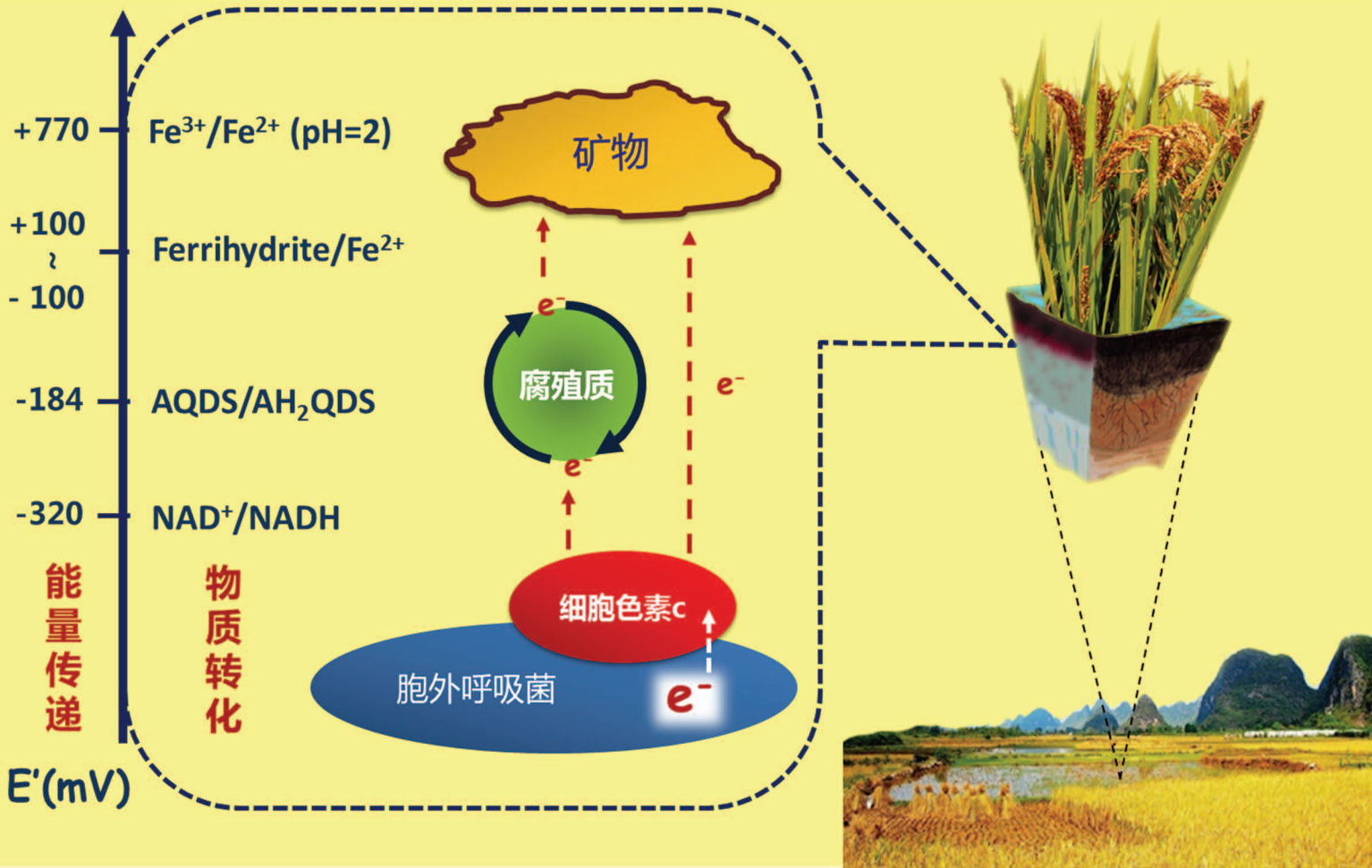


# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

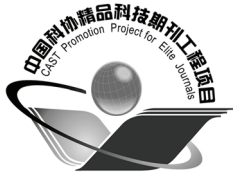


中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

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 $S_3$ 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/trxb201502270063

## 基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况\*

陆晓辉<sup>1</sup> 董宇博<sup>1</sup> 涂成龙<sup>2</sup>

(1 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

(2 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

**摘要** 土壤温度状况是土壤系统分类重要的土壤诊断特性, 是土壤某些分类单元的划分依据。以贵州省 86 个气象站点 (1951/71—1980) 地面气候资料为基础, 应用不同的土壤温度估算方法 (土温内插法、土温直接估算、纽荷模型估算、气温回归估算法、纬度海拔回归估算法), 判定贵州省各县 (市) 的土壤温度状况。结果表明, 5 种方法的估算结果基本一致, “不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”方法在贵州省土壤温度状况估算中的应用更为广泛。贵州省土壤温度状况包括温性、热性和高热性三种土壤温度状况类型; 有 80 个县 (市) 的估算结果属于热性土壤温度状况; 威宁、大方属于温性土壤温度状况; 有 4 个县 (市) 估算结果处在不同土壤温度状况临界值附近, 存在两种土壤温度状况, 其中水城、开阳和习水存在温性和热性两种土壤温度状况, 而罗甸则存在高热性和热性两种土壤温度状况。将贵州省土壤温度状况作为诊断特性应用于土壤系统分类时, 应综合考虑成土环境条件。

