

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化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/trxb201405060217

河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征*

曹祥会¹ 雷秋良^{1†} 龙怀玉¹ 张认连¹ 孙福军²

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

(2 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘要 土壤温度和干湿状况是表征土壤特性的重要参数, 在土壤系统分类中作为诊断土壤某些亚纲、土类及亚类划分的参考依据。基于河北省142个气象观测站1951—2010年的日值气象数据, 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。结果表明: (1) 1951—2010年的平均土温和平均干燥度指数呈现上升趋势, 且1981—2010年的上升速率均高于1951—1980年。(2) 河北省主要有冷性和温性两种土壤温度状况, 与1951—1980年相比, 1981—2010年的温性土壤向北有所移动, 移动的距离和面积大约为14.26 km和5 665 km²。(3) 河北省的土壤干湿状况分布具有明显的地域差异, 地表干湿状况可分为湿润、半湿润和半干旱三个等级; 东部和北部区域气候湿润状况优于西部和南部, 也间接表明了土壤的干湿分布状况。该研究结果为土壤系统分类量化的诊断特性取代传统土壤分类中的地带性概念提供参考。

关键词 干湿状况; 土壤温度; 干燥度指数; 时空变化

中图分类号 S155 **文献标识码** A

土壤温度和干湿状况是表征土壤典型特性的重要参数, 不仅影响土壤形成的物理过程、化学过程和生物过程, 而且决定着土壤资源质量的高低^[1]。为此, 在现代土壤系统分类中将土壤温度和干湿状况作为重要的土壤诊断特性之一^[2], 并作为某些亚纲、土类及亚类的划分参考依据。土壤与大气之间不断进行着水分和热量的交换, 气候直接影响着土壤的水热状况, 因此, 通过气候因素直接和间接来反映土壤干湿和温度状况是可行的^[3-4]。

目前, 国内外学者对于土壤温度和干湿状况的划分指标进行了较多的研究。干湿状况主要根据干燥度指数进行划分, 1900年以来, 中外学者陆续提出了22种干燥度的计算方法^[5], 其中Penman-Monteit模型法使用的较多, 然而使用谢良尼诺夫提出的经验公式获取干燥度指数相对容易, 不需作很大调整即可满足计算需要, 是目前应用最普遍的方法; 随着美国土壤系统分类的推广, 康奈尔大学Wambek教授^[6]于1986年提出基于纽荷模型计算土壤的温度和干湿状况, 这种方法较为复杂, 有待

进一步改进和完善。

近年来, 利用气象站获取丰富的气象数据以分析土壤温度及干湿状况, 国内外均开展了许多工作。在干湿状况方面: 孙力等^[3]利用1961—2000年中国东北地区80个气象站的月降水和平均气温资料, 通过计算地表干燥度, 分析了东北地区及其7个不同气候区域地表干湿状况的时空分布规律; 杨彬云等^[7]利用河北省1970—2007年48个气象台站逐日资料, 采用Penman Monteith模型计算潜在蒸散量, 由潜在蒸散量和降水量之比构建干燥度指数, 并采用Kriging插值法进行空间插值以分析其区域地表干湿状况。在土壤温度方面: Toy等^[8]利用美国的8个气象站点1962—1971年月均气温和5 cm深度月均土壤温度数据, 建立土壤温度与气温的简单回归模型预测美国月均和季均土壤温度, 预测的标准偏差为2~5℃; 杨学明^[9]根据吉林省1950—1980年8个气象站的年均土壤温度数据, 分析土壤温度与气温, 土壤温度与气温、降水量和风速的相关关系, 建立回归方程预测吉林省50 cm的

*国家科技部基础性工作专项重点项目(2008FY110600)资助

†通讯作者, E-mail: qllei@caas.ac.cn

作者简介: 曹祥会(1990—), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要从事土壤分类方面研究。E-mail: 820646658@qq.com

收稿日期: 2014-05-06; 收到修改稿日期: 2014-09-28

年均土壤温度，并应用于吉林省土壤系统分类；史学正和邓西海^[10]利用中国1951—1980年672个气象站点40 cm和80 cm年均土壤温度数据，以土壤温度内插法估算了这些站点50 cm深度的年均土壤温度，并应用于中国土壤系统分类研究。

从以上研究来看，诸多学者建立了土壤温度与大气温度的关系，用于推测区域土壤温度。在进行河北省土壤系统分类过程中，由于缺少相应的土壤温度与土壤湿度等相关数据，需要通过气象数据进行土壤温度及土壤湿度数据的推测。本文主要在前人研究的基础上，通过小区域尺度142个气象站点的气象数据来分析土壤温度及干湿状况。一方面，可以对前人研究方法进行验证；另一方面，探讨河北省的土壤温度和干湿状况在1951—2010年间的时空变化特征，可应用于土壤系统分类研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河北省地处华北腹地，内嵌京、津两市，地貌类型丰富，自然条件复杂。地理位置为北纬36°03′~42°40′，东经113°27′~119°50′，西起太行山，东至渤海之滨，北与内蒙古、辽宁相接，南邻山东、河南两省。该区域位于东亚季风区边缘，属半干旱、半湿润季风气候区，平均年降水量350~770 mm，降水主要集中在夏季。冬夏温差大，北部高原御道口1月及7月平均气温分别为-21.1℃及17.4℃，两者相差38.5℃；南北温差悬殊，以御道口及邯郸为例，两地年平均气温分别为-0.3℃及13.6℃，温差为13.9℃。

