

吉林省春季土壤水分分布特征及影响因素分析

王 杰, 刘 珂, 任红玲, 唐晓玲, 李 健, 王 颖

(吉林省气象科学研究所, 中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室, 吉林 长春 130062)

摘要: 利用2003~2010年吉林省春季土壤含水率数据及相关数据, 采用常规统计方法、地统计学方法和基于地理信息系统的空间分析方法, 讨论吉林省春季土壤水分分布特征, 并对其影响因素进行初步分析。结果表明, 吉林省春季0~30 cm土壤平均含水率总体上呈由西向东逐渐增加的趋势, 空间差异性显著, 其中10 cm深度土壤含水率空间差异最大; 土壤层之间的距离越近, 土壤含水率的相关性越好, 东部10 cm深度与其他层次土壤含水率的相关性好于中西部, 中部相比东部和西部而言, 各层次之间土壤含水率相关性最差。研究还发现, 田间持水量和降水量是影响吉林省土壤含水率分布的主要因素, 受土壤、气候等自然要素的空间异质性影响, 田间持水量对中部和东部的土壤含水率影响更大, 而降水对中部和西部的土壤含水率影响更大。

关键词: 吉林省; 土壤水分; 分布特征

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)06-0759-05

吉林省位于中高纬度, 温带大陆性季风气候, 中西部是中国湿润的东部季风和干旱的内陆之间的过渡带, 是中国历史上农牧交错带^[1,2], 也是重要的商品粮生产基地之一。气候具有明显的大陆性, 降水量时空分布不均, 水资源时空分布匹配组合时常错位, 造成吉林省农业气象灾害发生频繁^[3]。其中, 干旱灾害发生频率大、影响范围广、持续时间长, 具有明显的群发性、连锁性、区域性等特征^[4], 成为威胁全省粮食生产安全的首要气象灾害。关于吉林省干旱已有大量研究^[5-7], 但对与干旱直接相关的土壤水分特征研究还很少。本研究从土壤含水率角度出发, 采用常规统计、地统计学和基于地理信息系统的空间分析方法, 研究吉林省春季土壤水分分布特征, 为深入吉林省干旱研究提供参考, 为指导春播生产、趋利避害、防灾减灾提供依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

研究选用的土壤含水率数据是2003~2010年3~5月由吉林省气象台站每月逢3日和8日采样, 将0~30 cm土壤分成4个层次, 采用烘干法测定的。数据齐全的站点共有46个(图1), 具有空间代

表性。土壤田间持水量数据为2007年由气象台站采用围框淹灌法测得。

1.2 研究方法

采用常规统计方法、地统计学方法和基于地理信息系统的空间分析方法进行研究。

地统计学方法选取普通克里格法(Ordinary Kriging, OK)对数据进行空间化处理。该方法是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计, 以空间数据满足平稳性假设进行插值的一种方法^[8]。它具有这样的性质: 距离较近的采样点比距离远的采样点更相似, 相似的程度、或空间协方差的大小, 是通过点对的平均方差度量的。点对差异的方差大小只与采样点间的距离有关, 而与它们的绝对位置无关。空间统计内插的最大优点是以空间统计学作为其坚实的理论基础, 可以克服内插中误差难以分析的问题, 能够对误差做出逐点的理论估计。Kriging空间插值的公式为:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

$$\sum_i \lambda_i = 1 \quad (2)$$

收稿日期: 2011-12-05; **修订日期:** 2012-01-30

基金项目: 吉林省科技发展规划项目(20080427)和国家自然科学基金面上项目(41175083)资助。

作者简介: 王 杰(1979-), 女, 吉林柳河人, 硕士, 工程师, 主要从事GIS和遥感技术应用研究。E-mail: wangjie0122@sina.com

