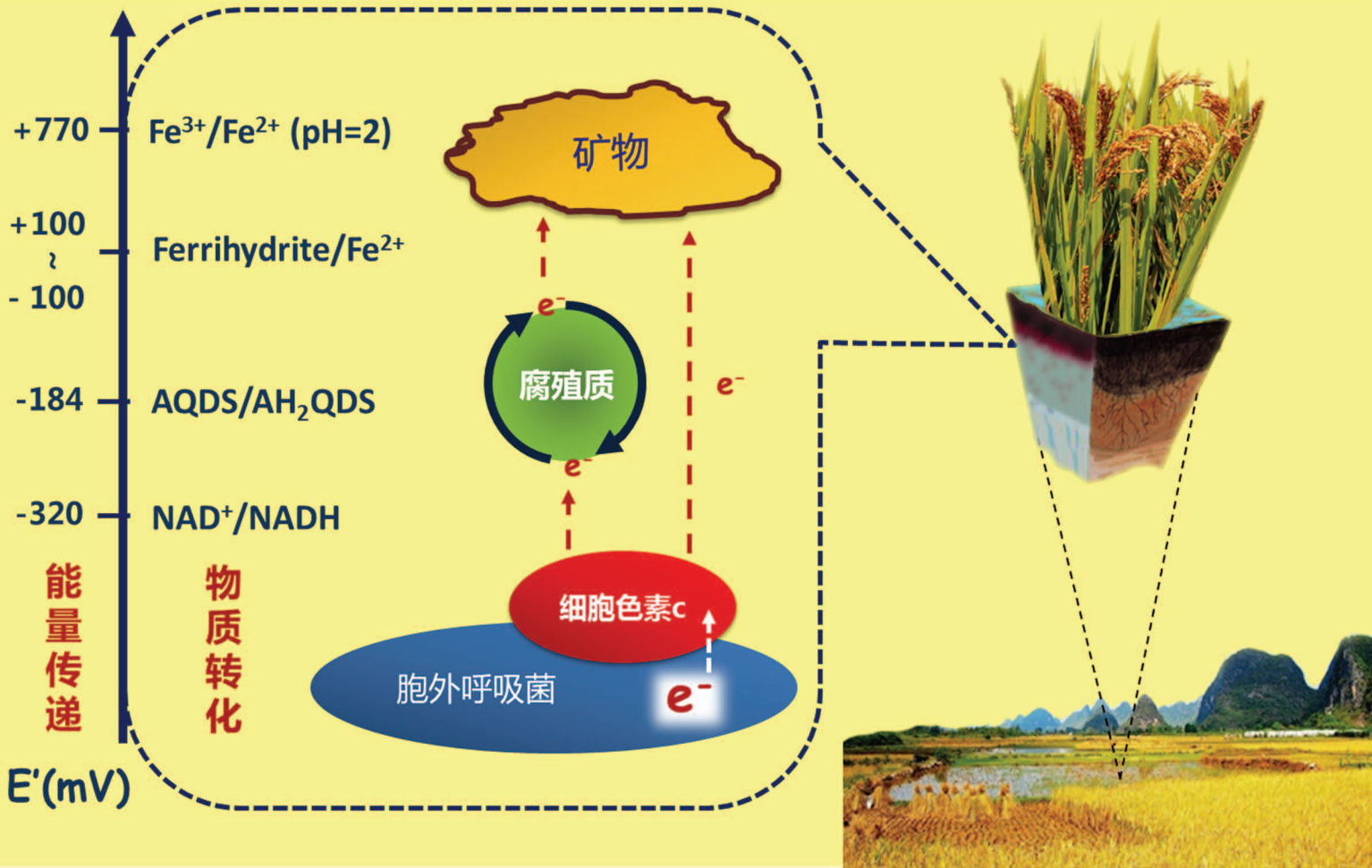


# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

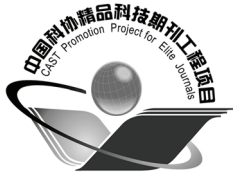


中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## 目 次

### 综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
- 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

### 新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

### 研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列S<sub>3</sub>剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
- 基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
- 基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
- 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
- 鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
- 放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
- 汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
- 咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
- 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
- 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)
- 砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
- AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
- 激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
- 臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
- 黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
- 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
- 祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
- 基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
- 适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
- 旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
- 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
- 加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

### 研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
- 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

### 信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201508180309

# 拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征\*

巩玉玲<sup>1, 2</sup> 王兆锋<sup>2†</sup> 张镜铨<sup>2</sup> 冯永军<sup>1</sup>

(1 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

(2 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

**摘要** 土壤温度影响土壤发育与植被状况, 是反映脆弱生态系统环境状况的基本参数。本文通过一年的实地观测, 分析了拉萨典型灌丛草甸区土壤温度特征及其在海拔梯度与深度层次上的变化规律。结果表明: (1) 0~30 cm 深度范围, 年内土壤日均温变化类似余弦曲线, 平均值为 2.94℃, 年内有 147 d 土壤低于 0℃; 一天内土壤温度变化类似正弦曲线, 日温差平均为 2.80℃, 夏季温差大, 秋季温差小。(2) 土壤年均温与海拔符合线性关系, 土壤年均温随海拔的变率为 -0.63℃(100 m<sup>-1</sup>), 夏季土壤温度的海拔效应较其他季节明显; 且海拔越高, 土壤温度波动幅度越大。(3) 土壤年均温与深度呈幂函数关系; 随深度的增加, 土壤温度变率降低。20 cm 是土壤温度变化相对稳定的浅土层。

**关键词** 青藏高原; 灌丛草甸区; 土壤温度; 海拔梯度

**中图分类号** S152.8 **文献标识码** A

青藏高原地势高亢、气候恶劣、自然条件严酷, 是我国典型的生态脆弱区<sup>[1]</sup>。高寒环境下, 土壤形成历史较短, 发育缓慢, 土层浅薄<sup>[2]</sup>。这种土壤条件进一步加剧了高原生态系统的脆弱程度。土壤温度作为衡量土壤环境状况的重要指标之一, 不仅影响土壤形成发育, 也影响地表植被生长状况<sup>[3]</sup>, 甚至影响土壤碳收支过程, 进而对气候变化产生影响<sup>[4-5]</sup>。研究高原土壤温度的变化过程, 不仅有助于理解高寒区土壤环境特征, 也有助于监测高寒脆弱生态系统的环境状况。

