

西北旱区农业水土资源空间变异特征研究

董 艳,章 慧,张慧荟,张青峰

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要: 农业水土资源是人类赖以生存的物质基础。为合理利用和开发西北旱区农业水土资源,利用经典统计学和地统计学方法研究了其水资源指数和耕地资源指数的空间变异特征。结果表明:西北旱区水资源指数和耕地资源指数均具有中等变异性特征,其半方差最优拟合模型分别是高斯模型和指数模型,且均呈现空间不均衡分布,分别具有较强和中等空间相关性,其空间变异主要受结构性因子的影响。研究结果不仅可为西北旱区农业水土资源的配置、高效利用和优化提供依据,也为在较大研究范围内开展空间因子变异特征研究提供了方法参考。

关键词: 农业水土资源;空间变异;半变异函数;西北旱区

中图分类号: F205 **文献标志码:** A

Spatial variability of agricultural water and soil resources of northwest arid area

DONG Yan, ZHANG Hui, ZHANG Hui-hui, ZHANG Qing-feng

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Agricultural water and soil resources are the basis of food production for human beings. Based on classical statistics and geostatistics analysis, spatial variability of water resources index (WRI) and arable land resources index (ALRI) in Northwest Arid Area were investigated to illustrate their spatial distribution. Results showed that both WRI and ALRI had the medium variability, and the best-fitting semi-variogram model was a Gaussian model and Exponential model, respectively. Simultaneously, the WRI and ALRI were spatially irregular distributed with strong and medium spatial correlation characteristics, respectively. Results of this study not only reveal the spatial variability of agricultural water and arable land resources of Northwest Arid Area, hence can be taken as a theoretical foundation to guide future optimization and utilization of agricultural water & soil resources in this area. Also, it established a novel methodology for spatial variability of spatial elements in a large-scale area, such as the Northwest Arid Area.

Keywords: agricultural water & soil resources; spatial variability; semivariogram; northwest arid area

农业水土资源(水资源和耕地资源)是人类生存发展不可或缺的基本资源,也是影响粮食生产和生态安全的重要资源,且二者相互影响和制约。农业水资源的丰缺程度影响着耕地资源的利用方式,耕地资源的垦殖程度也制约着农业水资源的开发利用。随着我国城市化和工业化的快速发展,各行业对水土资源的需求不断增加,使得农业水土资源占比不断减少^[1],严重影响着农业的生产发展和人类的经济活动。因此,了解农业水土资源的空间分布及变化特征,实现其高效利用,已逐渐成为人类生存和发展必须解决的重大问题。

水资源指数(WRI, Water resources index)是指研究区内水资源总量与耕地总面积的比值。耕地资源

指数(ARLI, Arable land resources index)是指研究区内耕地面积与土地总面积的比值。二者数值的高低分别表示研究区内农业水资源和耕地资源的匹配程度和满足程度。

作为我国重要的粮食生产后备基地^[2],西北旱区地域辽阔,光热土资源丰富。由于特殊的地理位置和气候、成土母质、水文条件,使得其农业水土资源的分布存在明显的区域差异,如何针对西北旱区农业水土资源分异特点发展相应的农业生产技术,解决农业水土资源供需矛盾,逐渐成为专家学者们研究的重要课题。如,南纪琴提出了农业水土资源匹配指数的计算方法并研究了西北旱区农业水土资源的匹配格局^[3];南彩艳研究了西北典型旱区石羊

收稿日期:2016-11-29 修回日期:2017-02-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD29B09-1)

