也不同,但与本研究结果[递减率 $0.536^{\circ}\text{C}/(10\text{ cm})$]也十分接近。由于土壤温度在流域空间上

表3 不同海拔不同土壤深层和不同坡向的土壤温度变异系数(7—9月)

Tab. 3 Variable coefficient of temperature of each deep soil of different vegetation and altitude and slope (from July to September)

系数指数	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	平均值
S ₁	0.257	0.252	0.219	0.226	0.247	0.344	0.346	0.368	0.501	0.307
S ₂	0.208	0.187	0.158	0.191	0.173	0.283	0.283	0.351	0.419	0.250
S ₃	0.149	0.126	0.121	0.146	0.111	0.262	0.262	0.315	0.337	0.203
S ₄	0.113	0.085	0.203	0.145	0.080	0.323	0.249	0.300	0.287	0.198
S ₅	0.124	0.096	0.236	0.208	0.060	0.481	0.223	0.293	0.275	0.222
平均值	0.170	0.149	0.187	0.183	0.134	0.339	0.272	0.325	0.364	0.236

的变化特征研究结论报道较少,要做更多的结论比较有一定的难度。另外,本研究的土壤温度与地形空间因子的拟合关系也是较粗略的估算关系,单一因子关注的较多,综合因子关注的较少。在将来的科研工作中,要更加关注土壤温度的在空间上的年际、季节变化以及与地形因子的响应特征和响应程度,通过进一步的研究,探索全球气候变暖与土壤温度在空间上的响应关系,为人类应对逐渐恶化的生

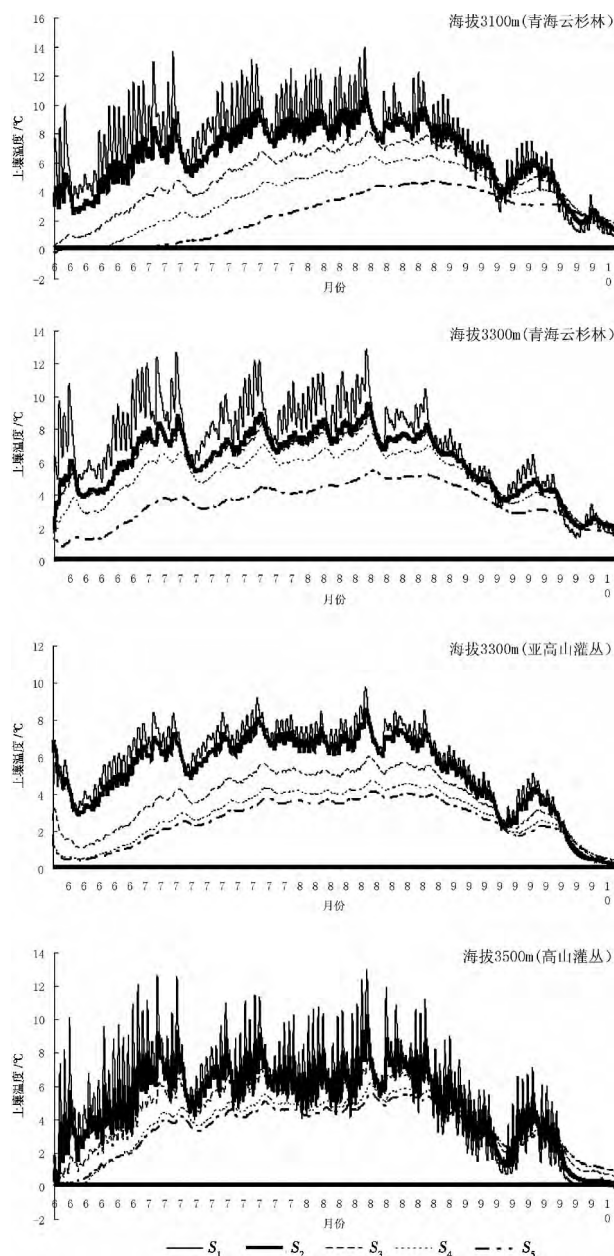
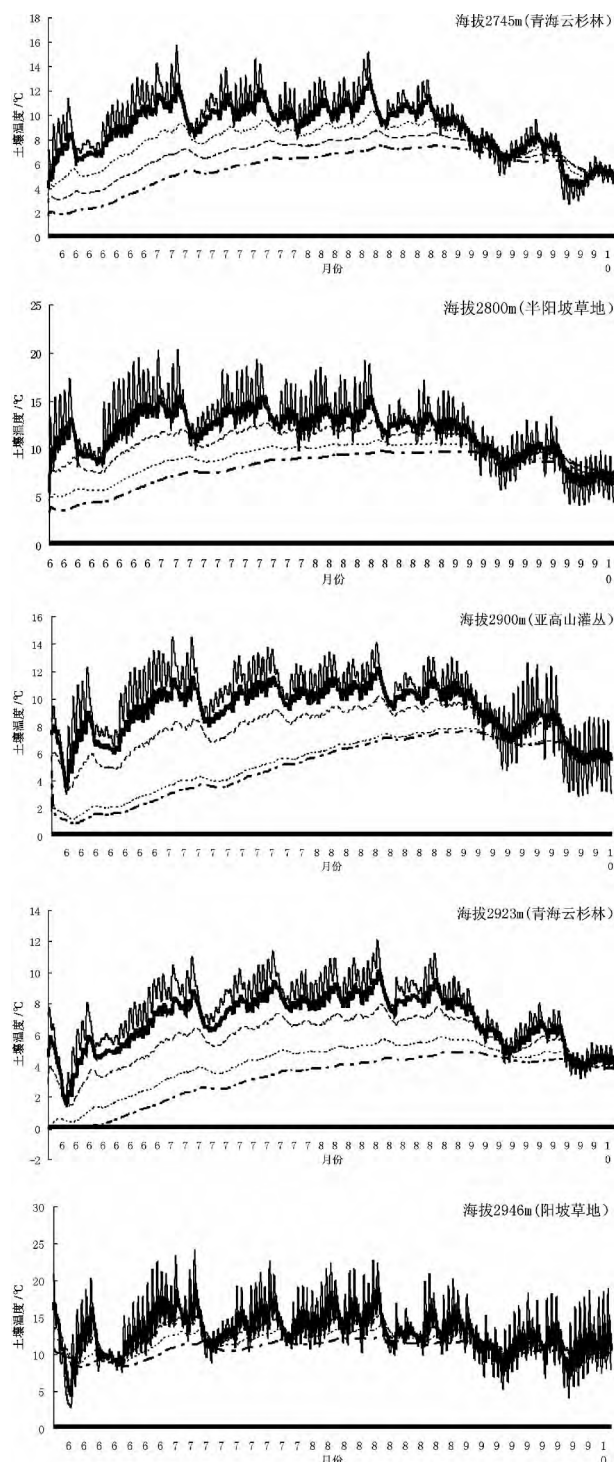