1.2 数据来源

考虑到资料的完整性和站点的代表性，本文选取河北省内分布的142个气象观测站1951—2010年的原始气象资料，所用气象资料包括逐日平均气温、日蒸发量、土壤温度和20~20时降水量等，其中土壤温度主要包括10 cm、20 cm、40 cm和80 cm深度的土壤温度数据。

1.3 土壤温度等级划分指标

土壤温度主要是采用中国土壤系统分类检索^[2]中的划分指标进行划分的，即采用50 cm深处的土壤温度进行划分，因为在50 cm深处土壤的昼夜温度较为一致。但由于河北省部分气象台站观测深度分别为10、20、40、80 cm的土温数据，而没有

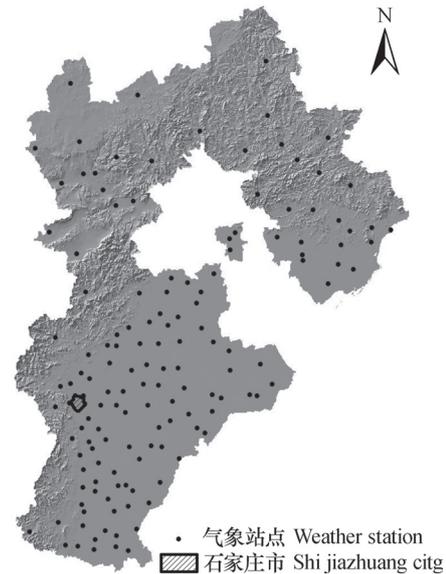


图1 河北省气象站点空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of weather observation stations in Hebei Province

50 cm的土温数据，因此考虑到40~80 cm土体内温度梯度较小，而且大体上呈线性变化，因此可以根据40~80 cm的土温采用内插法求得50 cm的土温，即：

$$\text{年均土温 (50 cm)} = \text{年均土温 (40 cm)} + \frac{[\text{年均土温 (80 cm)} - \text{年均土温 (40 cm)}]}{4} \quad (1)$$

选择8℃作为冷性和温性的分界线，因为它是春小麦和冬小麦的分界；温性和热性以15℃作为分界线，这是源于美国玉米带和棉花带的分界。在区分寒性和冷性土壤温度状况时，虽然年平均土温两者均小于8℃，但是夏季土温有所不同。土壤温度状况的具体划分指标参见文献[2]。

1.4 温度带划分的指标体系

由于日平均气温是否达到10℃对自然界的第一性生产具有极为重要的意义，因而日平均气温稳定 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的积温以往一直被作为我国气候区划与农业气候资源评价中一个非常通用的指标；如中国科学院^[11]、国家气象局^[12]以及中国农业区划委员会^[13]等部门编制气候和农业气候区划时，均以日平均气温稳定 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的积温作为温度带划分指标。但自《中国气候区划新探》^[14]后，学者们逐渐认识到，以日平均气温稳定 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的积温作为指标划分温度带时，对于地势高差悬殊和幅员辽阔的中国而言，有一定的局限性，而采用日平

均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数(积温日数)作为主要指标,能更准确地刻划出我国温度条件的地域分异,这一指标在20世纪80年代以后就被中国科学院和国家气象局^[15]编制的气候区划所采用。

因此本文对河北省温度带的划分采用这一指标,同时也采用一些辅助指标如平均气温等以及一些参考指标如日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温等^[14]。

1.5 土壤干湿状况的划分指标

区域干湿状况主要取决于降水与潜在蒸散之间的平衡,其中降水是最主要的水分来源,同时气温又影响蒸发量。因此,气候大区的划分采用谢良尼诺夫在1937年提出的经验公式,利用温度与降水量计算干燥度,以年降水量作为辅助指标。原公式中的经验系数为0.1,国内学者根据我国的实际情况经过大量推算,将0.1改为0.16^[16]。此法相对容易获得所需数据,以气象观测台站所记录的各个温度基点的年积温资料,不需作很大调整即可满足计算需要,相对较为简便可行,同时我国属东亚环流控制区,而干旱区位处温带,降水多集中于植物生长期,该方法经修改后,比较适合我国中高纬度地区干燥度的计算。修正的谢良尼诺夫公式为:

$$K=0.16 \times \frac{\text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C} \text{ 积温}}{\text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C} \text{ 期间的降水量}} \quad (2)$$

其中K为干燥度指数,它是从大气水分平衡角度出发,能够真实地反映出一个地区的全年气候干湿状况,从而间接反映土壤干湿状况,对农业具有更大的现实意义^[17]。某一地区的干燥度指数越大,表明该区土壤越干燥;反之,干燥度指数越小,则越湿。土壤干湿状况的具体划分指标参见文献^[16]。

1.6 数据处理与分析

根据选取的气象站点资料,根据式(1)和式(2)计算得到各站点年累计土壤温度和平均干燥度指数。首先利用地统计学方法对其进行空间分析,有关地统计学原理和方法,很多文献已有详细的介绍^[18-19],然后利用ArcGIS软件进行空间插值^[20],分析土壤温度状况和干燥度指数的时空演变规律。

2 结果与讨论

2.1 土壤温度随时间的变化特征

虽然采用气象站所测定的不同深度的土壤温

度可以较为精确的估算50 cm深处的土壤温度,但由于河北省一些气象台站没有测定土温,因而要根据气温来估算土壤温度状况。其原理是假定50cm深处土壤温度与气温有密切相关性,通过22个站点实测50 cm深处土壤温度和气温数据进行回归分析,方程为 $y=3.307+0.8071x$, $r=0.986$ 。这个研究与其他研究结果较为一致:冯学民和蔡德利^[4]对全国30个省(自治区、直辖市)150个气象站的50cm深处年平均土温 $y(^{\circ}\text{C})$ 与年平均气温 $x(^{\circ}\text{C})$ 进行回归分析,方程为 $y=2.900+0.9513x$, $r=0.989$,极显著相关;张慧智等^[21]通过我国698个气象站点的年平均土壤温度和平均气象数据,分析不同气象对年均土壤温度的影响,结果表明年均气温对年均土壤温度空间变异有显著影响。