作者简介:董 艳(1991—),女,硕士生,研究方向为 GIS 设计与数字制图。E-mail: dongy_gis@163.com。

通信作者:张青峰(1974—),男,副教授,研究方向为土地资源与空间信息技术。E-mail: zhqf@nwsuaf.edu.cn。

河流域和陕西关中地区的水土资源承载力^[4];赵成义研究了西北旱区退耕还林还草后水土资源开发的优化模式^[5]。孙涛以西北旱区疏勒河流域为研究区建立了土壤运移、地下水动态模型和土壤盐渍化评价、预测模型^[6]。总的来看,以往的研究主要集中在农业水土资源的匹配格局、承载力、资源优化及评价与预测模型等方面,且多偏向于水资源的研究,而针对农业水土资源指数空间变异鲜有研究,也缺乏相应的专题制图,影响了人们对西北旱区农业水土资源分布状况和满足程度的深入认识。为此,本文以 WRI 和 ARLI 为指标,采用经典统计学和地统计学的方法,探讨西北旱区 WRI 和 ARLI 的空间变异特征,并制作专题图件,以期为高效利用和开发西北旱区农业水土资源,保护生态环境和发展农业提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

西北旱区位于 N31°33′ ~ 49°11′, E73°28′ ~ 119°54′。东西长约 3 800 km,南北宽约 2 100 km,总面积 3.73×10^6 km²,约占全国国土面积的 38%;该区辖新、青、甘、宁、陕、蒙等六省区 397 个县级行政单元。境内地形起伏大且多高山高原和盆地沙漠;年平均

温度约为 4℃,年均降水量约为 400 mm,有效积温较低,光热效能不高,自然条件恶劣,生态系统极为脆弱。

受地形地貌条件、成土母质特征、农田基础设施及培肥水平、土壤理化性状等综合因素的影响,西北旱区耕地地力等级整体较低,大部分为六 ~ 八等地^[7],粮食单产水平多为 200 ~ 400 kg·667m⁻²;人均地表水资源量 2 813. 10 m³,高于全国平均水平 (2 108.72 m³·人⁻¹)^[8-13]。

1.2 数据来源及处理

本研究中,水资源量、耕地面积、土地总面积数据分别来源于西北旱区所辖各省区统计年鉴、国土资源公报和水资源公报。对某一具体县域而言,水资源量、耕地面积、土地面积难以在较短的时间内发生较大的变化。因此,本文采用多年平均值对西北旱区所辖的 397 个县域的 WRI 和 ARLI 进行了计算,利用 SPSS22.0 进行经典统计分析和正态分布检验;利用 GS + 9.0 进行地统计半变异函数模型^[14]拟合与分析;利用 ArcGIS10.0 进行空间插值与制图。

2 结果与分析

2.1 经典统计分析

经典统计分析结果如表 1 所示。

表 1 西北旱区农业水土资源指数的经典统计

Table 1 Classical statistical of WRI and ARLI of Northwest Arid Area

指标 Index	极小值 Min.	极大值 Max.	均值 Mean	标准差 S. D.	变异系数 Coefficient of variation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K - S 值 Sig.
WRI/(m ³ ·km ⁻²)	0.030	33.994	2.605	5.625	46.3%	4.031	6.337	0.005
ALRI/(km ² ·km ⁻²)	0.000	2.516	0.163	0.223	73.1%	4.931	7.207	0.081

由表 1 可知,ARLI 的极差(2.516)远小于 WRI 的极差(33.964),这表明各县域的耕地资源在空间上分布极不均衡,而农业水资源的空间分布更不均衡。一方面,西北旱区境内的山区、沙漠、戈壁等不适宜耕作的土地面积比重大,而适宜耕作的地区都集中在绿洲或者平原区,例如河西走廊、内蒙古的大青山南北、青海的湟水谷底和柴达木盆地、宁夏的河套平原、新疆的伊犁河谷地和天山北麓平原;另一方面,西北旱区地表水资源量虽然充足,分布着众多的湖泊河流及冰川(如塔里木河、黄河、额尔齐斯河、伊犁河等众多河流;青海湖、博斯腾湖、乌伦古湖、艾比湖、鄂陵湖等湖泊;特拉木坎力冰川、透明梦柯冰川、托木尔冰川、科科萨依冰川、祁连山七一冰川等多个大型冰川^[15]),但其在空间上的分布过于集中,而大多数县域的农业水资源量非常稀少,这也是造成农