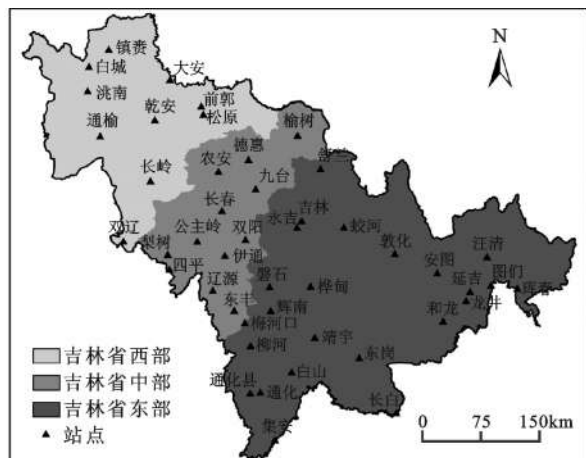


图1 吉林省土壤含水率测定站点分布

Fig.1 Distribution of soil water content observation stations in Jilin Province

式(1)中, $\hat{Z}(s_0)$ 为 s_0 处的预测值; $Z(s_i)$ 为在 s_i 处测量值, N 为预测过程中要使用的预测点周围样点的数量。式(2)中, λ_i 为权系数, 取决于半变异图、预测点周围的观测点的距离与它们之间的空间关系。对未知点而言, 为确保预测模型无偏估计, 需满足式(2)且使 $Z(s_0) - \hat{Z}(s_0)$ 趋于最小。通过数学期望的最小可得克里格方程:

$$\Gamma \times \lambda = g \quad (3)$$

式(3)中, Γ 为含有所有已知点对半变异值的矩阵(通过已知点对可求得); λ 为权系数矩阵; g 为所有已知点与预测点之间的半变异值 γ_{0i} 所组成的矩阵(利用距离与半变异值之间的半变异函数求得)。这里 γ_{ij} 为两样点间的半方差或者说是半变异值, 由式(4)可得:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(X_i) - Z(X_j)]^2 \quad (4)$$

由半变异值和距离可以拟合理论半变异模型, 即求出半变异函数模型中的参数 (θ_s 、 θ_r) 常用的半变异函数有高斯、球面、指数、阻尼正弦等^[9]。本研究采用的半变异函数为球面模型

$$\gamma(h) = \begin{cases} \left[\frac{3h}{2\theta_r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\theta_r} \right)^3 \right] \theta_s, & 0 \leq h \leq \theta_r \\ \theta_s, & \theta_r < h \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, θ_s 为基台值; θ_r 为自相关阈值; h 为步长。

在地理信息系统平台下, 通过普通克里格方法对数据进行空间插值, 生成栅格数据, 并采用空间分析技术对其进行分析。栅格数据网格为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, 插值平均误差绝对值小于 0.1。

2 结果与分析

2.1 不同层次土壤平均含水率空间分布

根据吉林省各区域气候、地形、植被、土壤等方面的地理差异, 将有 0~30 cm 土壤含水率数据的 46 个测站分为吉林省西部、中部和东部 3 个区域, 见图 1。对各个区域内测站 2003-2010 年的各层次土壤含水率求平均, 得到不同深度土壤含水率的区域多年平均值(图 2)。可见, 春季吉林省 0~30 cm 土壤含水率东西差异较大, 以东部最高, 为 27.4%~27.6%, 土壤经常处于水分饱和状态, 西部最低, 为 11.6%~13.6%, 土壤经常处于干旱状态; 西部和中部土壤含水率随深度有所增加, 而东部各层次土壤含水率随深度变化不明显。

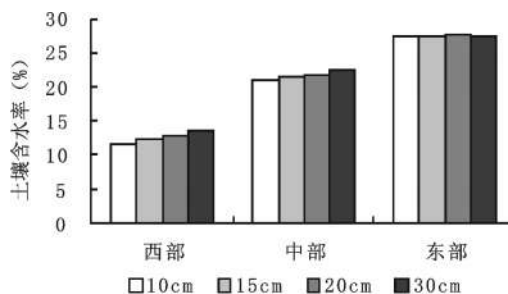


图2 吉林省不同区域土壤平均含水率

Fig.2 Average soil water content of different regions in Jilin Province

分别统计 2003~2010 年 3~5 月各测站 10 cm、15 cm、20 cm、30 cm 土壤平均含水率, 采用地统计学方法中的普通克里格法对 4 个层次的土壤含水率进行空间插值处理, 生成栅格数据。采用 ArcGIS9.2 中的分类工具以密度分割法对栅格数据进行重新分类, 生成不同层次土壤平均含水率空间分布图(图 3)。吉林省春季土壤平均含水率东西差异较大, 总体上呈由西向东逐渐增加的趋势。不同层次的土壤含水率分布都存在 3 个低值区, 分别为吉林省西部、延边和通化南部, 从这 3 个低值区向白山逐渐增大, 形成一个高值中心。10 cm 土壤含水率空间差异性最为显著, 随着土壤深度逐渐加深, 土壤含水率空间差异性减小。

2.2 不同层次土壤含水率之间的关系

通过对 0~30 cm 4 个层次土壤含水率间的相关性进行比较, 分析不同层次土壤含水率的垂直分布特性。由表 1 可见, 同区域内 2 个土壤层的距离越近, 土壤含水率的相关性越好, 距离越远则相