根据河北省已有的142个站点的日平均气温数据,基于线性回归方程计算出50 cm年平均土壤温度,然后将年平均土温划分为两个时段进行分析,分别为1951—1980年和1981—2010年。其中,50cm年平均土温在1951—1980年略呈现上升趋势,变化率为 $0.22^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$,平均土温为 11.2°C ;1981—2010年变化呈现较为明显的上升趋势,变化率为 $0.35^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$,平均土温为 11.9°C 。由此可见,1980年以后的年平均土温的上升速率高于前三十年的上升速率,同时随着时间的发展,土温呈现逐步升高的趋势(图2a、图2b)。导致这种变化趋势的原因有气温和海拔等因素^[4],但是由于河北省主要属于平原地带,受海拔的影响较小,因此气温的变化是导致这种变化趋势的主要原因。

2.2 土壤温度状况的空间变化特征

基于22个站点的纬度(x_1)、海拔高度(x_2)与50 cm年均土壤温度(y_1)建立多元回归方程 $y_1=38.24-0.651x_1-0.004x_2$,其多元相关系数 $r=0.977$,极显著相关,说明土壤温度的空间分布受地形因素的影响,因此估算时采用气温垂直递减法,即海拔每升高100 m,气温降低 0.65°C 。因此,首先将气象站点的年均气温数据虚拟至海平面上($T_0=T_h+0.0065h$,式中, T_0 为虚拟至海平面的气温数据, T_h 为气象站实测的气温数据, h 为气象站的海拔高度),经直方图和偏度峰度联合检验,数据趋向于正态分布。表1给出了142个站点年均气温数据的统计结果。从偏度和峰度值来看,1951—1980年和1981—2010年年均气温趋向于正态分布。此外,块金值与基台值的比值可以表明系统

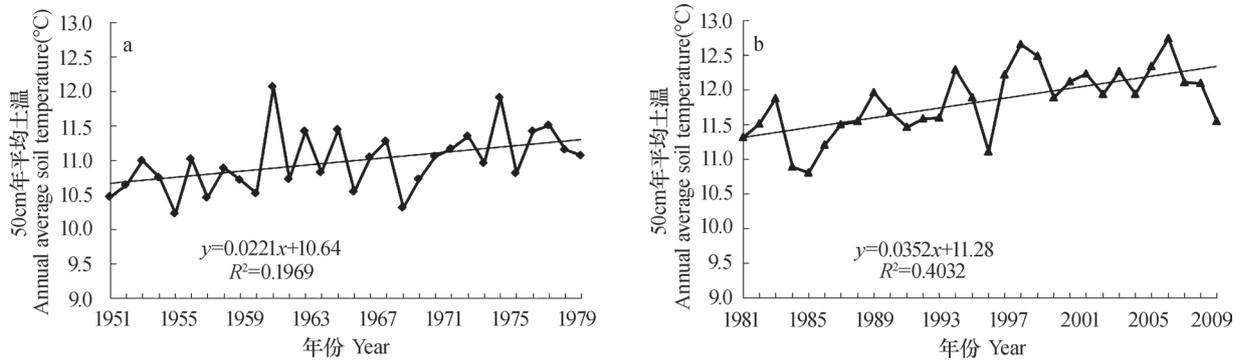


图2 1951—2010年河北省50cm年平均土温的变化趋势

Fig.2 Variation trends of annual mean soil temperature of the 0 ~ 50cm soil layer in Hebei Province from 1951 to 2010

变量的空间相关性^[22]。从表中可以看出, 1951—1980年和1981—2010年的块金值与基台值的比值均小于25%, 说明具有强烈的空间相关性。

利用普通克里格法对虚拟到海平面的年均气温数据进行插值估计, 得到虚拟到海平面的气温栅格数据。然后根据公式 ($T_0 = T_h + 0.0065 h$) 将虚拟到海平面年均气温栅格数据减去因海拔升高而降低的气温值, 获得实际地面年均气温栅格数据。最后通过土壤温度与气温的一元线性回归方程将实际地面年均气温栅格数据转换为实际50 cm处年均土壤温度栅格数据(图3), 通过这种方法可以消除地形因素对土壤温度的影响。

从图3可以看出, 根据50 cm处的土温状况将河北省土壤划分为冷性和温性两种类型。1951—1980年河北省的冷性土壤主要包括康保、尚义、赤城以及围场等县, 该区域的温度范围为4.3 ~ 7.9℃, 年累计平均气温为6.0℃; 除了前述小部分区域以外的河北省大部分区域均为温性土壤, 该区域的温度范围为8.5 ~ 14.6℃, 年累计平均气温为12.7℃。1981—2010年河北省的冷性土壤主要包括康保、尚义、围场等县, 温度范围为

5.1 ~ 7.7℃, 年累计平均温度为6.2℃; 温性土壤主要分布在河北省东北部至河北省西部一线的大部分地区以及太行山的阜平、涞源以南等地区, 该区域的温度范围为8.5 ~ 15.0℃, 年累计平均温度为13.1℃。