业水资源空间分布极不均衡的主要原因。

变异系数(CV)的大小反映了样本数据的离散程度。CV ≥ 100%、10% ~ 100%、≤ 10% 分别表示样本具有强变异性、中等变异性和弱变异性^[16]。由表 1 可知,ARLI 和 WRI 的 CV 值在 10% ~ 100% 之间,均具有中等的空间变异性。

柯尔莫哥洛夫 - 斯摩洛夫(K - S)检验的双侧显著性概率值 Sig. > 0.05 时表示“指标符合正态分布”的假设是成立的。由表 1 中可知,各县域的 ARLI 数据符合正态分布,而 WRI 数据不满足正态分布。

2.2 地统计分析

样本数据服从正态分布或近似正态分布是进行地统计空间变异分析的前提,否则会出现比例效应^[17]。因此,本文通过 SPSS 的个案等级排序对 WRI 原始数据进行转换和异常值剔除,使其满足正

态分布,并分别利用半变异函数拟合模型(球状模型、高斯模型、指数模型、线性模型)分别对 WRI 和 ARLI 进行拟合,并选取最优拟合模型。选取原则

为:判定系数(r^2)越接近于 1,残差(RSS)越小,模型拟合的效果越好。半方差函数拟合模型及相关参数见表 2。

表 2 半变异函数最优拟合模型及拟合参数
Table 2 Best-fitting semivariogram model with its parameters

指标 Index	块金值 Nugget (C_0)	偏基台值 Partial sill (C)	基台值 Sill ($C_0 + C$)	块金效应 Nugget/Sill $C_0/(C_0 + C)$	变程 ($\times 10^2$ km) Range	残差 (RSS)	决定系数 (r^2)	最优模型 Best-fitting model
WRI	0.201	0.986	1.187	16.9%	16.98	3.21E-03	0.741	高斯模型 Gaussian
ARLI	0.564	0.567	1.131	49.9%	3.31	1.05E-03	0.897	指数模型 Exponential

基台值反映了农业水土资源的总变异程度。其中,偏基台值和块金值分别反映了由结构性因子(如地形、土壤母质、气候等)和随机性因子(如施肥、耕作措施、种植、灌溉等)引起的变异程度,且块金值不随空间采样间距的增加而变化。块金效应用来表示空间相关性程度,即由随机性因子引起的空间变异占总变异的比值。该值 $\leq 25\%$ 、 $25\% \sim 75\%$ 、 $\geq 75\%$ 分别表示空间相关性较强、中等、较弱^[18]。由表 2 可知,WRI 和 ARLI 的块金效应为 16.9% 和 49.9%,分别具为较强和中等的空间相关性,其空间变异性主要受结构性因子的影响。其中,WRI 受结构性因子的影响更甚。

变程反映了空间因子变异特征的作用范围。在该范围内,空间因子的变异性随采样步长的增加而增大。当采样步长大于变程时,该空间因子的变异特征消失;另一方面,变程应小于最大采样距离,否则会出现尺度效应,则数据不能用于内插或外插^[19]。由表 2 可知,WRI 和 ARLI 的变程均小于最大采样距离(3 800 km),可以用于插值分析。

由表 2 可知,WRI 和 ARLI 的半方差最优拟合模型分别是高斯模型和指数模型。由于拟合模型只是半方差函数的近似式,故还需要对模型参数进行交叉检验^[20](一种间接的结合普通克立格的方法)。即:对拟合模型所确定的参数不断进行修改,直至达到一定的精度要求。基本思路是:依次假设每一个实测数据点未被测定,由所选定的半变异模型,根据 $n - 1$ 个其它测定点数据用普通克立格最优无偏估算这个点的值,通过分析误差来检验模型的合理性。WRI 和 ARLI 的 Kriging 交叉验证结果见图 1。