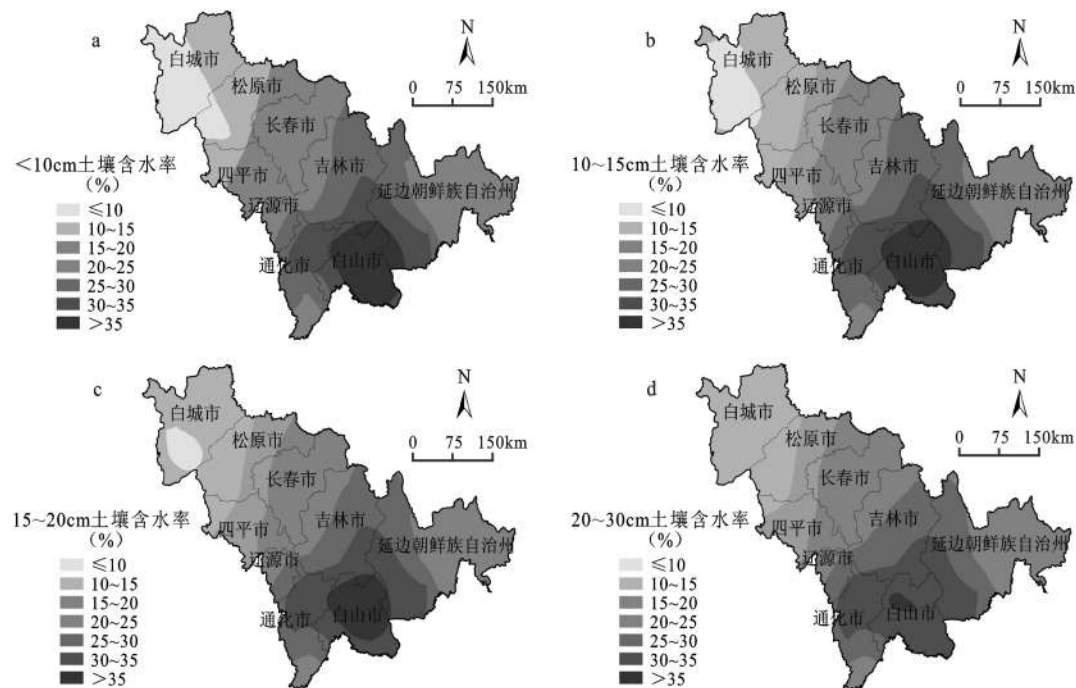


图3 吉林省0~30cm土壤平均含水率空间分布

Fig.3 Spatial distribution of average soil water content in 0-30cm in Jilin Province

表1 不同区域不同层次土壤间含水率相关系数

Table 1 Relative coefficients of soil water contents among different layers in three regions of Jilin Province

土壤深度	西部				中部				东部			
	10cm	15cm	20cm	30cm	10cm	15cm	20cm	30cm	10cm	15cm	20cm	30cm
10cm	1.00				1.00				1.00			
15cm	0.88	1.00			0.78	1.00			0.91	1.00		
20cm	0.75	0.90	1.00		0.69	0.86	1.00		0.85	0.89	1.00	
30cm	0.62	0.76	0.87	1.00	0.58	0.72	0.85	1.00	0.78	0.81	0.89	1.00

注: $\alpha=0.01$ 。

关性越差,表明距离越近土壤水力联系越强,土壤水分特征越相近,距离越远则土壤水力联系越弱,土壤水分特征差异越大。东部10 cm深度与其他层次土壤含水率的相关性好于中西部,表明与中西部相比,东部表层土壤的水分特征与其他层次土壤更为相近,这是因为东部山区土壤能得到降水和冰雪融水的双重补充,各层土壤水分都比较充足,而中西部地区春季降水少,风大,表层土壤失墒快,又得不到及时的水分补充,因而与其他层次土壤含水率的相关性差于东部;中部相比东部和西部而言,各层次之间土壤含水率相关性最差,这也说明吉林省中部地区各层土壤之间水分条件差异相对较大,这可能是由于,春季东部土壤水分常处于饱和状态,西部则常处于干旱状态,中部地区处于东西过渡地带,土壤常处于干湿交替状态,