目前, 国内外对土壤温度的研究, 多涉及土壤温度对植被变化、气温变化的响应, 以及土壤温度与土壤湿度、土壤冻融的关系等主题<sup>[6-10]</sup>, 同时也关注土壤温度在不同时空尺度的变化特征<sup>[11-15]</sup>。在青藏高原区, 杨梅学等<sup>[11]</sup>基于青藏公路沿线 8 个观测站点的数据, 分析了土壤温度沿海拔和纬度

梯度的变化特征。认为藏北高原夏季土壤温度分布主要表现为高度效应, 而冬季土壤温度分布主要表现为纬度效应, 年平均土壤温度分布是纬度效应和高度效应综合作用的结果。同时, 杨梅学等也指出由于空间范围大, 天气过程的差异会对土壤温度的空间分布产生较大影响。此外, 植被<sup>[16]</sup>、微气候<sup>[17]</sup>等因素的差异也会影响土壤温度的变化过程。因此, 选择自然环境较为一致的监测点位进行分析, 更有助于甄别土壤温度随海拔高度及深度层次等空间要素的差异所表现出的变化规律。

本研究在拉萨河流域自然环境相对一致的山坡开展土壤温度监测研究, 以降低因植被类型、土壤性状、纬度地带等自然条件差异对土壤温度的影响。基于监测区获得的 2013 年 10 月至 2014 年 9 月间土壤温度观测数据, 分析了土壤温度在海拔梯度与深度层次上的变化特征。

\* 国家科技支撑计划课题 (2013BAC04B02)、中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) (XDB03030500) 资助 Supported by the National Key Technology R&D Program of China (No. 2013BAC04B02) and the Strategic Priority Research Program (B) of the Chinese Academy of Sciences (No. XDB03030500)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangzf@igsnr.ac.cn

作者简介: 巩玉玲 (1989—), 女, 山东泰安人, 硕士, 主要从事脆弱生态系统土壤环境特征研究。E-mail: gongyuling0827@126.com

收稿日期: 2015-08-18; 收到修改稿日期: 2015-11-17

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于西藏自治区达孜县德庆镇境内(图1)。该地区空气稀薄、冬春干燥低温、多大风。年均温为7.50℃,年平均日照时数为3 065 h,年降水量450 mm左右,主要集中在6—9月,属于高原季风温带半干旱气候。观测样区位于德

庆镇新仓村南侧山体北坡,海拔4 000~4 900 m;植被类型为拉萨典型的高山半干旱灌丛草甸。植被类型一致性较高,建群种为微毛樱草杜鹃(*Rhododendron primuliflorum*),沿坡面自下而上嵩草类(*Kobresia* spp.)略有增加,蔷薇类(如钉柱委陵菜*Potentilla saundersiana* Royle)略有减少,植被总盖度在82%左右。土壤为亚高山灌丛草甸土类型,地表草毡层弱发育;土体多含砾石,细

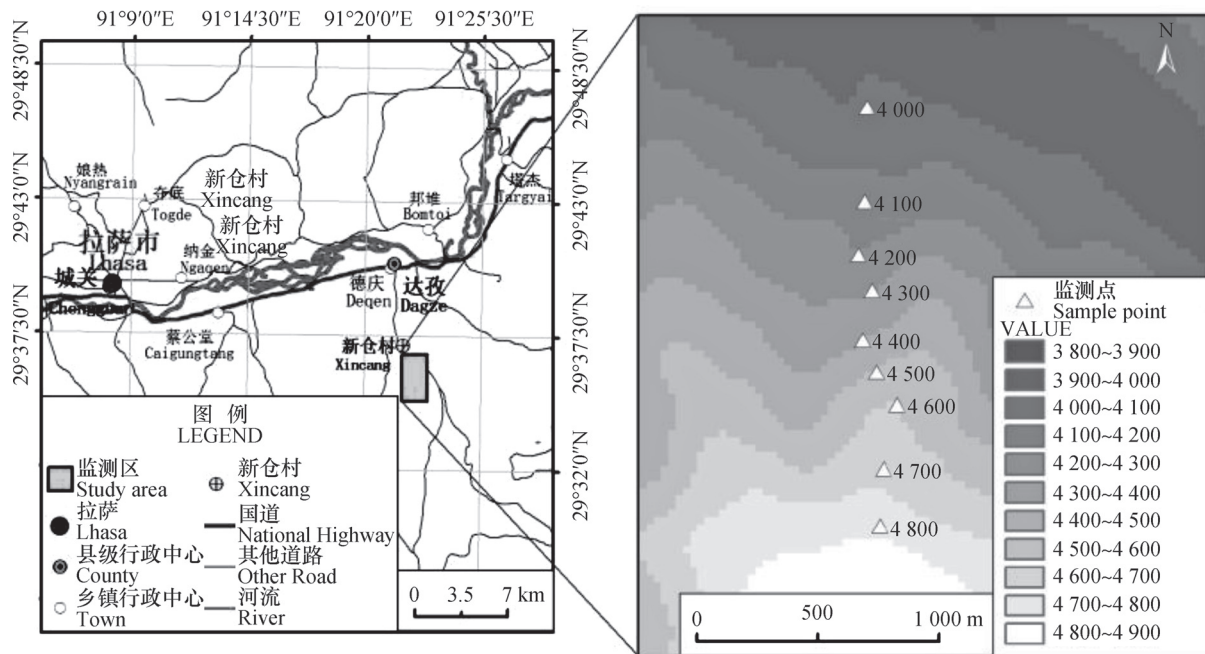


图1 监测点位置示意图(底图引自Zhang等<sup>[18]</sup>)