对比1951—1980和1981—2010的土壤温度可知, 1951—1980年的冷性土壤区包括赤城, 而1981—2010年不包括该地, 这可能是因为该县海拔较高造成的。由图3c可以得出温性土壤的范围向北略有移动, 移动的距离和面积分别约为14.26 km和5665 km², 经分析发现暖温带也出现了北移(图4), 其移动的距离和面积分别约为18.63 km和6539 km², 这可能是由于20世纪80年代后全球气候的变暖, 以及一些区域(如华北等)出现干旱化而造成的^[23]。由于气温与土温存在一定的线性关系, 因此暖温带的北移会对土壤温度状况的空间变化造成一定的影响。

2.3 土壤干湿状况随时间的变化特征

142个站点数据进行分析, 计算年干燥度指数, 通过求取算术平均值获得1951—1980和1981—2010年河北省干燥度变化曲线。由图5可

表1 年均气温及干燥度指数的描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistics of annual mean temperature and arid index

指标 Index	年份 Year	模型类型 Model type	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/Sill (%)	R^2	RSS	偏度 Skew.	峰度 Kurt.
年均气温 Annual mean temperature	1951—1980	G	0.010	4.029	0.2	0.933	1.150	-0.054	2.882
	1981—2010	G	0.020	4.040	0.5	0.950	0.539	-0.070	2.929
干燥度指数 Arid index	1951—1980	S	0.004	0.245	1.6	0.868	0.008	-0.149	2.051
	1981—2010	S	0.001	0.790	0.1	0.928	0.012	-0.499	2.552

注: G表示高斯模型; E表示球状模型 Note: G refers to Gaussian model, E refers to spherical model

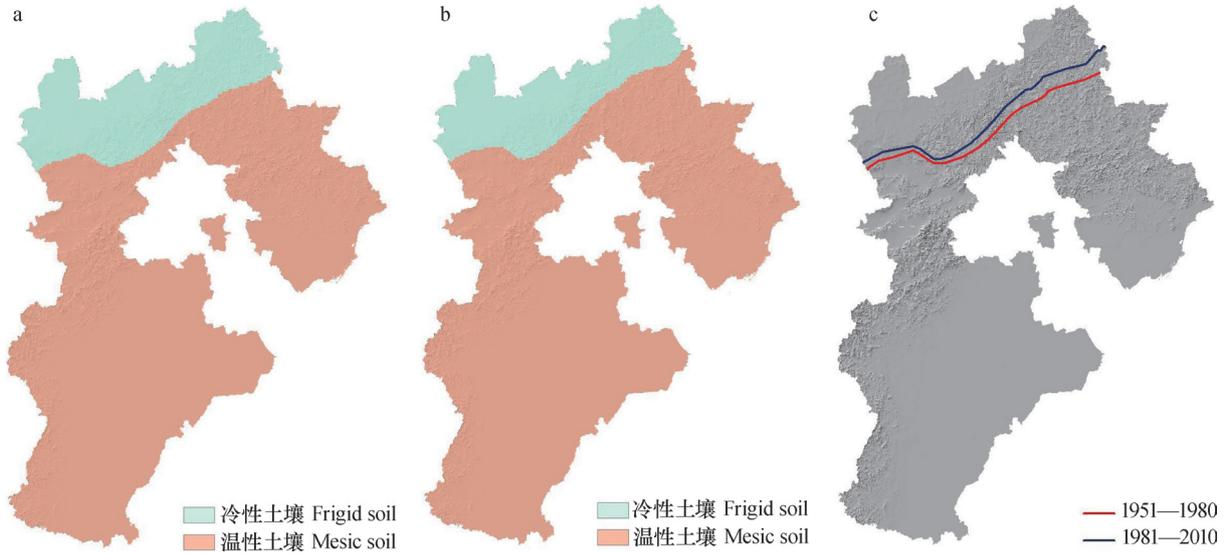


图3 1951—1980年 (a) 和1981—2010年 (b) 河北省冷性和温性土壤空间分布及其变化 (c) 状况

Fig.3 Spatial distributions of cold and warm soils in Hebei in 1951—1980 (a) and 1981—2010 (b) and its variation between the two periods (c)