**关键词** 土壤温度; 估算方法; 贵州省; 土壤系统分类

**中图分类号** P934; S155.3 **文献标识码** A

土壤温度是表征土壤性质的重要参数, 其影响着土壤形成过程中的物理过程、化学过程和生物学过程。现代土壤分类将土壤温度状况作为重要的土壤诊断特性, 并将它作为某些土壤分类单元划分的依据<sup>[1]</sup>。

在我国一些学者采用不同的估算方法研究了不同地域的土壤温度状况, 取得了一定的研究成果。杨学明<sup>[2]</sup>采用内插法估算 50 cm 深处的年均土温, 之后建立了 50 cm 深处的年均土温与年平均大气温度、年降水量、< 0℃ 期间的降水量和年均风速的回归方程, 用于研究吉林省各地区的土壤温度状况; 林世如和杨心仪等<sup>[3]</sup>首先建立年平均气温与纬度、经度和海拔高度的回归方程, 然后建立不同深度的土壤平均温度和年平均气温平均差值与土壤深度的回归方程, 进而获得 50 cm 深处年平均土

温与经度、纬度和海拔高度的回归方程, 用来估算广西省各区域的土壤温度状况; 陈健飞<sup>[4]</sup>则根据当地土温与气温的相关性, 由气温资料推算年平均土温和冬、夏季土温差, 从而确定了福建省不同区域的土壤温度状况等级; 冯学民和蔡德利等<sup>[5]</sup>进行了全国的土壤温度与气温及纬度和海拔关系的研究; 潘静娴等<sup>[6]</sup>利用修改后的纽荷模型, 计算新疆地区土壤温度状况等级, 并根据温度与海拔高度的回归方程, 确定山地土温类别的分布上下限; 曹祥会等<sup>[7]</sup>利用 GIS 空间分析技术, 对河北省近 60 年的土壤温度和干湿状况的时空变化规律进行了分析; 张慧智等<sup>[8]</sup>则利用 GIS 空间分析技术, 分析了我国土壤温度的季节变化及其区域分异特征。以往相关研究中关于贵州省土壤温度状况的研究未见报道。

\* 国家自然科学基金项目 (41261058)、水利部公益性项目 (201401050) 和贵州省社发项目 (黔科合 SY 字 { 2012 } 3042) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41261058), the Public Welfare Project of Ministry of Water Resources (No. 201401050), and the Project of Social Development of Guizhou Province (QianKe SY { 2012 } 3042)

作者简介: 陆晓辉 (1977—), 女, 吉林双辽人, 硕士研究生, 副教授, 主要从事土壤地理研究。E-mail: lu\_xiaohui@126.com

com

收稿日期: 2015-02-27; 收到修改稿日期: 2015-09-14

土壤温度状况是指土表下50 cm深处或浅于50 cm的石质或准石质接触面处的土壤温度<sup>[9]</sup>。要确定一个地方的土壤温度状况,需要长期定位观测50 cm深度的土壤温度,到目前为止贵州省乃至全国均缺少这方面的数据资料,学者们常用气象数据估算土壤温度。贵州省内有86个气象台站,有丰富的气候资料,并且全部气象台站均开展了地温观测。可以利用贵州省的各个气象台站的数据资料,通过已有土壤温度的不同估算方法,评定贵州省不同县(市)的土壤温度状况。本研究结果将为贵州省土壤系统分类研究提供诊断特性方面的必要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 基础数据

基础数据来源于《贵州省地面气候资料(1951/71—1980累年值)》<sup>[10]</sup>,引用的主要数据包括86个站点0、5、10、15、20、40、80 cm深度土壤多年平均温度,各观测站点的多年年均气温,及各站点所在地的经度、纬度和海拔高度。

### 1.2 估算方法

采用50 cm深处土壤温度估算方法有:(1)土温内插法<sup>[1]</sup>:根据相近深度的已知土温估算50 cm深度土温的方法。考虑到40~80 cm土体内的温度梯度较小,而且大体上呈线性变化,因此可以根据40~80 cm的土温用内插法求得50 cm的土温,即年均土温(50 cm)=年均土温(40 cm)+[年均土温(80 cm)-年均土温(40 cm)]/4。(2)

土温直接估算法<sup>[4]</sup>:将20 cm深处年平均地温视为与50 cm深处年平均土温相当。(3)纽荷模型估算法<sup>[6]</sup>:计算50 cm深处土壤温度一律是年平均气温加2.5℃,即年均土温(50 cm)=年均气温+2.5℃。(4)气温回归估算法<sup>[5]</sup>:冯学民和蔡德利对全国30个省(自治区、直辖市)150个气象站的年平均气温(℃)与50 cm深处年平均土温 $y$ (℃)建立回归方程, $y=2.9001+0.9513x$ ( $r=0.9889$ )。(5)纬度海拔回归估算法<sup>[5]</sup>:冯学民对全国30个省(自治区、直辖市)150个气象站的纬度 $x_1$ (°)、海拔高度 $x_2$ (m)与50 cm深处年平均土温(℃)建立多元回归方程, $y=40.25-0.7166x_1-0.002389x_2$ ( $r=0.9515$ )。

### 1.3 统计分析

对基于不同估算方法获得的贵州省各县市的土壤温度进行格拉布斯检验,当 $|t_p - \bar{t}| > G(a, n)s$ 时,则应将 $t_p$ 剔除。式中, $t_p$ 为土壤温度, $\bar{t}$ 为平均值, $s$ 为标准偏差, $G(a, n)$ 为格拉布斯检验临界值。