Fig. 1 The location map of monitoring points (The base map is from Zhang Y L, et al<sup>[18]</sup>)

土为壤质;土壤呈微酸性反应。

### 1.2 数据与方法

监测样区内每隔海拔100 m设置一处土壤温度监测点,在海拔4 000~4 800 m范围内共设9个监测点。每个监测点埋设两套温度数据记录仪(美国Onset HOBO公司,U23-003型,量程:-40~100℃),每套具有两个外接式温度探头,两套仪器的四个探头埋设深度分别为5、10、20、30 cm。数据存储间隔设置为1 h,记录了2013年10月5日至2014年9月15日346 d的土壤温度。

由于海拔4 000 m、4 400 m、4 700 m监测点受到破坏,土壤温度数据异常,本文不对这三个监测点的数据进行分析,只对海拔4 100、4 200、4 300、4 500、4 600、4 800 m六个监测点的土壤温度数据进行处理分析。

根据《地面气象观测规范》<sup>[19]</sup>,土壤日均温、季均温、年均温等均为相应时段监测数据的算术平均值。具体方法如下:

$$\bar{T}_{\text{day}} = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=0}^{23} P_{(i,j,k)}}{6 \times 4 \times 24} \quad (1)$$

式中, $\bar{T}_{\text{day}}$ 为土壤日平均温度(土壤日均温); $P_{(i,j,k)}$ 为第*i*个监测点、第*j*层、第*k*时刻的土壤温度实测值;*i*,6个海拔分别为4 100、4 200、4 300、4 500、4 600、4 800 m的监测点;*j*,第1层~第4层深度分别为5、10、20、30 cm。

$$\bar{T}_{\text{season}} = \frac{\sum_{d=1}^m \bar{T}_{\text{day}}}{m} \quad (2)$$

式中, $\bar{T}_{\text{season}}$ 为土壤季均温;*m*为当季天数。

$$\bar{T}_{\text{year}} = \frac{\sum_{d=1}^n \bar{T}_{\text{day}}}{n} \quad (3)$$

式中,  $\bar{T}_{\text{year}}$  为土壤年均温;  $n$  为当年监测天数。

## 2 结 果

### 2.1 土壤温度基本特征

观测结果表明, 研究区 0 ~ 30 cm 深度范围内土壤年平均温度为 2.94 °C。年内土壤温度最高值为 14.21 °C, 出现在 8 月 12 日; 土壤最低温为 -9.05 °C

(12 月 16 日)。土壤年温差 23.27 °C。

将 2013 年 10 月 1 日后的观测结果对接到 2014 年相应时段, 构成一年的数据序列, 发现年内土壤日平均温度曲线大致呈余弦函数曲线 (图 2)。8 月中旬以前, 为土壤温度上升期, 8 月中旬以后, 土壤温度开始下降。按气象季节划分, 灌丛草甸区春季 (3 月至 5 月) 土壤温度处于上升过程, 夏季 (6 月至 8 月) 处于高温稳定阶段, 土壤平均温度为 12.07 °C, 秋季 (9 月至 11 月) 处于降温过程, 冬季 (12 月至翌年 2 月) 处于低温稳定阶段, 平均温度为 -5.81 °C。至此, 土壤温度完成了一个年周期

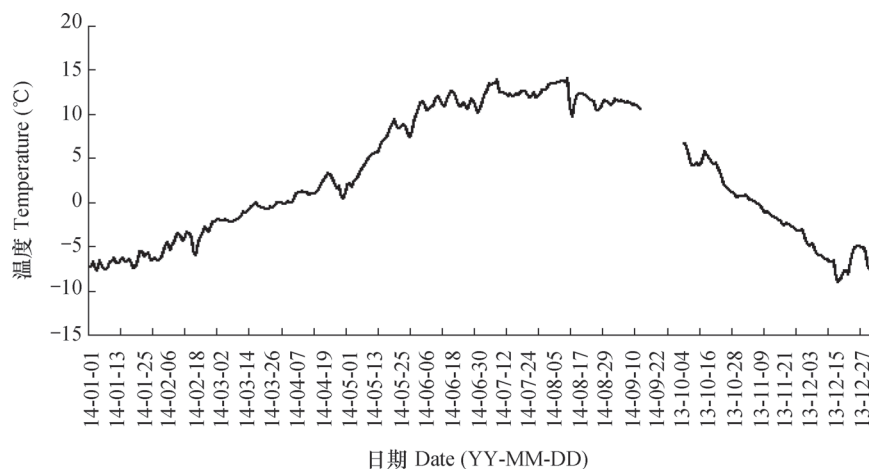


图2 土壤日平均温度年内变化

Fig. 2 Variation of daily mean soil temperature in the year

的更替变化。

从土壤温度的具体变化过程看, 如果以土壤温度连续 5 日持续上升或下降作为土壤升温或降温的起始, 从 2 月 19 日至 6 月 3 日土壤温度以 0.11 °C d<sup>-1</sup> 的速率上升; 6 月 4 日至 9 月 15 日基本稳定在 12.03 °C 左右; 10 月 5 日至 12 月 16 日土壤温度以 -0.19 °C d<sup>-1</sup> 的速率日趋下降; 12 月 17 日至次年 2 月 18 日, 土壤温度基本维持在 -6.11 °C 左右。可以看出, 土壤升温时间为 106 d, 明显大于 73 d 的降温时间。高温稳定期为 104 d, 低温稳定期为 64 d。全年中, 土壤温度从 2013 年 11 月 9 日至 2014 年 4 月 4 日低于 0 °C, 土壤处于冰冻状态, 冰冻期为 147 d。总体上, 土壤温度年内升温、降温过程显著, 而土壤温度的日变化过程则随着季节的不同其变化趋势不同。