决定系数 r^2 是测定直线回归模型拟合优度的一个重要指标。通常采用其平方根——相关系数 r 描述其相关程度。 $|r| \geq 0.8$ 表明高度相关; $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关; $0.3 \leq |r| < 0.5$ 呈低度相关; $|r| < 0.3$ 视为不相关^[21]。由图 1 可知,WRI 和 ARLI 的判定系数分别为 0.842 和 0.857,相关系数分别为 0.918 和 0.926,表明二者的预测值和真实值之间存在高度的相关性,线性回归模型拟合效果良好,可用于进行 Kriging 插值。

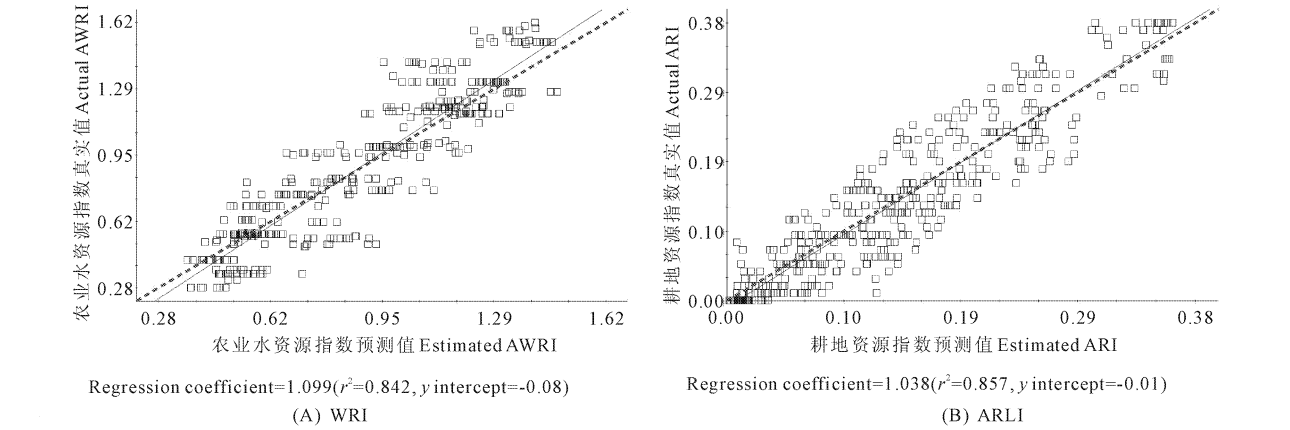


图 1 水土资源指数半变异函数克里格交叉验证图

Fig.1 Kriging cross-validation of WRI and ARLI for their semivariance function

2.3 基于 ArcGIS 的农业水土资源空间变异特征分析

将半方差函数最优拟合模型中的变程、基台值、块金值等参数输入 ArcGIS 中的 Kriging 插值模块,分别生成西北旱区 WRI 和 ARLI 的空间分布图(图 2)。

由图 2 可知,西北旱区范围内,WRI 高的地方主要集中在青海省的玉树藏族自治州、果洛藏族自治州和海西蒙古族藏族自治州。这些地方分布着众多的河流和湖泊,如可可西里湖、扎陵湖、沱沱河、黄河

等,且位于青南高原,终年都有冰川积雪,地表水资源量十分充足。WRI 较低的地方集中在古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、库姆塔格沙漠、腾格里沙漠地区和毛乌素沙漠、柴达木沙漠、巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠和呼伦贝尔沙地及库布齐沙漠等地。这些地方均在沙漠或戈壁滩附近,光热资源十分充足,蒸发量远远超过降水量,水资源量极为稀少。