## 2 结果

### 2.1 土温内插法预测

贵州省只有贵阳、遵义和毕节3个气象台站有完整的0、5、10、15、20、40、80 cm深度的土壤温度观测数据,利用内插法估算50 cm土温结果见表1。三个站点土壤温度均 $\geq 15^\circ\text{C}$ ,但 $< 22^\circ\text{C}$ ,属于热性土壤温度状况。

表1 基于内插法的3个站点土壤温度状况

Table 1 Prediction of soil temperature regime at the three test sites using the interpolation method

站点 Site	不同深度的土温 Soil temperature of different depth (°C)							土温观测时间 Observation time of soil temperature (a)	内插法50cm土温 Soil temperature by the interpolation method (°C)	土壤温度状况 Soil temperature regime
	0cm	5cm	10cm	15cm	20cm	40cm	80cm			
贵阳 Guiyang	17.2	17.2	17.3	17.3	17.3	17.6	17.5	27	17.6	热性 Thermic
遵义 Zunyi	17.6	16.9	16.9	17.0	16.9	17.6	17.6	22	17.6	热性 Thermic
毕节 Bijie	15.7	15.5	15.6	15.6	15.6	16.1	16.4	22	16.2	热性 Thermic

## 2.2 土温直接估算

对上面3个气象站点不同深度多年平均土温进行单因素方差分析表明,  $p=0.947 > 0.05$  ( $n=21$ ), 即不同土层深度的土壤年均温差甚小。斯特拉勒也有相近的论断, 即每一单个土体中不同深度的任何土层, 其年平均温度基本相同<sup>[4]</sup>。故将20 cm深处年平均地温视为与50 cm深处年平均土温相当<sup>[4]</sup>。贵州省86个气象站均有20 cm深处土温的多年观测资料, 可以将20 cm深处年平均土温视为50 cm深处年平均土温(见表2), 进而确定贵州省不同区域土壤温度状况等级。结果表明, 威宁、大方、开阳3个站点土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 属于温性土壤温度状况; 罗甸土壤温度 $\geq 22^{\circ}\text{C}$ , 属于高热土壤温度状况; 其他区域土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

## 2.3 纽荷模型估算

纽荷模型计算50 cm深处土壤温度一律是年平均气温加 $2.5^{\circ}\text{C}$ <sup>[6]</sup>。根据贵州省86个气象站已有的5、10、15和20 cm土壤温度实测数据和气温实测数据的统计分析, 即计算所有气象站点不同深度的多年平均土壤温度与相应多年平均气温的差值, 然后求算所得差值平均数为1.8。基于贵州省土壤温度与气温的关系, 对纽荷模型估算的50 cm深度土壤温度进行修订, 即贵州省年均土温(50cm)=年均气温+ $1.8^{\circ}\text{C}$ 。估算结果见表2, 结果表明, 习水、毕节、大方、威宁、开阳、水城6个站点土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 属于温性土壤温度状况; 其他区域土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

## 2.4 气温回归估算

冯学民<sup>[5]</sup>对全国30个省(自治区、直辖市)150个气象站的年平均气温 $x(^{\circ}\text{C})$ 与50 cm深处年平均土温 $y(^{\circ}\text{C})$ 建立回归方程,  $y=2.9001+0.9513x$  ( $r=0.9889$ )。将贵州省84个站点多年平均气温代入回归方程后, 各站点50 cm土壤温度见表2。结果表明: 大方、威宁、水城3个站点土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 属于温性土壤温度状况; 其他区域土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

## 2.5 纬度海拔回归估算

冯学民<sup>[5]</sup>对全国30个省(自治区、直辖市)

150个气象站的纬度 $x_1(^{\circ})$ 、海拔高度 $x_2(\text{m})$ 与50 cm深处年平均土温 $y(^{\circ}\text{C})$ 建立多元回归方程,  $y=40.2495-0.7166x_1-0.0024x_2$  ( $r=0.9515$ )。将贵州省84个站点纬度及海拔高度代入回归方程, 各站点50 cm土壤温度预测结果见表2。结果表明, 贵州省各站点所在地土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

由于利用全国纬度海拔回归估算分析的结果与前面3种方法存在较大差异, 故笔者利用贵州已有的84个站点20 cm的多年平均土温 $y(^{\circ}\text{C})$ 与对应站点的纬度 $x_1(^{\circ})$ 、海拔 $x_2(\text{m})$ 、经度 $x_3(^{\circ})$ 建立多元回归方程,  $y=132.979-0.541x_1-0.005x_2-0.9x_3$  ( $r=0.951$ )。应用此回归方程计算各站点的土壤温度见表2, 结果表明: 毕节地区的大方和威宁土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 为温性土壤温度状况, 其他区域土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