为减少降雨、阴天等天气对土壤温度日变化的影响, 运用所有观测日对应时点的 0 ~ 30 cm 所有观

测层次的土壤温度数据, 计算各时点土壤温度的平均值, 用以分析土壤温度日变化特征。结果显示土壤温度日变化曲线类似正弦函数曲线 (图 3)。土壤温度上升过程 (升温过程) 平均为 7 h, 降温过程为 17 h, 可见在一天之内土壤的升温过程明显小于降温过程, 而且冬季更为明显。冬季升温时间最短, 仅为 4 h, 夏季升温时间最长, 达 8 h。监测区内土壤温度最高值一般出现在下午 17:00 左右, 出现时间按夏季 (18:00)、秋季 (17:00)、冬季 (16:00) 顺次提前 1 h, 春季土壤均温最高值出现时间与秋季一致; 土壤最低值一般出现在上午 10:00 左右, 按夏季 (9:00)、秋季 (10:00)、冬季 (11:00) 顺次滞后 1 h, 春季出现时间与秋季相同。土壤日平均温度的波动幅度平均为 2.80 °C。季节差异显著, 夏季土壤日温差最大, 达 3.91 °C, 秋季日温差最小 (2.04 °C)。

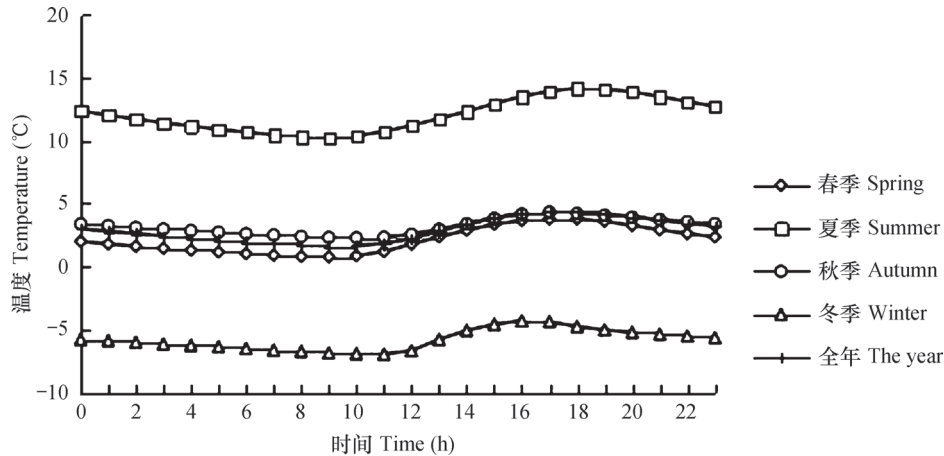


图3 四季及全年土壤温度的日变化

Fig. 3 Diurnal variation of soil temperature in the four seasons and the year

## 2.2 土壤温度随海拔梯度的变化特征

土壤年平均温度随着海拔的升高而降低(图4),海拔每升高100 m土壤年均温降低 $0.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,与气温随海拔梯度的变化速率接近。而土壤温度变异系数则随着海拔的升高逐渐增大,表明海拔越高土壤温度变化越复杂,可能是因为海拔越高降水、气温、风等气象条件变化较大,导致土壤温度变化幅度加大<sup>[20-22]</sup>。同时,土壤温度随海拔梯度的变化过程因季节不同而存在差异。

土壤温度的海拔效应在季节间差异明显(图4)。夏季土壤温度受海拔的影响最显著,土壤温度沿海拔梯度的下降幅度最大,达 $-0.76\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ ,且与海拔相关性最高,相关系数为0.95,通过了 $\alpha=0.02$ 的显著性检验;秋季土壤温度的海拔效应最不明显,海拔每升高100 m,土壤温

度下降 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,二者间线性趋势的相关系数也最低,仅为0.79;冬季和春季土壤温度的海拔效应居中,土壤温度沿海拔梯度的变化率分别为 $-0.68\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ 、 $-0.64\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ ;更接近于近地面气温随海拔变化的速率。

## 2.3 土壤温度在深度上的变化特征

地表土壤热量主要源于太阳辐射,土壤吸收热量后,再在土壤内部产生热传导,导致土壤温度在不同的深度层次间产生差异。观测区0~5 cm土壤年平均温度为 $3.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,向下土壤年平均温度逐渐降低,但随深度的增加,其下降幅度减少,5~10 cm土壤温差为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,10~20 cm温差为 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而20~30 cm间温差仅为 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。总体上土壤年均温度与深度呈幂函数关系(图5),以此计算,深度达到20 cm时,土壤温度随深度的变化率仅

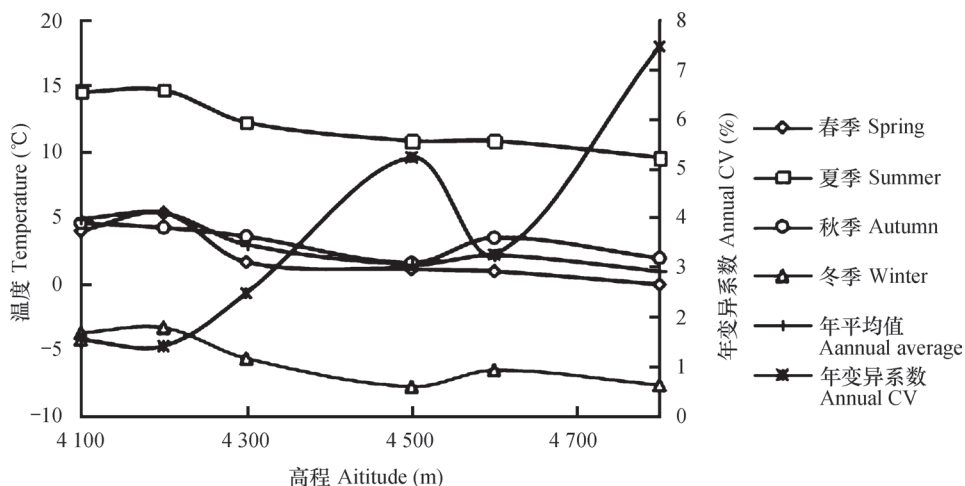


图4 土壤温度及变异系数与海拔梯度之间关系

Fig. 4 Soil temperature and its coefficient of variation in relation to elevation

