

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

目 次

综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- ¹³C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入¹⁵N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像 (由张中彬提供)

DOI: 10.11766/trxb201404250198

青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图*

陈吉科^{1, 2} 赵玉国^{1†} 赵林³ 方红兵^{2, 4} 张甘霖¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院大学, 北京 100049)

(3 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

(4 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070)

摘要 以青藏高原为研究区, 采用数字土壤制图方法, 进行了少量调查样本支持下的永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图研究。利用土壤和景观环境之间关系, 筛选建立了活动层厚度预测指标集: 地表昼夜温差、海拔、坡度、坡向、归一化植被指数(NDVI)、母岩。利用样点个体代表性方法实现了该区永冻土活动层厚度分布制图, 取得了较高的精度和分辨率, 克服了永冻土活动层厚度模拟过程中数学物理模型难以进行空间扩展制图以及半经验模型制图分辨率粗的局限。针对调查样点全局代表性较差以及数量有限的局限, 本研究没有采用常规的一次性全样本最优建模方式, 而采取多次抽样分别建模方式, 获得预测指标集和制图结果。

关键词 永冻土; 活动层厚度; 因子筛选; 土壤制图

中图分类号 P934 **文献标识码** A

永冻土作为冰冻圈的一个重要组成部分, 在全球气候变化系统中具有极其重要的地位。活动层是指永冻土夏季最大融化深度, 亦指地壳表层每年寒季冻结、暖季融化的岩土层^[1], 是多年冻土地区地层内水热交换最为活跃的区域, 其退化和变化对流域水文、生态、生物群落乃至全球变化均具有重要的影响和指示意义^[2-6]。

很多研究者建立了永冻土活动层厚度的空间分布预测模型, 预测永冻土活动层厚度的模型主要为数学物理模型和半经验模型。数学物理模型依赖的参数包括土壤物质的热传导系数、比热等, 可以获得较高的精度, 主要用于研究点位的融化深度, 难以在大区域制图应用^[7]; 而半经验模型依赖的主要参数包括冻结指数、融化指数、导热系数、纬度、年均温、海拔等, 空间制图不依赖于野外调查点位数据, 该方法能够刻画大区域的规律, 但是对局地因素的考虑不全^[1, 8-9], 空间分辨率很粗。而活动层厚度受局地因素影响很大, 局部变异较

大^[3-10]。因此, 在研究活动层厚度时, 在考虑大的气候背景的同时, 还应充分考虑地形等局地因素的影响^[11-13]。影响永冻土活动层厚度的因素有太阳辐射、岩性、水文、地形地貌、植被等。其中, 归一化植被指数(NDVI)通过对地表能量平衡的控制影响着土层的水热状况^[14-15], 是影响永冻土上限变化的重要因素; 坡度和坡向主要通过影响坡地的辐射分布、热量传导等进而影响着多年冻土的形成^[16-18]; 海拔通过影响地表温度的估算, 进而影响冻土深度和分布的估算^[6-7]; 地表反照率(Albedo)反映了地面对太阳辐射的反射能力, 影响着局地、区域甚至全球的气候变化^[18]; 岩性主要是通过导热系数等影响活动层的深度^[6, 19]。

青藏高原多年冻土区是世界上海拔最高、面积最大的多年冻土区, 它对气候变化的响应极其敏感^[20]。气候变暖已经引起了青藏高原多年冻土的大规模退化, 表现为活动层厚度增加、多年冻土厚度减小乃至多年冻结层消失等^[21-23]。该区域目前尚无

* 国家科技基础性工作专项(2008FY110600)、国家自然科学基金项目(41071143)、科技部国际合作项目(2010DFB24140)、环境保护公益性行业科研专项(201209030)资助

† 通讯作者, E-mail: ygzha@issas.ac.cn

作者简介: 陈吉科(1988—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事数字土壤制图研究。E-mail: ejike12@126.com

收稿日期: 2014-04-25; 收到修改稿日期: 2014-11-04

高精度的永冻土活动层厚度及空间变化数据, 很多研究者开展了大量相关研究工作^[1, 3, 9, 10, 13, 19], 由于区域工作条件困难, 多数研究主要集中在公路沿线区域和定位观测站点。