上下各层土壤水分差异相对较大,从而各层之间土壤含水率相关性较东、西部差。

2.3 影响春季土壤含水率的主要因素

2.3.1 土壤因素

土壤类型、质地、结构的差异会造成土壤持水能力不同,对土壤含水率有较大的影响。吉林省土壤类型组成复杂,空间差异很大,包括火山灰土、山地草甸土、棕色针叶林土、暗棕壤、棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、栗钙土、盐土、碱土、草甸土、水稻土、新积土、沼泽土、泥炭土、石质土、粗骨土、风沙土、复合土等20个类,54个亚类^[10]。吉林省西部农田以淡黑钙土和石灰性黑钙土为主,中部农田以黑土为主,而东部以白浆土和暗棕壤为主。黑钙土多为壤土,粘性相对较轻,持水性较差,特别是淡黑钙土,<0.02 mm的粘粒含量<20%^[11];黑

土质地较为粘重,多为重壤到粘壤,0~30 cm土层<0.01 mm粘粒含量可达50%以上^[12],持水性好,透水性较差;暗棕壤的耕种土壤,土质松散,阻力小,排水通气良好,持水能力不高;白浆土土壤粘重,透水通气性差。

由于土壤差异,吉林省土壤田间持水量呈现出自西向东逐渐增大的趋势(图4)。0~30 cm土壤含水率的空间分布趋势与田间持水量的空间分布趋势表现出较高的一致性,特别是中部和东部一致性更高。相关分析表明(表2),土壤含水率与田间持水量的相关性较高,0~20 cm相关系数均在0.46以上,中部和东部相关系数大与西部。可见,田间持水量是影响吉林省土壤含水率分布的最主要因素,相对西部而言,对中东部的影响更大。

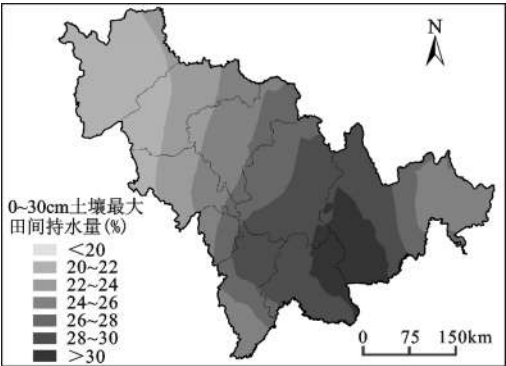


图4 吉林省0~30cm土壤田间持水量分布
Fig. 4 Distribution of 0-30cm field water-holding capacity in Jilin Province

2.3.2 气象条件

吉林省以雨养农业为主,有灌溉条件的旱田不多,降水是土壤获得水分的最主要途径。土壤含水率测定取样日前5 d降水量与土壤含水率的关系分析表明(表2),吉林省中西部的土壤含水率与降水存在正相关关系,表层土壤的含水率与降水的相关系数较高,土壤深度越深,相关系数越

小;东部的土壤含水率与降水没有明显的相关关系。可见降水量的多少对中西部土壤含水率影响较大。除了降水,土壤含水率还受到气温、光照、风速、空气湿度等气象条件的影响。土壤水分的损失途径主是补充地下水和蒸散作用。温、光、风、湿是影响土壤蒸散的主要气象条件,在高温、干燥、风大、日光充足的条件下,土壤蒸散作用强,土壤水分损失就快;反之,土壤水分损失就慢。

就吉林省而言,西部是半湿润半干旱气候区,年平均降水量400 mm左右,春季平均降水量仅50 mm左右,空气干燥、风大,土壤水分损失速度快,春旱发生概率达80%以上^[4];东部属湿润气候区,年平均降水量达700 mm以上,其中春季平均降水量120 mm左右,土壤水分充足,春季发生干旱的概率较低;中部是两区的过渡区,属半湿润气候区,年均降水量570 mm左右,其中春季降水80~90 mm^[4],发生春旱的概率高于东部,低于西部。

3 结 论

本研究利用常规统计方法、地统计学方法和基于地理信息系统的空间分析方法,分析了吉林省春季0~30 cm土壤水分特征,主要得出以下结论:

1) 春季吉林省0~30 cm土壤含水率东西差异较大,总体上呈由西向东逐渐增加的趋势,10 cm土壤含水率空间差异性最为显著,随着土壤深度逐渐加深,土壤含水率空间差异性减小;西部和中部土壤含水率随深度有所增加,而东部各层次土壤含水率随深度变化不明显;不同层次的土壤含水率分布都存在3个低值区,分别为吉林省西部、延边和通化南部,从这3个低值区向白山逐渐增大。