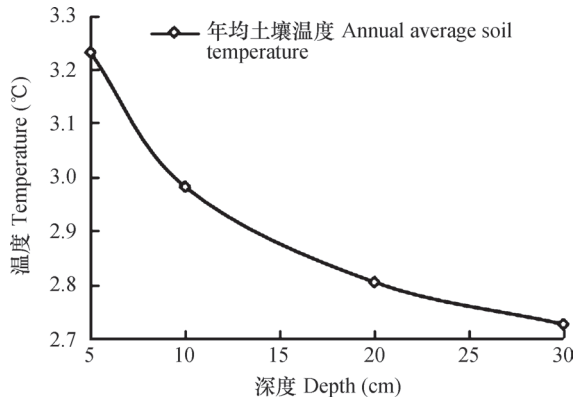


图5 不同深度土壤温度年平均变化特征

Fig. 5 Variations of annual mean soil temperature with soil depth

为 $-0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $10\text{ cm}^{-1}$ )。

从土壤温度的年内变化过程看，土壤在升温 and 降温过程中，土壤热量的主要传导过程是不同的。土壤升温过程中，浅层土壤温度较深层土壤温度

高，温差约为 $0.47\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $10\text{ cm}^{-1}$ )，土壤热量由上向下传导；而土壤降温过程中，浅层土壤较深层土壤温度低，温差约为 $-0.43\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $10\text{ cm}^{-1}$ )，土壤热量由下向上传递。以土壤平均温度小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为冰冻期，统计监测区不同深度土壤冰冻时间（表1）。发现冰冻期并不随深度的增加呈现出一致性的变化趋势。在监测的 $0\sim 30\text{ cm}$ 范围内，虽然 $0\sim 5\text{ cm}$ 土壤冰冻时间最长，达149 d，但 $10\text{ cm}$ 的土层却是冰冻时间最短的（142 d），其下土层的冰冻期又上升到146 d，并稳定下来。在冰冻始末期，由 $5\text{ cm}$ 至 $10\text{ cm}$ 土壤冰冻与解冻时间波动较大，两层冰冻时间相隔8 d，而解冻时间仅1 d。土壤层次越深，其冰冻与解冻时间越趋稳定， $20\text{ cm}$ 至 $30\text{ cm}$ 冰冻与解冻均稳定在1 d。这说明土壤冻融过程中， $20\text{ cm}$ 以上土层热量交换过程复杂， $20\text{ cm}$ 以下的土层热传递相对稳定。

表1 不同深度土壤冰冻时间

Table 1 Soil freeze-up period relative to soil depth

土壤深度 Soil depth (cm)	开始冰冻时间 The date of starting freezing (MM-DD)	结束冰冻时间 The date of ending freezing (MM-DD)	冰冻天数 Length of freeze-up (d)
5	10-30	03-27	149
10	11-07	03-28	142
20	11-11	04-05	146
30	11-12	04-06	146

从不同深度土壤温度的日变化来看，随土壤深度的增加，土壤温度日变化范围呈减小态势（图6）。 $5\text{ cm}$ 土壤温度日温差最大，为 $6.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $30\text{ cm}$ 土壤日温差最小，仅为 $0.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一天之内，升温过程小于降温过程，各层土壤升温过程仅持续 $7\sim 8$ 个小时，降温过程达 $16\sim 17$ 小时。 $12:00\sim 20:00$ 浅层土壤温度较高，土壤温度随深度的加深而降低，热量由上层到下层传输； $2:00\sim 11:00$ 土壤温度随深度的增加而上升，土壤热量由下层往上传输。热量在土壤中传递的滞后性使得不同深度土壤温度最大值及最小值变化规律及出现时间也不同（表2）。土壤温度最大值随着深度的增加逐渐降低，而最小值则随着深度的增加逐渐升高， $10\text{ cm}$ 以下土壤日均温最值出现的时间滞后约 $2\text{ h}$  ( $10\text{ cm}^{-1}$ )。

### 3 讨论

从土壤温度基本变化特征可以看出，年内日平均土壤温度呈正弦曲线变化，升温过程明显小于降温过程，这与降温过程土壤水分蒸散减弱对热量散失的抑制有关<sup>[23]</sup>。随着季节的变化，土壤的日降温升温过程也存在较大的差异，夏季升温时间（8 h）为冬季升温时间（4 h）的2倍，主要由于夏季日照时间长于冬季。研究区内，夏季土壤昼夜温差最大，秋季的昼夜温差最小，主要由于达孜县夏季降水较多，且多夜雨，导致气温昼夜温差大<sup>[24]</sup>；秋季气候向干冷过渡，气温与降水急剧下降，气温昼夜温差小<sup>[25]</sup>。

土壤温度随海拔的升高而下降。杨梅学等<sup>[11]</sup>在青藏公路沿线的研究也证实：夏季土壤温度分布

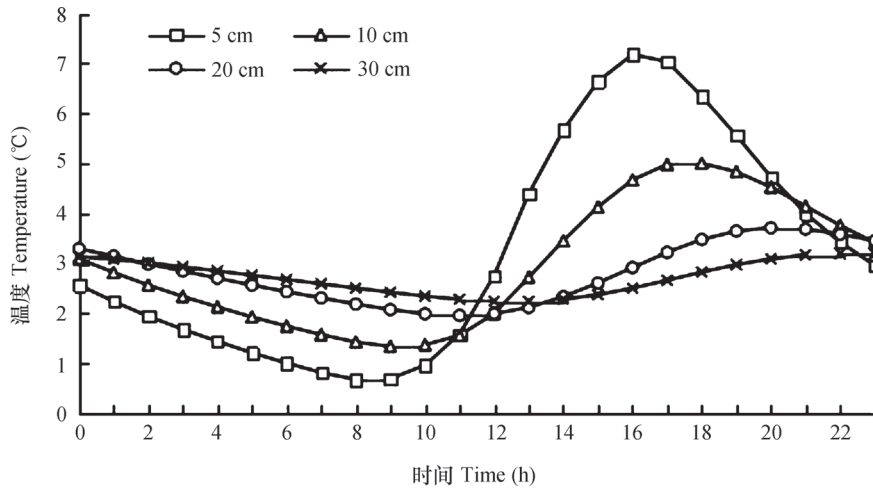


图6 不同深度土壤温度日变化过程

Fig. 6 Daily variation of soil temperature with soil depth

表2 不同深度土壤温度日平均值最大值和最小值

Table 2 Peak and bottom values of daily mean of soil temperature relative to soil depth