本文利用2010年在青藏高原羌塘高原中西部地区获取的调查资料, 结合卫星遥感数据, 综合考虑宏观因素和局地因素, 筛选预测指标集, 基于景观模型数字土壤制图原理, 采用样点个体代表性的方法^[24]尝试实现适合于青藏高原地区的小样本量、高分辨率的永冻土活动层厚度分布制图。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原西北部的羌塘高原地区

(图1), 地理范围为78°42'8"~86°29'48" E, 32°42'9"~36°30'3" N, 面积约为 $2.0 \times 10^5 \text{ km}^2$, 海拔3 500~6 600m。该区地貌类型丰富, 包括谷地、冲洪积扇等。冻土面积分布很广, 是中低纬度地带多年冻土最为发育的区域。气候寒冷而干燥, 气温年日变化大, 高原风力强, 频度高, 光照条件充足, 但由于高原地面反射率高达40%以上, 地面实际获取太阳辐射能量并不多。成土母质母岩主要为红色或灰色砂砾岩或泥岩、湖泊、冰川与冰缘沉积、玄武岩、安山岩及中基性火山碎屑岩。植被主要以高寒荒漠草原带、高寒荒漠带以及高寒草原带为主, 高寒草甸成斑状多分布于高山阴坡。由于生态环境严酷, 大部分地区为荒寂的“无人区”, 这一地区除海拔4 600m以下局部小气候环境下可种植春青稞作物外, 其余地区均为游牧区。

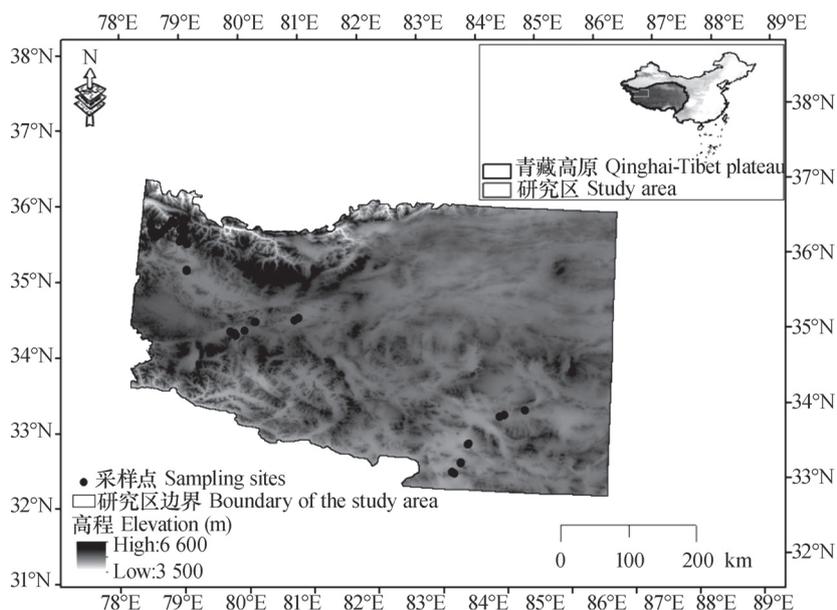


图1 研究区及采样点分布图

Fig.1 A map of the study area with sampling sites

1.2 样品采集

本研究的采样工作集中在2010年8月至11月之间, 采用直接挖探法来确定活动层的深度, 共收集了73个样点的永冻土活动层融化深度, 其空间分布如图1所示。由于地区偏远, 环境艰苦, 幅员辽阔, 可达性和工作条件存在诸多不确定性, 因此采样方案和样点勘测以现场专家经验指导为主, 主要根据坡向、海拔、冻土分布等信息进行布设, 主要集中在山谷、河岸阶地、山间盆地等相对容易到达的地区。

1.3 数据来源及预处理

本研究所需数据来源: 基于SRTM的90 m × 90 m分辨率的DEM、MODIS标准数据产品、母质数据。选取2009—2011年期间的MODIS数据产品, MODIS遥感产品包括: MOD11A2、MOD13A1、MCD43A3。MOD11A2是Terra卫星的MODIS 1 000 m分辨率的地表温度产品, 产品周期为“8d”; MOD13A1是Terra卫星的500 m分辨率的NDVI产品, 产品周期为16d; MCD43A3产品反演自Terra和Aqua卫星联合的观测值, 是500 m分辨率的地表