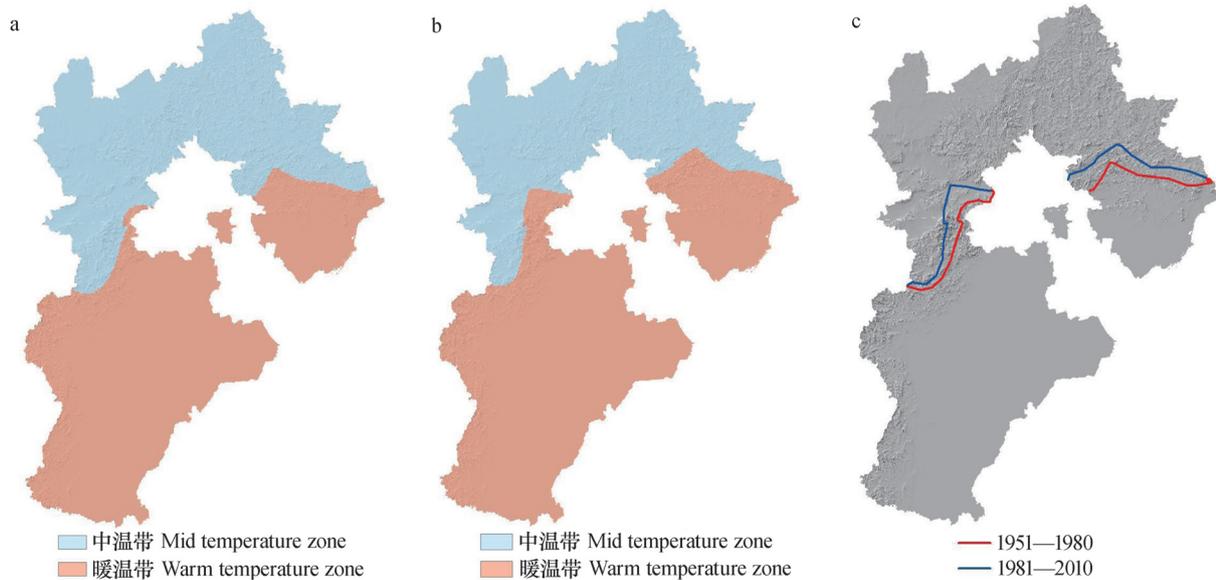


图4 1951—1980年 (a) 和1981—2010年 (b) 河北省温度带区划图及其变化状况 (c)

Fig.4 Temperature zoning maps of Hebei Province of the first 30 years (1951—1980) (a) and the second 30 years (1981—2010) (b) and its variation between the two periods (c)

知，全省气候平均状态为半湿润和半干旱，而半干旱主要出现在1955年、1965年和1997年，其中1997年是近60年来最干旱的年份（干燥度为2.24）；而半湿润主要出现在1964年、1969年、1973年、1995年和2008年，其中1964年是近60年来最湿润的年份（干燥度为0.90）。1951—1980年，河北省地表干燥度略呈上升趋势，变化率为 $0.02 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ ，平均干燥度指数为1.37；年降水量

呈现下降趋势，变化率为 $-13.95 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ ，年蒸发量也呈现下降趋势，变化率为 $-45.06 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ ，可以看出，虽然蒸发量的减少速率大于降水量的减少速率，但是干燥度仍然呈现上升趋势，这表明1951—1980年间地表干燥度上升的主要原因是因为年降水量的显著减少（图5c、图5d）。

1981—2010年，年降水量和年蒸发量没有明显的变化趋势，但年降水量略呈下降趋势，年蒸发

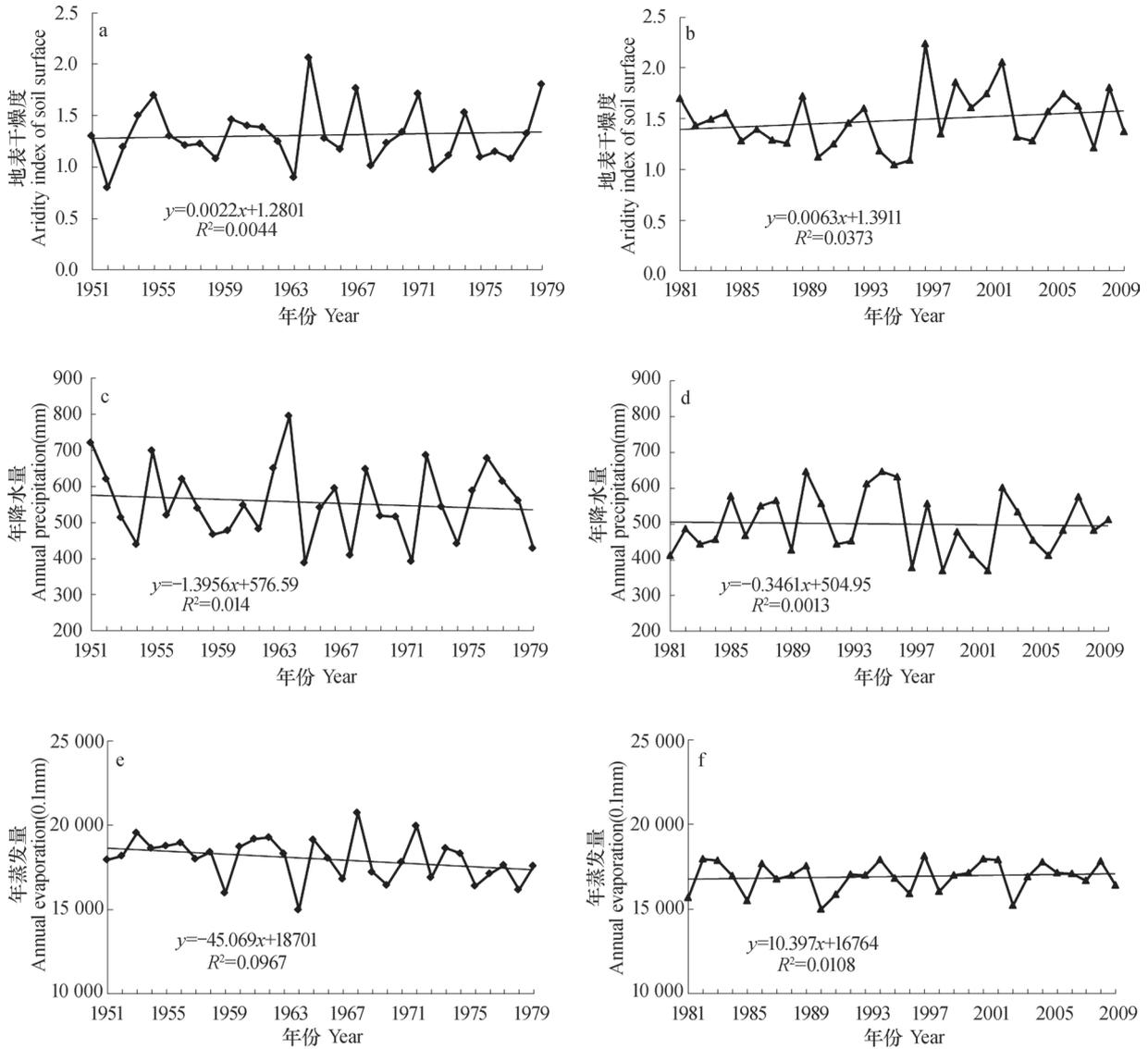


图5 1951—2010年河北省地表干燥度、降水量和年蒸发量的变化趋势

Fig.5 Variation trends of surface soil aridity index, annual evaporation and annual precipitation in Hebei Province in 1951—2010