土壤深度 Soil depth (cm)	最大值 Maximum (°C)	时刻 Time (hh-mm)	最小值 Minimum (°C)	时刻 Time (hh-mm)	变幅 Amplitude (°C)
5	7.18	16: 00	0.68	08: 00	6.50
10	5.00	18: 00	1.34	09: 00	3.66
20	3.71	20: 00	1.96	11: 00	1.75
30	3.20	22: 00	2.24	13: 00	0.96

表现为明显的高度效应。依据其观测结果推算,夏季土壤温度在海拔梯度上以 $0.70\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ 速率下降,与本研究的观测结果相近( $0.76\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ );但其冬季土壤温度和年均土壤温度与海拔的关系较弱且变率低,主要是因为其观测点纬度差异较大,同时各观测区地表植被情况也不相同导致的。而本研究区内冬季土壤温度的变化速率明显,为 $-0.68\text{ }^{\circ}\text{C}(100\text{ m}^{-1})$ ,这可能是由于观测区设置在同一山坡、坡向、覆被条件下,研究结果较能有效减少其他因素的影响,更能体现海拔对土壤温度的影响。

土壤温度随着土层的增加呈逐渐降低的趋势。张慧智等<sup>[26]</sup>分析了全国20 cm深度土壤温度的变化特征,认为全国土壤平均温度全年最低值出现在1月,最高值出现在7月。而青藏高原中部BJ站(海拔4 509 m)土壤温度研究表明<sup>[15]</sup>,20 cm土壤温度最低值出现在1月,最高温出现在8月,与本观测结果接近。观测区内土壤温度最低值出现时间相

对于全国平均水平时间提前一个月,土壤温度最高值出现时间滞后一个月。这可能与观测区海拔高气温低,同时又处于山体北坡有关。本研究在0~20 cm内,土壤温度呈显著的正弦曲线变化,但随着深度增加变化趋于稳定;土壤温度最大值及最小值出现时间随着深度加深存在滞后现象。这与藏北高原<sup>[27]</sup>和东北半干旱区<sup>[28]</sup>研究规律一致;何汇虹和刘文兆<sup>[29]</sup>对黄土塬区土壤温度的研究表明,0~20 cm土壤温度呈正弦曲线变化,随着深度的增加土壤温度振幅逐渐减小;杨霞等<sup>[30]</sup>对阿克苏地区的研究表明,0~20 cm内土壤温度呈明显的变化特征,20 cm以后土壤温度变化比较稳定,深度每增加5 cm,土壤极值温度出现时间延迟1~2 h,这表明土壤温度日峰谷值的出现时间在深度层次上的变化特征受区域和土壤类型的影响不显著。同时,研究还发现20 cm深度是土壤冻融过程中土壤热量传递相对稳定的浅土层,主要原因是20 cm以上土壤温度更易受到气温、光照、降水等因素的影响。



## 4 结 论

研究区土壤温度变化特征基本遵循气温的变化规律, 最高温通常出现在夏季(8月), 最低温出现在冬季(12月), 且夏季升温过程明显长于冬季。土壤温度的海拔效应存在明显的季节性差异。夏季土壤温度沿海拔梯度的下降幅度最大, 达 $-0.76\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ m}^{-1}$ ); 冬季和春季土壤温度沿海拔梯度的变化速率接近气温沿海拔梯度的变化速率, 分别为 $-0.68\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ m}^{-1}$ )、 $-0.64\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ m}^{-1}$ ); 秋季土壤温度沿海拔梯度的下降幅度最小, 仅 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ m}^{-1}$ )。20 cm土层是土壤热量上下传递的稳定层。0~20 cm土壤冻融过程不稳定, 20 cm以下土壤冻融时间基本维持在1天。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. 地理学报, 2012, 67 (1): 3—12  
Sun H L, Zheng D, Yao T D, et al. Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibetan Plateau (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67 (1): 3—12
- [ 2 ] 郑度, 杨勤业, 刘燕华. 中国的青藏高原. 北京: 科学出版社, 1985: 54—57  
Zheng D, Yang Q Y, Liu Y H. The Chinese Tibetan Plateau (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985: 54—57
- [ 3 ] Kang S, Kim S, Oh S, et al. Prediction spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography surface cover and air temperature. *Forest Ecology and Management*, 2000, 136 (1/3): 173—184
- [ 4 ] 王洋, 刘景双, 王全英. 冻融作用对土壤团聚体及有机碳组分的影响. 生态环境学报, 2013, 22 (7): 1269—1274  
Wang Y, Liu J S, Wang Q Y. The effects of freeze-thaw processes on soil aggregates and organic carbon (In Chinese). *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22 (7): 1269—1274
- [ 5 ] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 青藏高原草地土壤有机碳库及其全球意义. 冰川冻土, 2002, 24 (6): 693—700  
Wang G X, Cheng G D, Shen Y P. Soil organic carbon pool of grasslands on the Tibetan Plateau and its global implication (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24 (6): 693—700
- [ 6 ] 李英年, 张法伟, 刘安花, 等. 矮嵩草草甸土壤温湿度对植被盖度变化的响应. 中国农业气象, 2006, 27 (4): 265—268, 272  
Li Y N, Zhang F W, Liu A H, et al. Responses of soil temperature and humidity to changes of vegetation coverage in Alpine *Kobresia tibetica* meadow (In Chinese). *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2006, 27 (4): 265—268, 272
- [ 7 ] Watson C L. Seasonal soil temperature regimes in south-eastern Australia. *Journal of Soil Research*, 1980, 18 (3): 325—331
- [ 8 ] 宋长春, 王毅勇. 湿地生态系统土壤温度对气温的响应特征及对CO<sub>2</sub>排放的影响. 应用生态学报, 2006, 17 (4): 4625—4629  
Song C C, Wang Y Y. Responses of soil temperature in wetland ecosystem to air temperature and their effects on CO<sub>2</sub> emission (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (4): 4625—4629
- [ 9 ] Davidson E C A, Belk E, Richard D B. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 1998, 4 (2): 217—227
- [ 10 ] 李卫朋, 范继辉, 沙玉坤, 等. 藏北高寒草原土壤温度变化与冻融特征. 山地学报, 2014, 32 (4): 407—416  
Li W P, Fan J H, Sha Y K, et al. Soil temperature variation and thaw-freezing cycle in the Alpine cold steppe, northern Tibetan Plateau (In Chinese). *Mountain Research*, 2014, 32 (4): 407—416
- [ 11 ] 杨梅学, 姚檀栋, 小池俊雄. 藏北高原土壤温度分布的纬向效应和高度效应. 山地学报, 1999, 17 (4): 329—332  
Yang M X, Yao T D, Koike T. The latitude and elevation effects of the ground temperature distribution in northern Tibet Plateau (In Chinese). *Mountain Research*, 1999, 17 (4): 329—332
- [ 12 ] Shreve F. Soil temperature as influenced by altitude and slope exposure. *Ecology*, 1924, 5 (2): 128—136
- [ 13 ] 杨梅学, 姚檀栋, 丁永建, 等. 藏北高原D110点不同季节土壤温度的日变化特征. 地理科学, 1999, 19 (6): 570—574  
Yang M X, Yao T D, Ding Y J, et al. The daily variation of the soil temperature in different seasons at site D110 in the northern part of Xizang Plateau (In Chinese). *Science Geographica Sinica*, 1999, 19 (6): 570—574
- [ 14 ] 赵逸舟, 马耀明, 马伟强, 等. 藏北高原土壤温湿变化特征分析. 冰川冻土, 2007, 29 (4): 578—583  
Zhao Y Z, Ma Y M, Ma W Q, et al. Variations of soil temperature and soil moisture in northern Tibetan