反照率产品，产品周期为16d；母岩母质数据来源于西藏1：50万地质图¹⁾。

坡向因子由于0°与360°均为同一方向，因此本文采用坡向余弦的方式将坡向量度转化为线性量度^[25]。白天地表温度、夜间地表温度与地表昼夜温差均为2009—2011年三年的平均值。

1.4 制图方法

基于土壤发生学原理，土壤与其发生环境条件存在着协同关系，土壤景观越相似，其所对应的土壤越相似^[26-27]。而样点个体代表性的方法基于以上认识，借鉴案例推理的思想，将每一个样点看作包含特定土壤—环境关系的案例，并能够代表与之环境条件相似的地区^[28]。

基于样点个体代表性的方法通过已知采样点推测未知采样点土壤属性，并计算推测的不确定性^[24]，其基本原理是通过环境相似度变量推测已有样点集对待推测点的代表程度，代表程度越高说明不确定性越低。不确定性通过式(1)计算。

$$\text{Uncertainty}_{ij} = 1 - \max(S_{ij, 1}, S_{ij, 2}, \dots, S_{ij, n}) \quad (1)$$

式中， $S_{ij, k}$ 为待推测点(i, j)与第 k 个样点的环境相似度， n 为样点数量。

通过设置不确定性阈值来检测已知样点是否能够很好地代表待推测点：若待推测点的不确定性大于阈值，则不做推理而将其属性设为空值；若待推测点的不确定性小于阈值，则以代表程度为权重，通过线性加权的方式综合各样点的土壤属性值，进而计算待推测点的土壤属性值，如下：

$$V_{ij} = S_{\max} \times V_{s_{\max}} + (1 - S_{\max}) \times \frac{\sum(S_{\text{others}} \times V_{\text{others}})}{\sum S_{\max}} \quad (2)$$

式中， V_{ij} 为待推测点(i, j)的土壤属性值， S_{\max} 和 $V_{s_{\max}}$ 分别为代表性最好的已知样点和待推测点的环境相似度和土壤属性值， S_{others} 和 V_{others} 分别为其他已知样点与待推测点的环境相似度和土壤属性值。

本文的采样点并不符合随机分布或规则分布的模式，不能够完全代表研究区内永冻土活动层厚度的空间分布特征，为了合理利用已采集但全局代表性不好的样点，本文利用该方法推测研究区永冻土活动层厚度的空间分布，并提供制图结果不确定性分布。

1.5 精度评价方法

本研究将采样点分为两部分：训练集和验证集。随机抽取1/3采样点(24个)作为验证集用于验证制图精度，剩余的采样点(49个)作为训练集。由于样本数量较少，既要满足验证需要，同时保证训练集无偏，采取了多次随机抽取独立模拟的方法。

评价所采用指标有：平均绝对误差(mean absolute error, MAE)、均方根误差(root mean squared error, RMSE)、标准差(standard deviation, SD)、吻合度(agreement coefficient, AC)。

MAE和RMSE是对模型的精度和稳定性的度量，值越小说明模型的精度和稳定性越高；SD度量了观测值的平均值相对于实际观测值的偏差；AC是描述实际值与模型预测值的吻合程度，其值在0至1之间变化，越接近于1，吻合程度越高，模型预测结果越好^[29]。

2 结果与讨论

2.1 永冻土活动层厚度的标定

青藏高原永冻土活动层每年4月开始融化，9—10月达到最大融化深度(永冻土活动层厚度)，10月份开始冻结至11月份基本全部冻结。由于采样周期较长，本研究通过查询融化速率进程图的方法已对每个样点的活动层融化深度进行校正^[19]。

表1列出了野外调查观测融化深度、永冻土活动层厚度标定值和二者之间差值的统计特征。从表1中可以看出校正后得到的永冻土活动层厚度的平均值较融化深度的平均值大30cm；永冻土活动层厚度与融化深度之间的差值的最大值达到了67.66 cm。修定后的永冻土活动层厚度深度被认为是永冻土全年最大融化深度。

2.2 预测指标集的建立

本研究综合考虑了大气候背景和局地因素，选取气候、地形、植被、母岩4个因子组合进行活动层厚度的预测制图。其中气候因素选取白天地表温度、夜间地表温度、地表昼夜温差、地表反照率4个影响因子；地形因素包含海拔、坡度、坡向、纬度4个影响因子；植被因素选取NDVI作为指示植被覆盖度变化的指标。