贵州位于云贵高原向东部湖南低山丘陵过渡的梯级状斜坡地带, 西部威宁、赫章一带为高原, 中部为丘原和山原, 东部为低山丘陵, 地势西高东低, 呈三级梯面下降。同时, 地势从中部的贵阳向南部的罗甸和北部的桐梓等地逐渐降低<sup>[11]</sup>。即全省地势西部最高, 中部次之, 向北、东、南三面倾斜。鉴于贵州省特殊的地势情况, 笔者按海拔高度 $\leq 800\text{ m}$ 、 $800\text{ m} < \text{海拔高度} \leq 1\ 400\text{ m}$ 和海拔高度 $> 1\ 400\text{ m}$ 划分84个站点, 分别进行多年平均土温 $y(^{\circ}\text{C})$ 与纬度 $x_1(^{\circ})$ 、海拔高度 $x_2(\text{m})$ 和经度 $x_3(^{\circ})$ 的回归分析。其中, 海拔 $\leq 800\text{ m}$ 的站点37个, 多元回归方程为 $y=129.57-0.551x_1-0.006x_2-0.864x_3$  ( $r=0.910$ );  $800\text{ m} < \text{海拔} \leq 1\ 400\text{ m}$ 的站点37个, 多元回归方程为 $y=133.693-0.3514x_1-0.005x_2-0.916x_3$  ( $r=0.864$ ); 海拔 $> 1\ 400\text{ m}$ 的站点10个, 多元回归方程为 $y=141.454-0.724x_1-0.3005x_2-0.945x_3$  ( $r=0.976$ )。应用上述回归方程估算站点的土壤温度见表2, 估算结果小于或等于不区分海拔高度的贵州省经纬度海拔回归估算结果, 分析表明毕节、大方、威宁和水城土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 为温性土壤温度状况; 其他区域土壤温度均 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 22^{\circ}\text{C}$ , 属于热性土壤温度状况。

表2 利用不同方法估算贵州省各县市气象站所在地的土壤温度状况

Table 2 Soil temperature regimes at the meteorological stations in Guizhou relative to estimation method ( °C )

地区 Region	站名 Weather station	土温直接估算 ①	纽荷模型估算②	全国气温回归估算 ③	全国纬度海拔回归估算④	贵州省经纬度海拔回归估算⑤	不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算⑥	土壤温度状况⑦	G (0.05, 6) S	不同方法最大值与算术平均数差值⑧
遵义 Zunyi	道真	16.9	17.4	17.4	17.9	17.1	16.6	热性 <sup>a</sup>	0.8	0.7
	赤水	19.6	19.9	19.6	19.1	20.9	20.8	热性	1.3	0.9
	正安	17.8	18.0	17.9	18.2	17.4	17.0	热性	0.8	0.5
	务川	17.3	17.3	17.3	18.2	17.1	16.7	热性	0.9	0.9
	习水	15.0	14.9	15.3	17.1	16.2	15.9	热性 (温性) <sup>b</sup>	1.5	1.4
	桐梓	17.0	16.5	16.6	17.8	16.7	16.5	热性	0.9	0.9
	凤岗	17.4	17.0	17.1	18.5	17.4	16.9	热性	1.1	1.1
	绥阳	16.9	16.8	16.9	18.1	17.1	16.8	热性	0.9	1.0
	仁怀	17.6	18.4	18.3	18.2	16.9	16.6	热性	1.4	0.7
	湄潭	16.4	16.7	16.8	18.5	17.3	16.7	热性	1.4	1.4
	遵义	16.9	17.0	17.1	18.4	16.7	16.4	热性	1.3	1.3
	遵义县	16.6	16.4	16.6	18.2	17.2	16.9	热性	1.2	1.2
余庆	18.1	18.3	18.2	19.4	18.4	18.0	热性	0.9	1.0	
铜仁 Tongren	沿河	19.3	19.3	19.1	19.7	18.7	18.7	热性	0.7	0.6
	德江	17.5	17.7	17.7	19.4	18.2	17.9	热性	1.3	1.3
	松桃	17.9	18.1	18.0	19.1	18.4	18.2	热性	0.8	0.8
	印江	18.2	18.6	18.5	19.1	18.0	17.8	热性	0.9	0.7
	思南	18.9	19.0	18.8	18.5	17.8	17.6	热性	1.1	0.6
	思南塘头	19.1	19.2	19.0	19.4	18.5	18.3	热性	0.8	0.5
	铜仁	18.8	18.7	18.5	19.7	18.3	18.3	热性	1.0	1.0
	江口	18.1	18.0	17.9	19.5	18.2	18.1	热性	1.1	1.2
	石阡	18.5	18.6	18.5	19.4	18.3	18.1	热性	0.8	0.8
	铜仁万山	15.3	15.2	15.5	18.4	15.4	15.1	热性	2.3	2.6
玉屏	18.0	18.2	18.1	19.8	18.4	18.3	热性	1.2	1.3	
毕节 Bijie	金沙	16.5	16.9	17.0	18.4	17.9	17.7	热性	1.3	1.0
	毕节	15.6	14.6	15.0	17.1	15.9	14.7	热性 (温性) <sup>b</sup>	1.7	1.6
	大方	14.3	13.6	14.1	16.8	14.8	13.6	温性 (热性) <sup>c</sup>	2.2	2.3
	赫章	15.4	15.2	15.5	17.2	16.4	15.2	热性	1.5	1.4
	黔西	16.3	15.6	15.9	17.9	16.7	16.4	热性	1.5	1.4
	威宁	13.2	12.3	13.0	15.7	13.4	12.3	温性 (热性) <sup>c</sup>	2.3	2.4
	纳雍	16.0	15.5	15.8	17.6	16.4	15.2	热性	1.5	1.5
织金	16.2	15.9	16.1	18.0	16.8	16.5	热性	1.4	1.4	