2) 同区域内2个土壤层的距离越近,土壤含水率的相关性越好;东部10 cm深度与其他层次土壤含水率的相关性好于中西部;中部相比东部和西部而言,各层次之间土壤含水率相关性最差,其

表2 观测前5 d降水量、田间持水量与土壤含水率的相关系数

Table 2 Relational coefficients among 5-days precipitation before observation, field water-holding capacity and soil water content

土壤深度	西部		中部		东部	
	5d降水量	田间持水量	5d降水量	田间持水量	5d降水量	田间持水量
10cm	0.27**	0.65**	0.24**	0.78**	0.05*	0.69**
15cm	0.17**	0.46**	0.15**	0.61**	0.03	0.70**
20cm	0.10**	0.60**	0.11**	0.50**	0	0.64**
30cm	0.04	0.29**	0.05	0.22**	-0.03	0.61**

注:**通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验,*通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验。

原因可能如下:春季,东部土壤水分常处于饱和状态,西部则常处于干旱状态,中部地区处于东西过渡地带,土壤常处于干湿交替状态,上下各层土壤水分差异相对较大,因此各层之间土壤含水率相关性较东、西部差。

3) 田间持水量和降水量是影响吉林省土壤含水率分布的主要因素,受吉林省土壤、气候等自然要素的空间异质性影响,田间持水量对中部和东部的土壤含水率影响更大,而降水对中部和西部的土壤含水率影响更大。

参考文献:

- [1] 廉 毅,高枳亭,任红玲. 20 世纪 90 年代中国东北地区荒漠化的发展与区域气候变化[J]. 气象学报,2001,59(6):730~736.
- [2] 廉 毅,王雅君. 中国东北地区土地荒漠化与气候变化研究进展[J]. 地理科学,2007,27(增刊): 97~102.
- [3] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京:气象出版社,1996.
- [4] 高 锋,董礼仁,周宪明. 吉林省主要农业气象灾害及特征分析[J]. 气象科技,1998,(1):52~55.
- [5] 袭祝香,王文跃,时霞丽. 吉林省春旱风险评估及区划[J]. 中国农业气象,2008,29(1):119~122.
- [6] 高树涓. 吉林省干旱规律的初步分析[J]. 东北水利水电,1991,(2):32~38.
- [7] 刘 明,朱景武. 吉林省干旱灾情评估[J]. 东北水利水电,1994,(11):42~47.
- [8] 王政权. 地质统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [9] 石淑芹,陈佑启,李正国,等. 基于空间插值分析的指标空间化及吉林省玉米种植区划研究[J]. 地理科学,2011,31(4):408~414.
- [10] 《吉林省地图集》编委会. 吉林省地图集[M]. 中国地图出版社,2009.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤数据库[EB/OL]. <http://issas1.issas.ac.cn/>.
- [12] 李天杰,郑应顺,王 云. 土壤地理学[M]. 高等教育出版社,1983.

Soil Moisture Characteristics of Spring in Jilin Province and Its Influencing Factors

WANG Jie, LIU Ke, REN Hong-ling, TANG Xiao-ling, LI Jian, WANG Ying

(Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation System and East Asian Monsoon, China Meteorological Administration, Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: Soil moisture characteristics of spring in Jilin Province and its influencing factors were analyzed with the routine statistics method and geostatistics method integrating spatial analysis technique on GIS, based on the soil moisture data and related data in Jilin Province in 2003-2010. The results were as follows. 1) In spring, the soil water content of 0-30 cm was very different between the west and the east of Jilin Province, its spatial distribution showed an increasing trend from west to east. And the spatial distribution of soil water content in 10 cm showed more difference compared with the other 3 layers. With the increase of soil depth, the variation of spatial distribution kept descending, the soil water content increased in the west and the central, but it had no significant change in the east. In all 4 soil layers there were three low soil water content regions and one high region. The low regions were appeared in the west of Jilin Province, Yanbian and the south of Tonghua. And the high region was appeared in Baishan. 2) The soil water content data has better relativity between the closer soil layers. Compared with the west and central regions, the soil water content of 10 cm was correlated with other layers more closely in the east. And the correlation among the layers was the lowest in the central of Jilin Province. Additionally, soil field water-holding capacity and precipitation were the main factors that affect the soil water content in Jilin Province. 3) The soil water content affected more on the soil moisture in the east and the central than the west in Jilin Province. And the effect of precipitation on the soil moisture in the west and the central regions was more significant than that in the east of Jilin Province.

Key words: Jilin Province; soil water content; distribution characteristics