1) 由西藏地矿局基于西藏自治区1：150万地质图编制而成

表1 标定前后活动层厚度统计特征

Table 1 Statistics of active layer thickness before and after calibration (cm)

	样点数 Number of sample sites	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	均值 Average value	标准差 Standard deviation
活动层厚度 Active layer thickness	73	60.0	507.9	280.3	99.83
观测融化深度 Observed thawing thickness	73	60.0	480.0	250.9	97.55
差值 Difference value	73	0	67.66	29.37	19.02

2.2.1 地表反照率时间段的选取 根据前人研究,按照高原的气候特点将一年分为春(3—4月)、夏(5—8月)、秋(9—10月)及冬(11月—次年2月)四个季节^[30]。通过上述季节的划分利用2009—2011年三年的MCD43A3产品计算得到了采样点不同年份的月平均地表反照率以及季平均反照率。本研究采用2009—2011三年期间月平均和季平均地表反照率数据与观测点永冻土活动层厚

度进行拟合,结果发现采样点永冻土活动层厚度与3月、4月、春季地表反照率的相关性均高于其他月份及季节(表2)。鉴于MODIS地表反照率产品质量状况以及永冻土活动层厚度与地表反照率的关系,最终确定选取2009—2011年三年春季平均地表反照率数据作为模拟永冻土活动层厚度分布的影响因子。

表2 月平均、季平均地表反照率与永冻土活动层厚度的相关性

Table 2 Correlation coefficients of active layer thickness with monthly average Albedo and seasonal average Albedo

	2009年3月 March, 2009	2010年4月 April, 2010	2010年春季 Spring, 2010	2011年3月 March, 2011	2011年4月 April, 2011	2011年春季 Spring, 2011
活动层厚度 Active layer thickness	-0.47**	-0.43**	-0.41**	-0.38**	-0.40**	-0.40**
样本数N	70	73	73	73	73	73

**表示 p 在0.01水平(双侧)上显著相关 **Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

2.2.2 基于主成分分析的指标选取 由于样点分布不符合随机分布和规则分布,且数量有限,仅通过一次训练集提取,会造成预测指标集的全局代表性较差。因此,本研究独立抽取100次训练集分别构建每个训练集的预测指标集。根据100次训练集得到的预测指标集中影响因子出现的频率以及变化趋势最终确定用于模拟研究区活动层厚度的预测指标集。

下文以一批训练集为例,通过主成分分析和相关分析获得该批训练集活动层厚度的预测指标集。对初始指标集进行主成分分析,结果表明(表

3):前四个主成分方差贡献率分别为34.10%、23.95%、16.15%、10.35%,累积方差贡献率为84.55%,能够解释绝大部分的变异。通过分析发现,第一主成分起主要作用的影像因子为地表昼夜温差、夜间地表温度、纬度;第二主成分中起主要作用的影响因子为地表反照率、海拔;第三主成分中起主要作用的影响因子为白天地表温度;第四主成分中起主要作用的影响因子为坡向。因此,影响因子集中起主要作用的影响因子为:地表昼夜温差、夜间地表温度、白天地表温度、纬度、地表反照率(Albedo)、海拔、坡向。

2.2.3 基于相关分析的指标选取 通过主成分分析得到对永冻土活动层厚度起主要作用的影响因子，但是各指标之间可能仍存在高度相关性，为去除冗余数据，应剔除相关性较强的属性。通过对本批数据得到的预测指标集进行相关分析发现：白天地表温度、夜间地表温度与地表昼夜温差高度相关，且具有逻辑相关性；地表反照率、地表昼夜温差与纬度均高度相关。因此，经过进一步筛选，最终确定对此训练集永冻土活动层厚度起主要作用的预测指标集为：昼夜温差、坡向、海拔、地表反照率。利用相同的方法，对其余99批训练集完成了指标集的构建。