图4 不同海拔不同植被各土壤层次土壤温度变化动态

Fig.4 The dynamic variation of temperature of each deep soil of different vegetation and altitude

态环境问题提供参考资料。

4.2 结论

通过对祁连山大野口流域不同地理环境和不同植被类型的土壤温度空间变化特征研究发现,土壤温度随海拔升高以 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$ 的速率呈波动性降低,土壤温度一般阳坡 > 半阳坡 > 阴坡、草地 > 乔木林 > 亚高山灌丛林,土壤温度与土壤深度呈线性反比例函数,土壤深度每增加 10 cm ,其温度降低约 $0.536\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高海拔半阴坡灌丛林土壤温度变化最剧烈,低海拔阳坡草地土壤变化较小;在 $0\sim 80\text{ cm}$

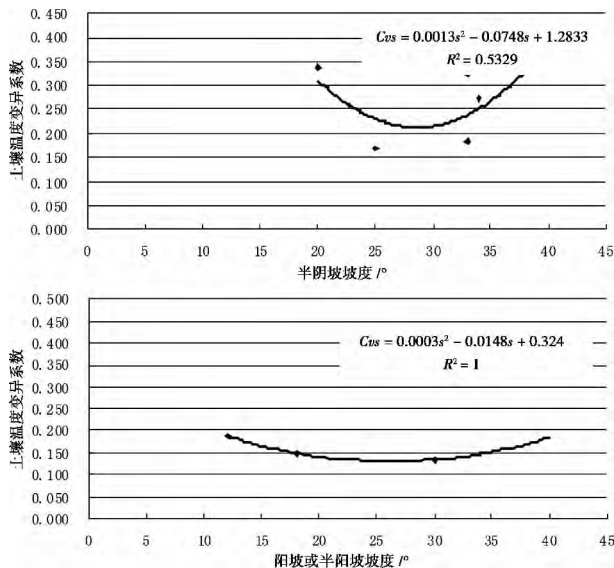


图5 不同海拔和不同坡度坡向的植被土壤温度变化程度

Fig. 5 Variation scope of temperature of each deep soil of different vegetation and altitude