续表

地区 Region	站名 Weather station	土温直 接估算 ①	纽荷模型 估算②	全国气温 回归估算 ③	全国纬度 海拔回归 估算④	贵州省经纬 度海拔回归 估算⑤	不同海拔的贵州 省经纬度海拔回 归估算⑥	土壤温度 状况⑦	G (0.05, 6) S	不同方法最大 值与算术平均 数差值⑧
黔东南 Southeast of Guizhou Province	岑巩	17.8	18.0	17.9	19.8	18.5	18.4	热性	1.3	1.4
	镇远	18.3	18.2	18.1	19.8	18.4	18.2	热性	1.2	1.3
	施秉	18.4	18.2	18.1	19.6	18.4	18.1	热性	1.0	1.1
	黄平旧州	17.5	17.5	17.5	19.3	17.9	17.5	热性	1.3	1.4
	三穗	17.1	16.7	16.8	19.5	17.5	17.2	热性	1.9	2.0
	天柱	18.3	17.9	17.9	20.0	18.2	18.0	热性	1.5	1.6
	黄平	16.5	16.5	16.6	19.0	17.1	16.9	热性	1.8	1.9
	台江	17.3	17.5	17.5	19.6	17.9	17.5	热性	1.6	1.7
	锦屏	18.2	18.2	18.1	20.3	18.6	18.5	热性	1.5	1.7
	凯里炉山	16.3	16.3	16.5	19.0	17.0	16.7	热性	1.9	2.0
	凯里	18.0	17.5	17.5	19.5	17.8	17.3	热性	1.5	1.6
	麻江	15.9	16.3	16.5	18.9	16.9	16.6	热性	1.9	2.1
	剑河	18.1	18.5	18.4	20.1	18.5	18.3	热性	1.3	1.5
	雷山	17.0	17.2	17.6	—	—	—	热性	—	—
	黎平	17.2	17.4	17.4	20.1	17.7	17.4	热性	2.0	2.2
	丹寨	16.7	16.5	16.6	19.2	17.0	16.7	热性	1.9	2.1
	榕江	20.0	19.9	19.6	21.0	19.8	19.8	热性	0.9	1.0
从江	19.9	20.2	19.8	21.3	19.9	19.9	热性	1.0	1.1	
安顺Anshun	平坝	16.5	15.9	16.1	18.3	16.8	16.5	热性	1.6	1.6
	普定	17.3	16.9	17.0	18.4	17.3	17.0	热性	1.0	1.1
	安顺	16.2	15.8	16.0	18.1	16.5	16.2	热性	1.5	1.6
	镇宁	17.2	16.8	16.9	18.5	17.3	17.0	热性	1.1	1.2
	关岭	18.3	18.0	17.9	19.1	18.5	18.2	热性	0.8	0.8
	紫云	17.1	17.1	17.2	19.0	17.8	17.5	热性	1.3	1.4
黔南 South of Guizhou Province	瓮安	15.6	15.4	15.7	18.2	16.1	15.9	热性	1.9	2.1
	福泉	16.2	16.1	16.3	18.9	17.2	16.9	热性	1.9	2.0
	贵定	16.4	16.8	16.9	18.7	16.9	16.7	热性	1.5	1.6
	龙里	16.8	16.6	17.0	—	—	—	热性	—	—
	都匀	17.4	17.7	17.7	19.6	18.1	17.6	热性	1.5	1.6
	惠水	17.4	17.6	17.6	19.2	18.1	17.8	热性	1.2	1.3
	长顺	16.6	16.9	17.0	19.0	17.6	17.4	热性	1.6	1.6
	三都	20.0	19.8	19.5	20.5	19.5	19.3	热性	0.8	0.7
	独山	16.7	16.8	16.9	19.4	17.3	17.0	热性	1.9	2.1
	平塘	18.9	18.8	18.6	19.9	18.7	18.1	热性	1.1	1.1
	罗甸	22.2	21.4	20.9	21.0	20.9	20.7	热性 (高热性) <sup>d</sup>	1.0	1.0
荔波	19.9	20.1	19.7	21.0	20.0	19.8	热性	0.9	0.9	

续表

地区 Region	站名 Weather station	土温直 接估算 ①	纽荷模型 估算②	全国气温 回归估算 ③	全国纬度 海拔回归 估算④	贵州省经纬 度海拔回 归估算⑤	不同海拔的贵州 省经纬度海拔回 归估算⑥	土壤温度 状况⑦	G (0.05, 6) S	不同方法最大 值与算术平均 数差值⑧
贵阳 Guiyang	乌当	16.8	16.5	17.3	18.5	17.0	16.7	热性	1.3	1.4
	贵阳	17.3	17.1	17.1	18.6	17.2	16.9	热性	1.1	1.2
	花溪	16.7	16.7	16.8	18.7	17.2	16.9	热性	1.4	1.5
	息烽	16.3	16.2	16.4	18.4	17.1	16.8	热性	1.5	1.5
	开阳	14.4	14.6	15.0	17.6	15.3	15.0	热性 (温性) <sup>b</sup>	2.1	2.3
	修文	15.8	15.4	15.7	18.0	16.3	16.0	热性	1.7	1.8
	清镇	15.5	15.9	16.1	18.2	16.5	16.2	热性	1.7	1.8
六盘水 Liupanshui	水城	15.1	14.1	14.6	16.9	15.2	14.1	温性 (热性) <sup>c</sup>	1.9	1.9
	六枝	16.5	16.3	16.5	18.2	17.1	16.0	热性	1.4	1.4
	盘县	17.3	17.0	17.1	18.1	17.2	16.3	热性	1.1	0.9
黔西南 Southwest of Guizhou Province	晴隆	16.0	15.8	16.0	18.0	16.5	15.6	热性	1.6	1.7
	普安	15.9	15.5	15.8	17.8	16.3	15.3	热性	1.6	1.7
	兴仁	17.1	17.0	17.1	18.7	17.7	17.4	热性	1.2	1.2
	贞丰	18.3	18.4	18.3	19.6	19.0	18.7	热性	0.9	0.9
	望谟	21.3	20.8	20.4	20.8	21.0	20.7	热性	0.5	0.5
	安龙	17.2	16.9	17.0	18.9	17.5	17.2	热性	1.3	1.5
	兴义	18.6	18.5	18.4	19.2	18.5	18.2	热性	0.6	0.6
册亨	20.8	20.2	19.8	21.0	21.4	21.0	热性	1.1	0.7	