2.2.4 预测指标集的构建 图2列出了随着训练集次数的增加，所构建的预测指标集中影响因子的频率变化：可以看出随着训练集次数的增加每个影响因子出现的频率及其变化趋势是不同的，30次之后，各因子出现频率相对稳定，可以认为是具有普遍意义的结果。最终根据各个影响因子出现频率的变化趋势，选取出现频率趋于稳定且相对较高的影响因子作为预测指标集。最终选取的预测指标集包括：地表昼夜温差、海拔、坡度、坡向、NDVI、母岩。构建的预测指标集涵盖了气候、地形、母质、植被四个方面的因素，能够有效地反映永冻土活动层厚度的影响因素。

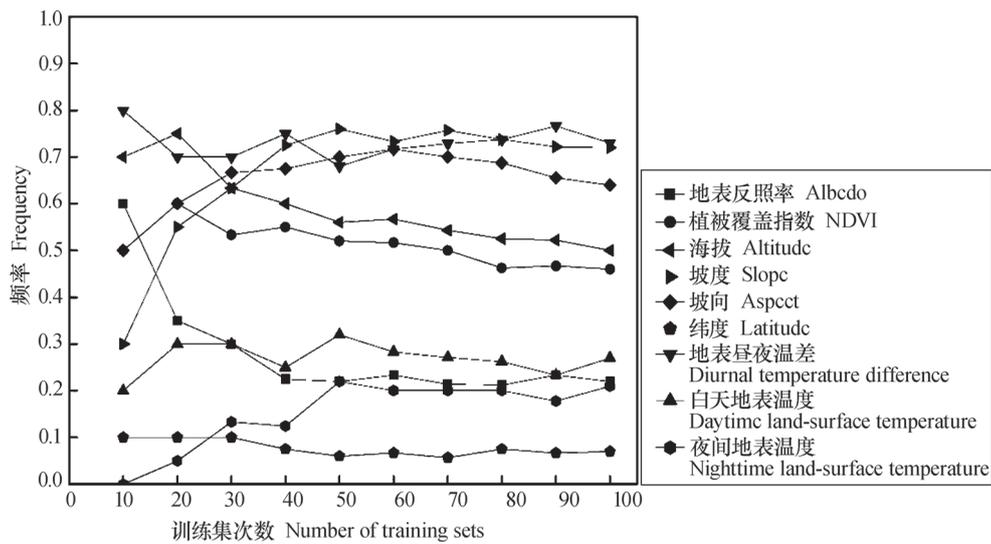


图2 影响因子频率分布图

Fig.2 Frequency distribution of influencing factors

2.3 永冻土活动层厚度预测制图

通过利用样点个体代表性的方法和构建的预测指标集，得到了待推测点与各已知点之间的环境相似度，通过式（1）得到不确定性分布图。本研究通过设定不确定性阈值为0.2来检测已知点是否能够很好地代表待推测点。当不确定性阈值 > 0.2时，说明已知点不能很好地代表待推测点，因此不能用已知样点进行推理，将其属性值设为空值，当不确定性阈值 < 0.2时，本文通过式（2）来计算永冻土活动层厚度的分布图。最终得到了永冻土活动层厚度分布图和不确定性图。

由于样点代表性的不确定性，单纯采用一次训练集得到的制图结果的精度不能保证，因此，采用100次训练集制图结果的平均值作为最后的制图结果（图3），从而最大程度地克服了样点代表性

的不确定性，得到了较为可靠的制图结果。从图3中可以看出，一些区域出现空值，这是由于训练集样点缺少较好的全局代表性造成的；同时，可以看出制图结果呈现了更高的分辨率，在较小的区域内仍有变异，而不是大片状分布，这更符合实际，说明所选的预测指标集和方法在反映永冻土活动层厚度大的空间变化趋势的同时，也反映了局部变化规律。

2.4 精度评价

基于每个训练集相对应的24个独立验证点，对每次训练集得到的制图结果进行了精度评价，然后将100次精度评价结果的平均值作为最终的评价结果。基于验证点的预测残差计算得到RMSE，并与实际观测值的SD进行比较：本文得到的RMSE为95.7 cm，SD为98.5 cm。可见，RMSE小于SD，说