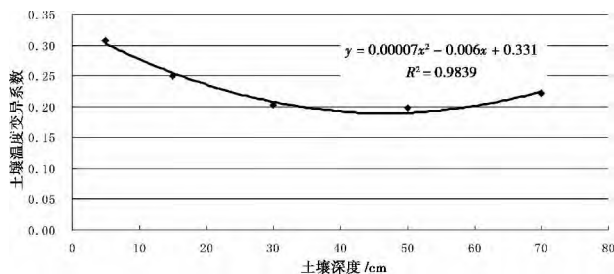


图6 土壤温度随深度的变化程度

Fig. 6 Variation scope of temperature of soil in different depth

的土层范围内,表层土壤温度变化最剧烈,40~60 cm土层的温度变化最小。

土壤温度在“四水”(大气降水、地表水、地下水和土壤水)转化中是影响地表水、地下水和土壤水相互转化速率的重要因子。在流域水源涵养功能研究及林分结构调控水资源利用中,由于土壤温度在空间上异质性,必然要考虑地理环境对土壤温度及其对水源涵养功能发挥的影响。低海拔地区针叶林在减少小流域产流方面所起的作用相对其他植被覆盖类型和高海拔地区而言更为显著,合理的降低其密度从理论上来讲应该可以减少对径流的削减作用,因此,低海拔地区青海云杉林等进行周期性的合理的清理,一方面给次生林幼苗更充裕的生长空间,另一方面可以缓解流域上游地区与中、下游径流的供需矛盾。草地生态系统的水文调节能力较弱,草地的植被-土壤复合体的水源涵养能力也低于灌丛

与云杉林等,故而在研究区低海拔地区大片草地的地区,毒草(狼毒)已经大面积呈现出蔓延趋势,因此低海拔地区应对林、草结构进行调整,尝试林、草镶嵌结构,提升区域整体的水文调节与水源涵养能力,缓解低海拔地区草地大面积干旱化。此项措施的实现需要借助工程手段,也需要一定时间的禁牧措施同步实施。高海拔地区冰川、冻土以及灌丛带是流域内主要的产水区,而植被盖度可以有效减少地表辐射量,是冰川冻土的天然防护,且高海拔地区植被生长较慢,破坏之后恢复期较长,对冰川、冻土尚无较好的人工手段来维持和保护,故而作为固体水库以及小流域主要产水区,高海拔地区的封禁保护应该作为祁连山区生态保护的重中之重。

参考文献(References)

- [1] Toy T J, Kuhaida A J, Munson B E. The prediction of mean monthly soil temperature from mean monthly air temperature[J]. Soil Science, 1978, 126(3): 181-189
- [2] Meikle R W, Treadway T R. A mathematical method for estimating soil temperature in Canada [J]. Soil Science, 1981, 131(5): 320-326
- [3] 杨学明. 土壤水热状况与土壤系统分类[J]. 土壤, 1988, 21(2): 110-113 [Yang Xueming. Soil moisture and temperature regimes and soil taxonomy [J]. Soils, 1988, 21(2): 110-113]
- [4] 冯学民, 蔡德利. 土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究, 土壤学报 2004, 41(3): 489-491 [Feng Xueming, Cai Deli. Soil temperature in related to air temperature, altitude and latitude[J]. Acta Pedologica Sinica 2004, 41(3): 489-491]
- [5] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的空间插值方法比较[J]. 地理研究 2008, 27(6): 1299-1307 [Zhang Huizhi, Shi Xu-zheng, Yu Dongsheng. Spatial prediction of soil temperatures in China using different method [J]. Geographical Research 2008, 27(6): 1299-1307]
- [6] 牛赞, 刘贤德, 敬文茂, 等. 祁连山排露沟流域气温、冻土冻融与河川径流特征[J]. 林业科学, 2014, 50(1): 27-31 [Niu Yun, Liu Xiande, Jing Wenmao, et al. Characteristics of temperature, soil freezing and thawing, and river flow in Pailugou watershed of Qilian Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(1): 27-31]
- [7] 罗龙发, 牛赞, 王艺林, 等. 祁连山青海云杉林温度变化对土壤呼吸的影响[J]. 林业科学, 2007, 40: 117-121 [Luo Longfa, Niu Yun, Wang Yilin, et al. The soil respiration influenced on change of temperature in of Picea crassifolia forest of Qilian Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 40: 117-121]
- [8] 祁连山林草复合流域气象因子、土壤特性及其蒸发对比研究[J]. 中南林业科技大学学报 2014, 34(10): 90-94 [Niu Y, Niu Y, Jing W M, et al. Comparative study on woodland and meadow of meteorological factors, soil properties and its evaporation in composite basin of Qilian mountains[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology 2014, 34(10): 90-94]