- Plateau (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29 (4): 578—583
- [15] Wan G N, Yang M X, Wang X J, et al. Variations in soil temperature at BJ site on the central Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 2012, 9 (2): 274—285
- [16] Liu X S, Luo T X. Spatiotemporal variability of soil temperature and moisture across two contrasting timberline ecotones in the Sergyemla Mountains, southeast Tibet. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2011, 43 (2): 229—238
- [17] Shanks R E. Altitudinal and microclimatic relationships of soil temperature under natural vegetation. *Ecology*, 1956, 37 (1): 1—7
- [18] Zhang Y L, Wang Z F, Wang C L, et al. Wetland distribution in Lhasa area and Lhasa river basin, Tibet Autonomous Region. Beijing: Meteorological Press, 2015: 1
- [19] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003: 118—130  
China Meteorological Administration. Ground weather monitoring specification (In Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2003: 118—130
- [20] 德庆措姆, 索朗旦巴. 西藏气候的初步分析. *西藏科技*, 2002 (8): 49—51  
Deqing C M, Suolang D B. A preliminary analysis on the climate of Tibet (In Chinese). *Tibet's Science & Technology*, 2002 (8): 49—51
- [21] 谢健, 刘景时, 杜明远, 等. 念青唐古拉山南坡夏季降水梯度观测. *水资源与水工程学报*, 2009, 20 (5): 14—18  
Xie J, Liu J S, Du M Y, et al. Observation of summer precipitation along an altitudinal transect in southern slopes of Tanggula Mountains (In Chinese). *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2009, 20 (5): 14—18
- [22] 杨兴国, 秦大河, 张廷军, 等. 珠穆朗玛峰北坡地区气温和湿度变化特征. *气象学报*, 2012, 70 (4): 855—866  
Yang X G, Qin D H, Zhang T J, et al. Characteristics of the air temperature and humidity on the north slope of Mt Qomolangma (In Chinese). *Acta Meteorologica Sinica*, 2012, 70 (4): 855—866
- [23] Cheng S, Zhang L, Song H T, et al. A soil temperature control system for sapling study in alpine region. *Journal of Mountain Science*, 2011, 8 (5): 739—749
- [24] 西藏自治区地方志编纂委员会. 达孜县志. 北京: 中国藏学出版社, 2013: 14—15  
Tibet Autonomous Region Local Chronicles Compilation Committee. Dagze County records (In Chinese). Beijing: China Tibetology Press, 2013: 14—15
- [25] 刘燕华. 青藏高原拉萨河谷地区自然地理研究. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 1981: 11—12  
Liu Y H. Geographical studies in the Lhasa river valley, Tibetan Plateau (In Chinese). Beijing: Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 1981: 11—12
- [26] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究. *土壤学报*, 2009, 46 (2): 227—234  
Zhang H Z, Shi X Z, Yu D S, et al. Seasonal and regional variations of soil temperature in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (2): 227—234
- [27] 杨梅学, 姚檀栋, 丁永建, 等. 藏北高原土壤温度的日变化. *环境科学*, 1999, 2 (3): 6—9  
Yang M X, Yao T D, Ding Y J, et al. The diurnal variation of the soil temperature in the northern part of Tibetan Plateau (In Chinese). *Environmental Science*, 1999, 2 (3): 6—9
- [28] 涂钢, 刘辉志, 董文杰. 东北半干旱区退化草地土壤温度的日、季变化特征. *高原气象*, 2008, 27 (4): 741—748  
Tu G, Liu H Z, Dong W J. Diurnal and seasonal variations of the soil temperature of degraded-grassland over semi-arid area in northeast China (In Chinese). *Plateau Meteorology*, 2008, 27 (4): 741—748
- [29] 何汇虹, 刘文兆. 黄土塬区农田土壤温度变化特征研究. *水土保持研究*, 2013, 20 (5): 124—128  
He H H, Liu W Z. Study on characteristics of soil temperature changes in arable land on the Loess Tableland (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20 (5): 124—128
- [30] 杨霞, 赵逸舟, 罗继, 等. 阿克苏地区土壤温度特征分析. *干旱区资源与环境*, 2011, 25 (12): 97—101  
Yang X, Zhao Y Z, Luo J, et al. Characteristics of soil temperature variations in Akesu (In Chinese). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25 (12): 97—101

## Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa

GONG Yuling<sup>1, 2</sup> WANG Zhaofeng<sup>2†</sup> ZHANG Yili<sup>2</sup> FENG Yongjun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

(<sup>2</sup> Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Soil temperature is one important environmental factor affecting soil formation and plant growth, especially in the alpine environment. The studies on plateau soil temperature may help researchers understand how soil heat is conducted during the freezing and thawing process as well as how fragile the ecosystem of an alpine region is. However, so far the studies on soil temperature of alpine regions are not so helpful and instead affect proper characterization of the variation of soil temperature, because they are often conducted in fields different in vegetation, topography, latitude and longitude, etc. This study was laid out in a typical shrub meadow area of the Lhasa River Valley on a mountain slope uniform in natural conditions, including vegetation type, slope degree and aspect. The slope is covered dominantly with *Rhododendron primuliflorum*, making the total vegetation coverage up to 82%. The soil on the slope is of the type of sub-alpine shrub meadow soil, slightly acidic. Nine monitoring points were distributed over the slope from elevation of 4 000 m to 4 800 m with a gradient of 100 m; and in each point 2 temperature recorders (The Onset HOBO Company of USA; The type is U23-003; Operation range Internal sensors:  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) were placed, each with 4 temperature sensors placed at the depth of 5, 10, 20 and 30 cm, separately. Data were collected once an hour from October 5, 2013 to September 15, 2014. As the monitoring points at 4 000 m, 4 400 m and 4 700 m were damaged owing to unknown causes, only the data collected from the points at 4 100, 4 200, 4 300, 4 500, 4 600 and 4 800 m were analyzed with the typical statistical method for characteristics of the variation of soil temperature with elevation and soil depth gradients.

Results show that (1) in a year, the daily mean soil temperature within the 0 ~ 30 cm soil layer followed a cosine function curve, fluctuating within the range from  $-9.05\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $14.21\text{ }^{\circ}\text{C}$  and averaging  $2.94\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; it rose at a rate of  $0.11\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$  and fell at a rate of  $-0.19\text{ }^{\circ}\text{C d}^{-1}$ , and it displayed a rising trend for 106 days and a declining trend for 73 days, and remained frozen for 147 days in a year; (2) the soil temperature followed a quasi-sine curve in daily variation, fluctuating within the range of  $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; it varied sharper in summer than in fall; the rising trend of soil temperature lasted shorter than the declining trend did; and especially in winter, the former lasted for only 4 hours, the shortest among the four seasons; but in summer it did for 8 hours and peaked at 17: 00 and the soil temperature bottomed at 10: 00 within a day; (3) the annual mean soil temperature decreased with rising elevation, at a rate of  $-0.63\text{ }^{\circ}\text{C (100 m}^{-1}\text{)}$ , and the phenomenon was more obvious in summer than in the other seasons, with the rate being  $-0.76\text{ }^{\circ}\text{C (100 m}^{-1}\text{)}$  and the least in fall, being only  $-0.37\text{ }^{\circ}\text{C (100 m}^{-1}\text{)}$ ; variation coefficient of the soil temperature increased with rising elevation, which indicates that soil temperature varies sharply and intricately with elevation; (4) the annual mean soil temperature was a power function of soil depth; with increasing depth, soil temperature varied less and less, the difference between soil layers in temperature became narrower and narrower, and the occurrence of peak and bottom values was delayed; during the temperature rising period,

soil heat transferred downward, while during the temperature declining period, it did reversely; during the period when the soil was frozen, variation of soil temperature tended to be uniform regardless of soil depth; however, freeze-up of the top soil layer lasted the longest, for about 149 days; and soil heat transfer at 20cm in depth was relatively steady during the freezing–thawing process; and (5) in the sight of diurnal variation of soil temperature relative to soil depth, soil temperature descended in variation range and peak value with increasing soil depth, but ascended in bottom value; and in soil layers below 10cm, the occurrence of peak and bottom values of soil temperature was delayed by 2 h (10 cm<sup>-1</sup>).

**Key words** Tibetan Plateau; Shrub meadow area; Soil temperature; Altitude

(责任编辑: 汪枳生)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review ..... WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu ( 290 )  
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review ..... WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. ( 303 )

**Insights and Perspectives**

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science ..... CAI Zucong, HUANG Xinqi ( 310 )

**Research Articles**

- Element Migration in S<sub>3</sub> Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication ..... CHU Chunjie, ZHAO Jingbo ( 320 )  
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation ..... LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. ( 330 )  
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared ( VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation ..... LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. ( 340 )  
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm ..... WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. ( 353 )  
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei ..... DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. ( 363 )  
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow ..... MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. ( 373 )  
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area ..... WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. ( 386 )  
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ..... ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang ( 399 )  
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method ..... LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong ( 409 )  
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa ..... GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. ( 419 )  
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size ..... YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. ( 426 )  
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols ..... LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. ( 436 )  
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ..... ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao ( 448 )  
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil ..... KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. ( 455 )  
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region ..... CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. ( 466 )  
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil ..... HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. ( 475 )  
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ..... ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. ( 488 )  
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ..... ZHENG Yan, JIA Zhongjun ( 500 )  
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn ..... MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. ( 508 )  
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator ..... WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. ( 521 )  
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet ..... SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. ( 531 )  
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil ..... KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. ( 542 )

**Research Notes**

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite ..... YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. ( 550 )  
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol ..... MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. ( 559 )

**Cover Picture:** Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation ( by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 卢 萍 檀满枝 陈荣府

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