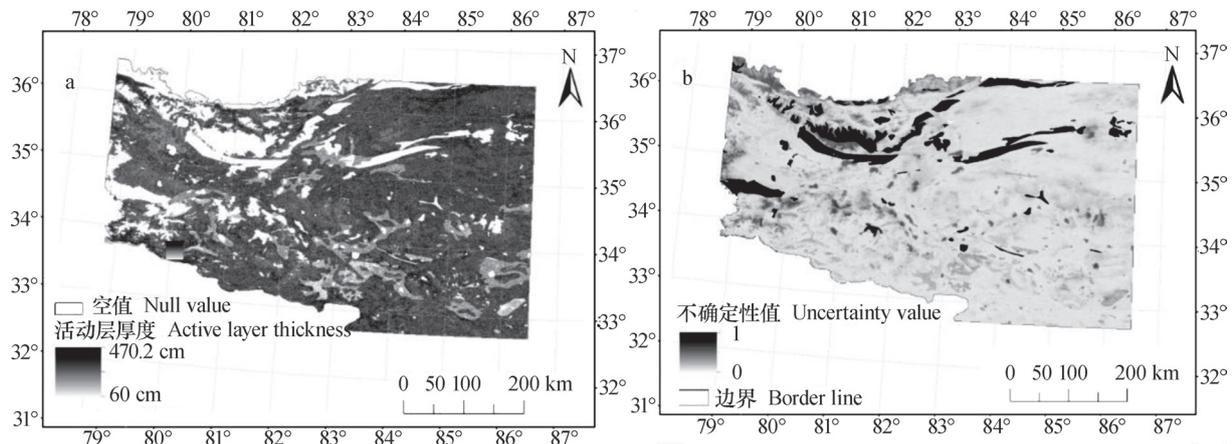


图3 活动层厚度分布图 (a) 和不确定性分布图 (b)

Fig.3 Spatial distribution of active layer thickness (a) and uncertainty (b)

明研究所得的推测值相对于实际观测值的平均值更接近于实际观测值；同时，吻合度AC为0.71，MAE为75.0 cm，也表明预测结果取得了较高的精度。

3 结论

综合考虑影响活动层厚度的宏观因素和局地因素，适合于研究区的永冻土活动层厚度预测指标包括：昼夜温差、海拔、坡度、坡向、NDVI、母岩。利用数字土壤制图的样点个体代表性方法获得的研究区的永冻土活动层厚度分布图，具有较高的精度：吻合度AC为0.71，MAE为75.0cm，RMSE小于SD。同时，兼顾宏观因素和局地因素，相对于传统半经验模型的制图结果，本研究取得了更高的空间分辨率，更真实地反映了活动层厚度的变异规律。

针对调查样点全局代表性较差以及数量有限的局限，本研究采取多次抽样建模的方式，获得预测指标集和制图结果，克服受制于样本集本身的最优模型所导致的偏差，这对于相似研究具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 张中琼, 吴青柏. 气候变化情景下青藏高原多年冻土活动层厚度变化预测. 冰川冻土, 2012, 34 (3) : 505—511. Zhang Z Q, Wu Q B. Predicting changes of active layer thickness on the Qinghai-Tibet Plateau as climate warming (In Chinese). Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34 (3) : 505—511
- [2] Cheng G, Wu T. Responses of permafrost to climate change and their environmental significance, Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Geophysical Research: Earth Surface (2003—2012), 2007, 112
- [3] Li R, Zhao L, Ding Y J, et al. Temporal and spatial variations of the active layer along the Qinghai-Tibet Highway in a permafrost region. Chinese Science Bulletin, 2012, 57 (35) : 4609—4616
- [4] Pang Q, Cheng G, Li S, et al. Active layer thickness calculation over the Qinghai-Tibet Plateau. Cold Regions Science and Technology, 2009, 57 (1) : 23—28
- [5] 王娇月, 宋长春, 王宪伟, 等. 冻融作用对土壤有机碳库及微生物的影响研究进展. 冰川冻土, 2011, 33 (2) : 442—452. Wang J Y, Song C C, Wang X W, et al. Progress in the study of effect of freeze-thaw processes on the organic carbon pool and microorganisms in soils (In Chinese). Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33 (2) : 442—452
- [6] 王银学, 赵林, 李韧, 等. 影响多年冻土上限变化的因素探讨. 冰川冻土, 2011, 33 (5) : 1064—1067. Wang Y X, Zhao L, Li R, et al. A study of factors which control variation of permafrost table (In Chinese). Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33 (5) : 1064—1067
- [7] 王澄海, 靳双龙, 吴忠元, 等. 估算冻结 (融化) 深度方法的比较及在中国地区的修正和应用. 地球科学进展, 2009, 24 (2) : 132—141. Wang C H, Jin S L, Wu Z Y, et al. Evaluation and application of the estimation methods of frozen (thawing) depth over china (In Chinese). Advance in Earth Science, 2009, 24 (2) : 132—141
- [8] Stendel M, Christensen J H. Impact of global warming on permafrost conditions in a coupled GCM. Geophysical