- [9] 唐振兴,何志斌,刘鹤. 祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1056–1065 [Tang Zhenxing, He Zhibin, Liu Hu. Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1056–1065]
- [10] 刘贤德,牛赞,敬文茂,等. 祁连山森林内外主要气象因子对比研究[J]. 干旱区地理, 2009, 32(1): 32–36 [Liu Xiande, Niu Yun, Jing Wenmao, et al. Comparison of principal meteorology factors inside & outside forest in Qilian Mountains [J]. Arid land Geography, 2009, 32(1): 32–36]
- [11] 王金叶,常学向,葛双兰. 祁连山(北坡)水热状况与植被垂直分布[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(增): 1–3 [Wang Jinye, Zhang Xuexiang, Ge Shuanglan, et al. Vertical distribution of the vegetation and water and heat conditions of Qilian mountain (north-ern slope) [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2001, 16 (Suppl.): 1–3]
- [12] 王谨,温娅丽,刘思瑞,等. 祁连山大野口流域青海云杉林苔藓枯落物及其土壤水热特征分析,甘肃农业大学学报[J]. 2014 (6): 107–113 [Wang Jin, WEN Yali, Liu Shirei. et al. Feature analysis on water and temperature of moss litter and soil of Picea crassifolia in Dayekou basin of Qilian Mountains [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2014(6): 107–113]
- [13] 牛赞,刘贤德,敬文茂,等. 祁连山北坡气候梯度变化对比研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(2): 86–91 [Niu Yun, Liu Xiande, Jing Wenmao, et al. Comparative study on climate gradient changes in the north slope of Qilian mountains [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(2): 86–91]

Spatial Variation Characteristics of Soil Temperature in Dayekou Basin of Qilian Mountains

JING Wenmao¹, NIU Yun^{1,2,3}, LIU Xiande^{1,3}, LI Xin², LÜ Yihe⁴

(1. Academy of Water Resource Conservation Forests of Qilian Mountains in Gansu Province, Gansu Province Key Laboratory of Forest Ecology and Frozen-soil Hydrology and Water Resources, Zhangye 734000, Gansu, China;

2. Cold And Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

3. Academy of Ecology Science of Zhangye, Gansu Science and Technology Innovation Service Platform of Ecology in Qilian Mountains, Gansu Province, Zhangye 734000, Gansu, China;

4. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: It was more important that monitoring and research on soil temperature under the background of global warming. Dayekou basin of Qilian Mountains in Gansu, China had been chosen the test basin and studied on spatial variation characteristics of soil temperature in this paper. Results showed that: 1. Soil temperature was volatility declining with altitude increased, and soil temperature reduction was about 0.74 °C with the altitude was increased 100 m; 2. The soil temperature was 1.3 times higher on sunny slope than half sunny slope, and 2.2 times higher than half shady slope. The soil temperature was 1.6 times higher on half sunny than half shady slope; 3. The soil temperature decreased with the slope greater; 4. The relation between soil temperature and its depth was $S_{dt} = 0.0536d + 0.0536$ ($R^2 = 0.994$), and every additional 10 cm soil depth, the temperature decreased about 0.536 °C, and the relation function was linear; 5. The soil temperature under sub alpine was 1.6 times lower than arbor forest, and 2.3 times lower than grassland. The soil temperature under arbor forest was 1.4 times than grassland; 6. From analysis on degree of spatial variation of soil temperature, the variation of soil temperature under sub alpine was the most severe on high altitude and half shady slope, and the variation of soil temperature under grassland was the lowest on low altitude slope and sunny or half sunny slope; The variation of surface soil temperature was most severe, and the variation of temperature under soil lay from 40 cm to 60 cm was the lowest. The research conclusion had provided basic data and resources for river basin water balance and water conservation function, the adjusting and management stand structure and utilization water resources and studying soil water.

Key words: soil temperature; spatial variation; dayekou basin of Qilian Mountains