量略呈上升趋势，变化率分别为 $-3.46 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ 和 $10.40 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ 。因此，由于年降水量的下降和年蒸发量的增加，导致地表干燥度较为明显的增高，变化率为 $0.06 \text{ mm}10\text{a}^{-1}$ ，平均干燥度为1.49。

气温的变化不可避免的表现于土壤温度和干湿的变化上，土壤温度和干湿的变化实际上是气候变化对多年土温状况和水分状况影响最迅速的能量体现。变化曲线的线性趋势线，显示出气候干旱的加重趋势，但其近60年的平均变幅并不大。分析影响干燥度的两个主要因子（降水量和蒸发量）的年变化可知，1951—1980和1981—2010年河北省年降水量均呈持续下降趋势，其趋势系数分别为 -1.39 和 -0.35 ，而1951—1980和1981—2010年河北省的蒸

发量呈现下降和略微上升的趋势，其趋势系数分别为 -45.07 和 10.40 ，蒸发量的减少在一定程度上抵消了由于降水减少而引起的气候干化作用，这也是在全球变暖、降水显著减少和气温明显升高的气候背景下，河北省土壤干旱处于缓慢加重的原因。

2.4 土壤干湿状况的空间变化特征

从表1中偏度和峰度可以看出，1951—1980年和1981—2010年干燥度指数的统计分布趋向于正态。此外，块金值与基台值的比值小于25%，说明干燥度指数具有较强的空间相关性。

近60年河北省气候干湿状况空间分布及其两时段差值见图6。从图6a和6b可以看出，干燥度高值区主要分布在张家口地区的桑洋盆地、坝上高原以

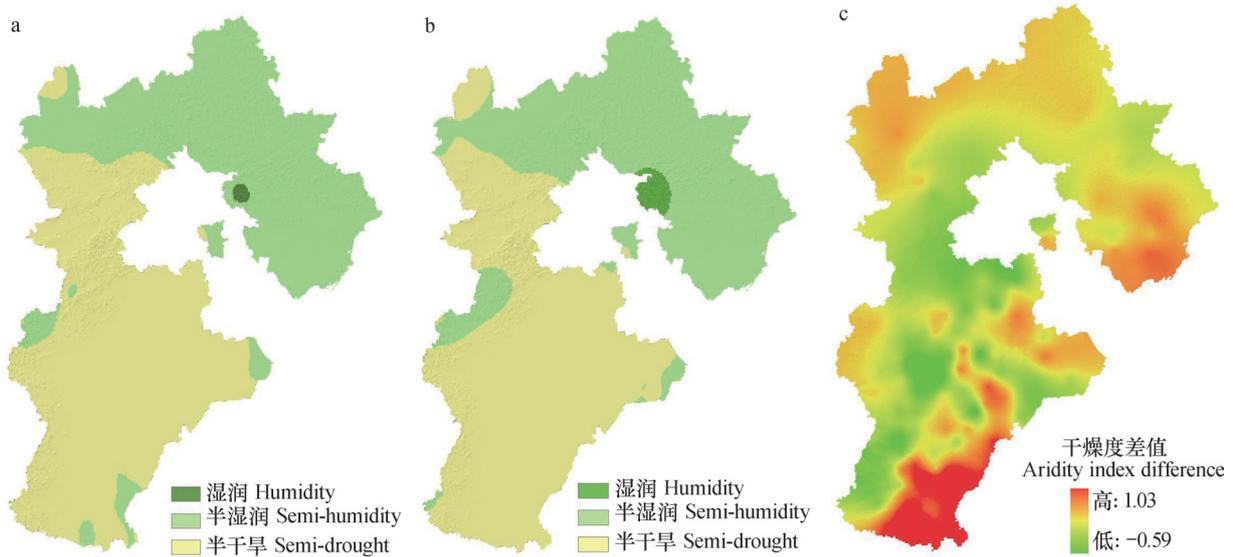


图6 1951—1980年 (a) 和1981—2010年 (b) 河北省平均干燥度及其差值 (c) 空间分布

Fig.6 Spatial distribution of moisture regime in the periods of 1951—1980 (a) and of 1981—2010 (b) and their difference (c) in Hebei Province

及冀南的部分县, 干燥度指数范围为1.93~2.45, 其中怀来、宣化和正定一带构成干燥度高值中心, 而低值区主要分布在燕山南麓低山丘陵地区的承德西南角、唐山的北部、秦皇岛中北部大部分地区及冀北小部分地区, 干燥度指数范围为0.80~1.49。总体表现为由南向北和由西向东降低趋势, 这表明东部和北部区域气候湿润状况优于西部和南部, 这与杨彬云等^[7]研究结果较为一致。这可能是因为主要受地表覆盖等因素的影响, 而受海拔和纬度的影响较小。