- Research Letters, 2002, 29 (13): 1632—1635
- [9] 庞强强, 李述训, 吴通华, 等. 青藏高原冻土区活动层厚度分布模拟. 冰川冻土, 2006, 28 (3): 635—640. Pang Q Q, Li S X, Wu T H, et al. Simulated distribution of active layer depths in the frozen ground regions of Tibetan Plateau (In Chinese). Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28 (3): 635—640
- [10] 罗栋梁, 金会军, 林琳, 等. 巴颜喀拉山青康公路沿线多年冻土和活动层分布特征及影响因素. 地理科学, 2013, 33 (5): 635—640. Luo D L, Jin H J, Lin L, et al. Distributive features and controlling factors of permafrost and the active layer thickness in the Bayan Har mountains along the Qinghai-Kangding highway on Northeastern Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Scientia Geographica Sinica, 2013, 33 (5): 635—640
- [11] Ding Y, Ye B, Liu S, et al. Monitoring of frozen soil hydrology in macro-scale in the Qinghai-Tibet Plateau. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (12): 1143—1149
- [12] Outcalt S I, Nelson F E, Hinkel K M. The zero-curtain effect: Heat and mass transfer across an isothermal region in freezing soil. Water Resources Research, 1990, 26 (7): 1509—1516
- [13] Zhao L, Cheng G, Li S, et al. Thawing and freezing processes of active layer in Wudaoliang region of Tibetan Plateau. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (23): 2181—2187
- [14] Smith M W. Microclimatic influences on ground temperatures and permafrost distribution, Mackenzie Delta, Northwest Territories. Canadian Journal of Earth Sciences, 1975, 12 (8): 1421—1438
- [15] Watanabe K, Ezaki T, Fukumura K, et al. Variability of thaw depth depending on surface micro-undulation and vegetation cover in the Siberian tundra//Proc. Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya (Japan), 2001, 3 (3/5): 632—636
- [16] 李新, 程国栋. 任意地形条件下太阳辐射模型的改进. 科学通报, 1999, 44 (9): 993—998. Li X, Cheng G D. Improvement for solar radiation model in arbitrary topographic conditions (In Chinese). Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (9): 993—998
- [17] 李秀珍, 胡远满. 呼中自然保护区多年冻土活动层厚度的影响因子分析. 生态学杂志, 2007, 26 (9): 1369—1374. Li X Z, Hu Y M. Factors affecting the thickness of permafrost's active layer in Huzhong National Nature Reserve (In Chinese). Journal of Ecology, 2007, 26 (9): 1369—1374
- [18] 王艺, 朱彬, 刘煜, 等. 中国地区近 10 年地表反照率变化趋势. 气象科技, 2011, 39 (2): 147—155. Wang Y, Zhu B, Liu Y, et al. Trend of surface albedo changes in China in last decade (In Chinese). Meteorological Science and Technology, 2011, 39 (2): 147—155
- [19] 司剑锋, 岳祖润, 刘尧军. 青藏高原多年冻土上限的确定及其变化. 国防交通工程与技术, 2004, 1 (3): 20—23. Si J F, Yu Z R, Liu R J. The determination and changing in the upper limit of permafrost table in Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2004, 1 (3): 20—23
- [20] 程国栋. 中国青藏高原多年冻土与加拿大北部多年冻土的一些差别. 冰川冻土, 1979, 1 (2): 39—43. Cheng G D. Some differences in permafrost between the Qinghai-Tibet Plateau of China and northern Canada (In Chinese). Journal of Glaciology and Geocryology, 1979, 1 (2): 39—43
- [21] Wu Q B, Liu Y Z. Ground temperature monitoring and its recent change in Qinghai-Tibet Plateau. Cold Regions Science and Technology, 2004, 38 (2): 85—92
- [22] 王绍令. 青藏高原冻土退化的研究. 地球科学进展, 1997, 12 (2): 164—167. Wang S L. Study of permafrost degradation in the Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Advance in Earth Sciences, 1997, 12 (2): 164—167
- [23] 吴吉春, 盛煜, 吴青柏, 等. 青藏高原多年冻土退化过程及方式. 中国科学: D 辑, 2009 (11): 1570—1578. Wu J C, Sheng L, Wu Q B, et al. Degradation processes and systems of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Science China Earth Science, 2009 (11): 1570—1578
- [24] 刘京. 基于样点个体代表性的大范围土壤属性制图方法研究. 北京: 北京师范大学, 2010: 10—15. Liu J. Large-scaled soil attribute mapping method based on individual representativeness of sample sites (In Chinese). Beijing: Beijing Normal University, 2010: 10—15
- [25] 南卓铜, 黄培培, 赵林. 青藏高原西部区域多年冻土分布模拟及其下限估算. 地理学报, 2013, 68 (3): 318—327. Nan Z T, Huang P P, Zhao L. Permafrost distribution modeling and depth estimation in the western Qinghai-Tibet Plateau (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2013, 68 (3): 318—327
- [26] Amundson R, Harden J, Singer M. Factors of soil formation: A fiftieth anniversary retrospective. Soil Science Society of America, 1994