① Direct estimation based on soil temperature; ② Newhall model-based estimation; ③ National air temperature-based regression estimation of China; ④ Estimation using regression of latitude and altitude; ⑤ Estimation using regression of longitude, latitude and altitude of Guizhou Province; ⑥ Regression estimation based on longitude, latitude and altitude of the regions different in altitude in Guizhou Province; ⑦ Soil temperature regime; ⑧ Difference between the maximum and the average; a: Thermic; b: Thermic (Mesic) c: Mesic (Thermic) d: Thermic (Hyperthermic)

### 3 讨 论

对表2中不同方法估算的各站点土壤温度进行格拉布斯检验, 格拉布斯检验临界值 $G(0.05, 6) = 1.822$ , 检验结果表明: 不同站点土壤温度的最大值中43个数值应该剔除, 且43个数值均来自全国纬度海拔回归估算, 说明“全国纬度海拔回归估算”结果与其他方法估算结果差异较大, 此方法不适宜应用于贵州; 不同站点土壤温度的次最大值和最小值均应保留, 不同站点土壤温度最小值中, 有34个源于“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”, 说明在贵州省土壤温度经纬度海拔回归估算中区分海拔高度分别进行估算是合理的。

基于“土温内插法”、“土温直接估算”、“纽荷模型估算”、“全国气温回归估算”和“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”的结果, 结合贵州省不同县(市)的自然地理条件, 讨论如下:

毕节地区威宁县是贵州省地势最高的县, 平均

海拔2 166 m, 年平均气温 $10.5^{\circ}\text{C}$ , 利用不同方法估算土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 故判定土壤温度状况属温性土壤温度状况。在中国温性土壤温度状况分布地区中也包括贵州威宁<sup>[1]</sup>。毕节地区的大方县, 平均海拔1 599 m, 年平均气温 $11.8^{\circ}\text{C}$ 。利用不同方法估算土壤温度均 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , 但 $< 15^{\circ}\text{C}$ , 故判定土壤温度状况属温性土壤温度状况。毕节地区的毕节市, 平均海拔1 529 m, 年平均气温 $12.8^{\circ}\text{C}$ 。“土温内插法”估算土壤温度为 $16.2^{\circ}\text{C}$ ; 在“纽荷模型估算”和“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”中土壤温度分别为 $14.6^{\circ}\text{C}$ 和 $14.7^{\circ}\text{C}$ ; 在“土温直接估算”和“全国气温回归估算”中土壤温度分别为 $15.6^{\circ}\text{C}$ 和 $15.0^{\circ}\text{C}$ 。有3种方法估算结果在热性土壤温度范围内, 2种方法的估算结果略低于热性土壤温度的下限, 但一般认为根据相近深度的已知土温估算结果较为精确, 故判定毕节市为热性土壤温度状况, 在中国热性土壤温度状况分布地区中也包括贵州毕节<sup>[1]</sup>。六盘水市的



水城县, 平均海拔1 723 m, 年平均气温12.3℃。在“纽荷模型估算”、“全国气温回归估算”和“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”中土壤温度分别为14.1℃、14.6℃和14.1℃, 均为温性土壤温度状况; 在“土温直接估算”中土壤温度为15.1℃, 非常接近温性土壤温度状况的上限15℃。结合水城县的自然环境条件判定, 水城县属温性土壤温度状况, 但个别区域也可能出现热性土壤温度状况。贵阳市的开阳县位于黔中地区, 平均海拔1 073 m, 年平均气温12.8℃。在“土温直接估算”和“纽荷模型估算”中土壤温度分别为14.4℃和14.6℃, 在“全国气温回归估算”和“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”中土壤温度均为15.0℃。结合开阳县的自然环境条件判定, 开阳县为温性土壤温度状况, 同时不排除热性土壤温度状况的可能, 实际应用中应综合考虑成土环境条件。遵义地区的习水县, 平均海拔1 054 m, 年平均气温13.1℃。“纽荷模型估算”土壤温度为14.9℃, “土温直接估算”、“气温回归估算”和“不同

海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”结果分别为15.0℃、15.3℃和15.9℃。结合习水县的自然环境条件判定, 习水县属热性土壤温度状况, 但也不排除出现温性土壤温度状况的可能。中国温性土壤温度状况分布地区中包括贵州习水<sup>[1]</sup>。

黔南州的罗甸县位于贵州高原南缘向广西丘陵过度的斜坡地带, 平均海拔746 m, 气候属于南亚热带季风湿润半湿润气候区, 年平均气温19.6℃, 气温居全省之冠。只有利用“土温直接估算法”时土壤温度为22.2℃, 其他3种方法估算土壤温度分别为21.4℃、20.9℃和20.7℃, 均低于高热性土壤温度状况的下限值22℃。结合罗甸县的自然环境条件判定, 罗甸土壤温度状况有“高热性”和“热性”两种可能, 实际应用时应综合考虑成土环境条件。在中国高热性土壤温度状况分布地区中包括贵州罗甸<sup>[1]</sup>。