与1951—1980年相比, 1981—2010年干燥度下降的区域较增加的区域多达20个县, 干燥度增加区域的上升幅度为0.01~1.03。坝上高原区的康保、张北和沽源等地, 干燥度指数上升幅度为0.04~0.16, 河北省东部的秦皇岛等部分地区, 干燥度指数上升幅度为0.01~0.27, 以及河北省的邯郸—任县—平乡—清河一线以南形成以广平为中心的半干旱区域, 干燥度指数上升幅度为0.18~0.85。干燥度减少区域主要集中在河北省东北部、冀北高原、太行山中北段山区涞源以南地区以及中南部平原东部地区吴桥、枣强和故城一带干燥度指数下降幅度为0.01~0.59。

由图6可知, 河北省地表干湿状况主要分为湿润、半湿润和半干旱三级。湿润地区面积较小, 只有冀东的兴隆, 主要是因为该地区多山, 降水丰沛; 半湿润地区主要分布在冀东的滦平、承德、兴

隆、遵化、宽城、玉田、滦县、唐山、昌黎、青龙、迁安、迁西和秦皇岛等一带以及承德西北部, 张家口东北的沽源、崇礼及太行山中南段和大部分平原地区, 同时冀南少数地区也为半湿润, 如海兴、阜平和涞源等县, 这主要是因为海兴靠近渤海, 阜平和涞源的山地气候特点显著; 半干旱分布区域较广, 主要分布在张家口和冀南地区, 但康保分布在冀北地区, 主要是因为该县的光照时间较长。过去通常认为河北省的西北高原区是半干旱区, 其余的大部分是半湿润区^[24], 而本研究与该认识有差异, 可能是因为受当时气象站点资料 and 认识的限制。

3 结论

近60年来在降水量和蒸发量同时减少的综合作用下, 1951—2010年平均土温和地表干燥度指数均呈现上升的趋势, 同时与1951—1980年相比, 1981—2010年的土温和干燥度指数上升的速率较快, 因此可以看出河北省的土壤干旱具有缓慢加重的趋势。与1951—1980年相比, 1981—2010年的温性土壤有向北移动的趋势。河北省土壤干湿状况主要可以划分为湿润、半湿润亚区和半干旱亚区。从空间分布特征来看, 东部和北部区域气候湿润状况优于西部和南部, 也间接表明土壤干湿状况的分布; 而从时间变化特征来看, 与1951—1980年相

比, 1981—2010年的坝上高原、河北省东部以及邯郸—任县—平乡—清河一线以南等部分县, 而干燥度下降区域主要集中在东北部、冀北高原以及中南部平原东部等地区, 这说明气候的干湿状况随时间而发生改变, 从而会影响土壤干湿状况的变化。

致 谢 衷心感谢沈阳农业大学王秋兵教授和中国农业科学院农业资源与农业区划研究所黄鸿翔研究员为本文提出修改意见。

参 考 文 献

- [1] 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): 228—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): 228—234
- [2] 中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001. Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. *Keys to Chinese Soil Taxonomy* (In Chinese). Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2001
- [3] 孙力, 沈柏竹, 安刚. 中国东北地区地表干湿状况的变化及趋势分析. 应用气象学报, 2003, 14 (5): 542—552. Sun L, Shen B Z, An G. A study of the variation and tendency of surface dry-and-wet state of northeast area in China (In Chinese). *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14 (5): 542—552
- [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 X M, Cai D L. Soil temperature in related to air temperature, altitude and latitude (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (3): 489—491
- [5] 孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述. 植物生态学报, 2004, 28 (6): 853—861. Meng M, Ni J, Zhang Z G. Aridity index and its applications in geo-ecological study (In Chinese). *Acta Phytoecologica Sinaica*, 2004, 28 (6): 853—861
- [6] van Wambeke A, Hastings P, Tolomeo M, Newhall, simulation model. Ithaca, NY: Department of Agronomy, Cornell University, 1986
- [7] 杨彬云, 吴荣军, 杨保东, 等. 近40年河北省地表干燥度的时空变化. 应用气象学报, 2009, 20 (6): 745—752. Yang B Y, Wu R J, Yang B D, et al. The spatial distribution and temporal trend of surface aridity index in recent 40 years in Hebei Province (In Chinese). *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20 (6): 745—752
- [8] Toy T J, Kuhaida A J, Munson B E. The prediction of mean monthly soil temperature from mean monthly air temperature. *Soil Science*, 1978, 126 (3): 181—189
- [9] 杨学明. 土壤水热状况与土壤系统分类. 土壤, 1988, 21 (2): 110—113. Yang X M. Soil moisture and temperature regimes and soil taxonomy (In Chinese). *Soils*, 1988, 21 (2): 110—113
- [10] 史学正, 邓西海. 我国土壤温度状况//龚子同. 中国土壤系统分类进展. 北京: 科学出版社, 1993: 353—360. Shi X Z, Deng X H. Soil temperature regime in China//Gong Z T. *Research on Chinese Soil Taxonomy* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993: 353—360
- [11] 张宝堃, 朱岗昆. 中国气候区划 (初稿). 北京: 科学出版社, 1959: 1—297. Zhang B K, Zhu G K. *Climate regionalization in China (first draft)*. Beijing: Science Press, 1959: 1—297
- [12] 国家气象局. 中华人民共和国气候图集. 北京: 地图出版社, 1979: 222—223. National Meteorological Administration. *Climatological atlas for the People's Republic of China* (In Chinese). Beijing: Maps Press, 1979: 222—223
- [13] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理: 气候. 北京: 科学出版社, 1985. Physical Geography in China Editorial Board of Chinese Academy of Sciences. *Physical Geography in China: Climatology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [14] 陈咸吉. 中国气候区划新探. 气象学报, 1982, 40 (1): 35—47. Chen X J. A new approach to the climate division of China (In Chinese). *Acta Meteorologica Sinica*, 1982, 40 (1): 35—47
- [15] 中央气象局. 中国气候资源地图集. 北京: 中国地图出版社, 1994: 277—278. National Meteorological Administration. *Climatological resources atlas for China* (In Chinese). Beijing: China maps Press, 1994: 277—278
- [16] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国综合自然区划 (初稿). 北京: 科学出版社, 1959. Committee of Physical Regionalization of the Chinese Academy of Sciences. *Synthetic physical regionalization of China (draft)* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1959
- [17] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 近50年中国干湿气候界线的年际波动. 地理学报, 2002, 57 (6): 655—