- [27] 李天杰, 郑应顾, 王云. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1983. Li T J, Zheng Y G, Wang Y. Soil geography (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 1983
- [28] 刘京, 朱阿兴, 张淑杰, 等. 基于样点个体代表性的大尺度土壤属性制图方法. 土壤学报, 2013, 50 (1): 12—20. Liu J, Zhu A X, Zhang S J, et al. Large-scaled soil attribute mapping method based on individual representativeness of sample sites (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50 (1): 12—20
- [29] Zhu A, Band L, Vertessy R, et al. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). Soil Science Society of America Journal, 1997, 61 (2): 523—533
- [30] 胡列群, 李江风. 塔克拉玛干沙漠及周围地区地表反射率. 干旱区研究. 1993, 10 (1): 33—38. Hu L Q, Li J F. The Surface reflectivity of the Taklamakan Desert and its surrounding areas (In Chinese). Arid Zone Research, 1993, 10 (1): 33—38

CONSTRUCTION OF AN INDEX SET FOR PREDICTING THICKNESS OF ACTIVE LAYER OF PERMAFROST IN QINGHAI-TIBET PLATEAU AND FOR MAPPING

Chen Jike^{1, 2} Zhao Yuguo^{1†} Zhao Lin³ Fang Hongbing^{2, 4} Zhang Ganlin¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(3 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

(4 School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract In the Qinghai-Tibet Plateau, a small number of soil samples were collected during surveys of permafrost for the study on building up an index set for predicting thickness of the active layer in the permafrost and for mapping using the digital soil mapping method. By taking into account the relationships between soil and landscape environment, an index set was screened out and established, encompassing, diurnal surface temperature variation, altitude, slope gradient, slope aspect, NDVI and parent rock. With the aid of the method of setting individual samples as representative, a permafrost active layer thickness distribution map of the region was plotted with quite satisfying accuracy and resolution, thus overcoming the difficulty in space extending mapping in the processes of simulating thickness of the active layer of the permafrost with mathematic-physical models and breaking through the limitation of the use of semi-empirical models in mapping being low in resolution. In view of the problem that the sampling sites in the survey were quite limited in number and not so representative of the whole region, the method of modeling based on multi-samplings separately was adopted, instead of the conventional one-time full samples method. Consequently a predictive index set and a map was acquired.

key words Permafrost; Active layer thickness; Factor selection; Soil mapping

(责任编辑: 檀满枝)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. (475)
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua (488)

Research Articles

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. (498)
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. (506)
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. (515)
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. (526)
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. (536)
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin (546)
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. (556)
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. (565)
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using ¹³C pulse labeling technique Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei (574)
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. (585)
 Residual of applied ¹⁵N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin (595)
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. (605)
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. (618)
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. (527)
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. (635)
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. (645)
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. (653)
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu (663)
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. (671)
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. (681)

Research Notes

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang (689)
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice rootsZheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. (695)
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. (705)
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. (712)

Cover Picture: Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field (by Zhang Zhongbin)

《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：汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

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

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: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