贵州省其他79个县(市)估算的土壤温度均≥15℃, 但<22℃, 属于热性土壤温度状况。

综上所述, 贵州省土壤温度状况可划分为三种

表3 贵州省各县市气象站所在地的土壤温度状况

Table 3 Soil temperature regime at various county-level meteorological stations in Guizhou

土壤温度状况 Soil temperature regime	地区 Region	地点 Location
温性Mesic	毕节Bijie	威宁、大方
	六盘水Liupanshui	水城*
	遵义Zunyi	习水*
	贵阳Guiyang	开阳*
热性Thermic	遵义Zunyi	道真、赤水、正安、务川、习水*、桐梓、凤岗、绥阳、仁怀、湄潭、遵义、遵义县
	铜仁Tongren	沿河、德江、松桃、印江、思南、思南塘头、铜仁、江口、石阡、铜仁万山、玉屏
	毕节Bijie	金沙、毕节、赫章、黔西、纳雍、织金
	黔东南Southeast of Guizhou Province	岑巩、镇远、施秉、黄平旧州、三穗、天柱、黄平、台江、锦屏、凯里、炉山、凯里、麻江、剑河、黎平、丹寨、榕江、从江
	安顺Anshun	平坝、普定、安顺、镇宁、关岭、紫云
	黔南South of Guizhou Province	瓮安、福泉、贵定、都匀、惠水、长顺、三都、独山、平塘、荔波、罗甸*
	贵阳Guiyang	乌当、贵阳、花溪、息烽、开阳*、修文、清镇
六盘水Liupanshui	水城*、六枝、盘县	
高热性Hyperthermic	黔西南Southwest of Guizhou Province	晴隆、普安、兴仁、贞丰、望谟、安龙、兴义、册亨
	黔南South of Guizhou Province	罗甸*

注: \*标注的地点说明有不排除出现其他相应土壤温度状况的可能 Note: The mark \* indicates the location may possibly have some other corresponding soil temperature regimes

类型,即高热性、热性和温性土壤温度状况,这与我国大陆各省(自治区、直辖市)土壤温度状况中贵州省的情况相符合<sup>[1]</sup>。贵州省各县(市)土壤温度状况详见表3。

## 4 结 论

“土温内插法”、“土温直接估算”、“组荷模型估算”、“全国气温回归估算”和“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”5种方法的估算结果基本一致,均适用于贵州省土壤温度状况的估算。但在无多年土壤温度实测数据或无多年气温实测数据的区域,“不同海拔的贵州省经纬度海拔回归估算”方法的应用更为广泛。贵州省土壤温度状况可划分为三种类型,即高热性、热性和温性土壤温度状况;贵州省有80个县(市)估算的土壤温度状况属于“热性”土壤温度状况;毕节地区威宁和大方的土壤温度状况属于“温性”土壤温度状况;有4个县(市)估算的结果处在不同土壤温度状况类型临界值附近,存在两种土壤温度状况。其中,水城、开阳和习水存在“温性”和“热性”两种土壤温度状况;而罗甸则存在“高热性”和“热性”两种土壤温度状况。在将贵州省土壤温度状况作为诊断特性应用于土壤系统分类时应注意:气象站可代表各县(市)受大气候制约的广大区域,但不反映山地垂直带和微地形引起的变化情况;由于毕节、水城、开阳、习水和罗甸存在两种土壤温度状况,实际运用时应综合考虑成土环境条件,尤其应注意地形条件。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 龚子同,张甘霖,陈志诚,等.土壤发生与系统分类.北京:科学出版社,2007:281—290  
Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C, et al. Pedogenesis and soil taxonomy (In Chinese). Beijing: Science Press, 2007: 281—290
- [ 2 ] 杨学明.土壤水热状况与土壤系统分类.土壤,1989,21(2):110—113  
Yang X M. Soil water and heat status and soil taxonomy (In Chinese). Soils, 1989, 21(2): 110—113
- [ 3 ] 林世如,杨心仪.土壤系统分类中年平均土温的判定.土壤,1990,22(1):41—42  
Lin S R, Yang X Y. The estimation of soil temperature in soil taxonomy (In Chinese). Soils, 1990, 22(1): 41—42
- [ 4 ] 陈健飞.土壤水分和温度状况的估算.土壤,1989,21(3):160—162  
Chen J F. The estimation of soil water and temperature (In Chinese). Soils, 1989, 21(3): 160—162
- [ 5 ] 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 X M, Cai D L. Soil temperature in relation to air temperature, altitude and latitude (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 489—491
- [ 6 ] 潘静娴,常松,钟骏平.新疆土壤系统分类土壤温度、水分状况图的编制.土壤,1997,29(4):194—199  
Pan J X, Chang S, Zhong J P. Compilation of soil temperature regime map and soil water status map in Xinjiang soil taxonomy (In Chinese). Soils, 1997, 29(4): 194—199
- [ 7 ] 曹祥会,雷秋良,龙怀玉,等.河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征.土壤学报,2015,52(3):528—537  
Cao X H, Lei Q L, Long H Y, et al. Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(3): 528—537
- [ 8 ] 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
- [ 9 ] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组.中国土壤系统分类检索.第3版.合肥:中国科学技术大学,2001:66  
Soil Taxonomy Research Group, Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Classification and retrieval of soil taxonomy in China (In Chinese). 3rd ed. Hefei: The University of Science and Technology of China, 2001: 66
- [ 10 ] 贵州省气象局.贵州省地面气候资料(1951/71—1980累年值).1981  
Meteorological Bureau of Guizhou Province. Station climatic data in Guizhou (1951/71—1980) (In Chinese). 1981
- [ 11 ] 贵州省土壤普查办公室.贵州省土壤.贵阳:贵州科学技术出版社,1994:3  
Soil Census Office in Guizhou Province. Guizhou soil (In Chinese). Guiyang: Science and Technology Press of Guizhou Province, 1994: 3

## Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method

LU Xiaohui<sup>1</sup> DONG Yubo<sup>1</sup> TU Chenglong<sup>2</sup>

(1 School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

(2 Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

**Abstract** Soil temperature regime refers generally to soil temperature at 50 cm (T50) in soil depth or at the interface between lithic or paralithic substance and soil in soil profiles thinner than 50 cm. It is an important parameter characterizing soil properties and a diagnostic feature and basis in modern soil classification systems for dividing soil classification units. However, so far none of the existing observatory stations is capable of providing observatory data all by itself sufficient for dividing attributes of soil temperature. Fortunately, as soil temperature at any observatory station is closely related to geographic position (coordinates, altitude, etc.), meteorological conditions and some other environmental elements of the locality the station sits in, some researchers have built up several models by making use of these obtainable environmental indexes for assessing soil temperature regime. Currently the following five methods are commonly used in researches on soil temperature regime in China: "Soil temperature interpolation method", "Direct estimation method", "Newhall model-based estimation", "National air temperature-based regression estimation" and "Coordinates and elevation-based regression estimation". These methods have been extensively applied to researches on soil temperature regime in various regions of the country with some good results. However, little has been reported on the work in Guizhou Province. In this paper, based on the ground climatic data (1951/71 ~ 1980) pooled from 86 meteorological observatory stations all over Guizhou Province, the five methods were either used directly or modified in the light of the actual situation in Guizhou. With the soil temperature interpolation method, T50 is deduced from the soil temperatures measured at 40 cm and 80 cm in depth, with interpolation, namely, mean annual T50 = mean annual soil temperature at 40 cm + [mean annual soil temperature at 80 cm - mean annual soil temperature at 40 cm] / 4. With the direct estimation method, the mean annual soil temperature at 20 cm in depth is deemed as T50. With the Newhall simulation model method, some modification has been made of the model in the light of the close relationship between soil temperature and air temperature in Guizhou, like assuming that the mean annual T50 is 1.8 °C higher than the mean annual air temperature. The air temperature-based regression estimation method is developed by Feng Xueming, using the mean annual air temperatures of 150 meteorological stations scattered in 30 provinces of China as ( $x$ ) and mean annual T50 ( $y$ ) namely  $y = 2.9001 + 0.9513x$  ( $r = 0.9889$ ). On the basis of the Feng Xueming method, a multiple regression equation is put forward and used to reflect the influence of latitude ( $x_1$ ) and elevation ( $x_2$ ) besides the air temperature, namely  $y = 40.25 - 0.7166x_1 - 0.002389x_2$  ( $r = 0.9515$ ). Direct use of the coordinates-based regression estimation method may have some deviation. It is, therefore, modified into  $y = 132.979 - 0.54 \times \text{latitude} (x_1) - 0.005 \times \text{elevation} (x_2) - 0.9 \times \text{longitude} (x_3)$  ( $r = 0.910$ ). In the end, in view of the special terrains of Guizhou, a series of regression estimation models are established to fit regions different in elevation, namely, for regions  $\leq 800$  m in elevation, the model of  $y = 129.57 - 0.551x_1 - 0.006x_2 - 0.864x_3$  ( $r = 0.910$ ) is used; for regions between 800 m and 1 400 m in elevation, the model of  $y = 133.693 - 0.514x_1 - 0.005x_2 - 0.916x_3$  ( $r = 0.864$ ) is; and for regions above 1 400 m in elevation, the model of  $y = 141.454 - 0.724x_1 - 0.005x_2 - 0.945x_3$  ( $r = 0.976$ )

is, separately. Results show that the five methods, some of which have been modified, may yield basically similar estimations, which indicates that they are all applicable to estimation of soil temperature regimes in Guizhou. But for regions lacking sufficient soil or air temperature data the method of longitude–latitude–elevation based regression estimation method is more commonly used. The soil temperature regimes in Guizhou can be sorted into three categories: hyperthermic, thermic and mesic; Guizhou has 80 counties (cities) in the category of thermic temperature regime; Weining and Dafang of Bijie in the category of mesic temperature regime; and four counties in between the two categories, like Shuicheng, Kaiyang and Xishui counties where both mesic and thermic temperature regimes exist, and Luodian where both thermic and hyperthermic temperature regimes do. Besides, when temperature regime is used as diagnostic feature in soil classification in Guizhou, attention should be paid to the fact that the meteorological stations may represent most of the areas under the influence of the atmosphere, but not the maintain areas where variations along vertical zones and microrelieves exist. As two categories of soil temperature regimes exist in Shuicheng, Kaiyang, Xishui and Luodian counties, it is essential to take into account soil forming environmental conditions, especially topographic conditions, in applying the methods to estimation of soil temperature regimes.

**Key words** Soil temperature; Estimation methods; Guizhou Province; Soil taxonomy

(责任编辑: 檀满枝)

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