661. Yang J P, Ding Y J, Chen R S, et al. Interannual fluctuation of dry-and-wet climate boundary in recent 50 years in China (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57 (6): 655—661
- [18] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 35—149. Wang Z C. Geostatistics and its application in ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999: 35—149
- [19] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field//*Advance in soil science*, UK, 1985: 2—66
- [20] 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. *地理研究*, 2008, 27 (6): 1299—1307. Zhang H Z, Shi X Z, Yu D S, et al. Spatial prediction of soil temperature in China using different methods (In Chinese). *Geographical Research*, 2008, 27 (6): 1299—1307
- [21] 张慧智, 史学正, 于东升等. 中国土壤温度的空间预测研究. *土壤学报*, 2009, 46 (1): 1—8. Zhang H Z, Shi X Z, Yu D S, et al. Spatial prediction of soil temperatures in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (1): 1—8
- [22] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数和Kriging插值分析. *地理学报*, 2000, 55 (5): 555—566. Guo X D, Fu B J, Ma K M, et al. The spatiotemporal variability of soil nutrients in Zunhua Plain of Hebei Province: Semivariogram and Kriging Analysis (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55 (5): 555—566
- [23] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007: 23—40. Writing committee of China's National Assessment Report on Climate Change. China's National Assessment Report on Climate Change (In Chinese). Beijing: Science Press, 2007: 23—40
- [24] 李小林. 中国气候区划名称与代码气候带和气候大区. 北京: 中国标准出版社, 1998. Li X L. Names and codes for climate regionalization in China—Climatic zones and climatic regions (In Chinese). Beijing: China standards Press, 1998

SPATIO-TEMPORAL VARIATION OF SOIL TEMPERATURE AND SOIL MOISTURE REGIME IN HEBEI PROVINCE

Cao Xianghui¹ Lei Qiuliang^{1†} Long Huaiyu¹ Zhang Renlian¹ Sun Fujun²

(1 *Agricultural Resources and Regional Planning Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

(2 *College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China*)

Abstract Soil temperature and soil moisture regime are two important parameters characterizing soil properties, and two important factors affecting physical, chemical and biological processes of soil formation, and can be used to serve as reference and basis for dividing certain soil suborders, soil groups and soil subgroups in soil taxonomy. Besides, as heat and moisture exchanges occur frequently between the soil and the atmosphere, climate directly affects the soil in hydrothermal condition. Therefore, 60 years (1951—2010) of daily meteorological observation data of 142 meteorological observation stations in Hebei Province, annual cumulative mean aridity index and soil temperature at each station was calculated using the Selianinov's equation and soil temperature interpolation method. Results of the calculation were subjected to spatial analysis using the geostatistic method and then the GIS spatial analytic technology for laws of the spatio-temporal variation of soil temperature and meteorological aridity and humidity, which can not only be cited to verify the research methods used by the precedent researchers, but also be applied to the soil taxonomy. Results show: (1) during the 60 years the annual mean soil temperature and mean aridity indices displayed a rising trend, with rising rate much higher in the first 30 years than in the second 30 years, which indicates that soil aridity in the province was gradually aggravating; (2) The soils in the province can roughly be divided into two types in terms of soil temperature, i.e. cold soil and warm soil. Compared with the first 30 years, the second 30 years witnessed warm soils expanding 14.26km towards north over an area of

5665 km². Air temperature displayed a similar pattern, moving 18.63km towards north over an area of 6539 km²; And (3) Soil moisture regime varied significantly from region to region, demonstrating an apparent zonality. Surface soil moisture regime in the province can be divided into humid, semi humid and semi-arid. From the perspective of spatial distribution, areas high in aridity are mainly distributed in the southern part of Hebei and the Sangyang basin in Zhangjiakou, while areas low in aridity are mainly in the low-mountains and hills regions along the south piedmont of the Yanshan Mountains, like the southwest of Chengde, the north of Tangshan, a large portion of the central north of Qinhuangdao and a small portion of the north of Hebei, indicating that the climate is obviously more humid in the east and north parts of the province than in the west and south parts, which also indirectly reveals distribution of soil moisture; From the perspective of temporal variation, compared with the first 30 years, the second 30 years had aridity index increased by 0.01 ~ 0.85 in Bashang plateau, the east part of Hebei and areas south to the Handan-Qinghe-Renxian-Pingxiang line, and decreased by 0.01 ~ 0.59 in the northeast part of the province, North Hebei Plateau and east part of the central south plain, indicating that air moisture regime varied with time, which in turn affected soil moisture regime in the province. It used to be held that the Plateau in Northwest Hebei province was in the category of semi-arid zone and the remaining part of the province could mostly be sorted into semi humid zone, which is different from the findings of this research. The findings of this study could serve as reference for using quantified diagnostic characteristics in the soil taxonomy to replace the concept of zonality in the traditional soil classification.

Key words Soil moisture regime; Soil temperature; Aridity index; Spatio-temporal variation

(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 Dagou 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