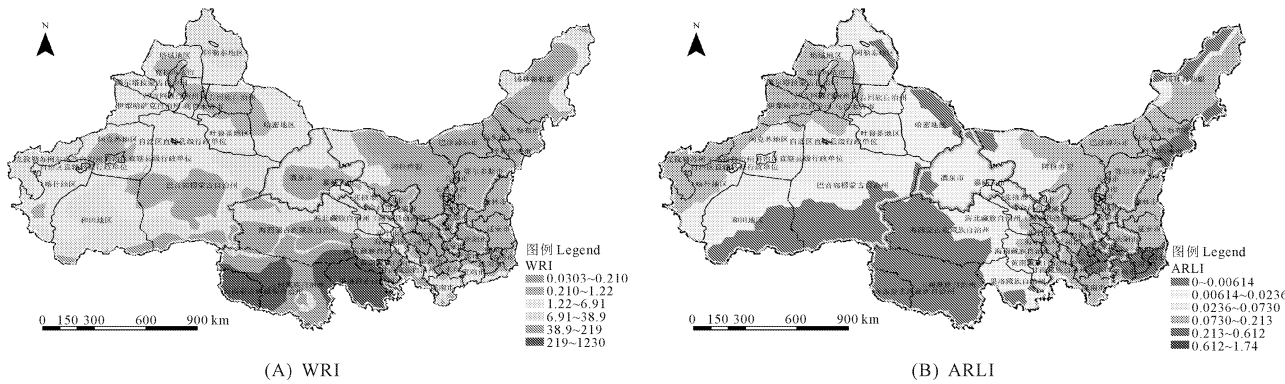


图 2 西北旱区农业水土资源指数空间分布图

Fig.2 The spatial distribution of the WRI and ARLI

ARLI 较高的地方主要分布在新疆沿天山一带的伊犁河谷、博尔塔拉蒙古自治州、塔城、昌吉回族自治州以及克孜勒苏柯尔克孜自治州、河西走廊区、关中平原、河套平原等地。这些地方地势平坦,土地肥沃,是我国重要的粮食生产基地。ARLI 较低的地方主要分布在巴里坤哈萨克自治县、伊吾县、巴音郭楞蒙古自治州、和田、海西、内蒙古锡林郭勒盟北部及青甘新三省交界。这些地方或地处高寒地带,不适宜耕种;或土地沙漠化和荒漠化严重,沙尘暴频发,自然条件极其恶劣。

从各省的情况来看,(1) 新疆的 ARLI 自西北向东南逐渐递减,而 WRI 自北向南先减小后增加,且 ARLI 极低的地区(和田、巴州与西藏交界处)也是 WRI 较高的地区。这些地区山地多、海拔高,不适宜耕作,交通条件差,社会经济发展远远落后于 ARLI 和 WRI 均较高的伊犁-博州-塔城地区。(2) 青海的 ARLI 自东北向西南逐渐递减,WRI 自北向南逐渐增加。青海省只有海东地区 ARLI 较高但该区的 WRI 却极低。青南高原 WRI 虽为西北旱区的最高值,但该区的地势和地貌复杂多变,以至于无法大面积种植经济作物,农业和经济发展缓慢。(3) 甘肃的 ARLI 自西北向东南逐渐增加,WRI 除甘南藏族自治州以外,整体偏低。河西走廊一带的 WRI 极低而 ARLI 却很高,说明该区农业发展条件良好,水资

源量虽少但利用效率高。(4) 内蒙古和陕西的 ARLI 和 WRI 都自北向南逐渐增加;宁夏的 ARLI 自北向南逐渐增加,WRI 自北向南逐渐减少。这三个省份中,ARLI 较高的地区也是 WRI 极低的地区,说明水资源和耕地资源的分布不均衡,需要进行人为的调控,以便更好的发展农业。

3 结论与讨论

研究西北旱区农业水土资源的空间变异特征和匹配程度,可为西北旱区农业水土资源管理方案 and 高效利用模式的制定提供理论参考。整体上看,西北旱区 397 个县域的水资源指数和耕地资源指数均具有中等变异特征及较强和中等空间相关性,耕地面积与水资源量之间存在一定的空间匹配关系;水资源和耕地资源的空间变异受结构性和随机性因子的共同影响,但结构性因子占主导,说明西北旱区的农业水土资源主要受到地形、地貌和气候的影响,在短期内极难发生较大改变。

西北旱区各县域的水资源和耕地资源在空间上的分布极不均衡,尤其是水资源的空间分布。大体上,耕地资源较高的县域其水资源量较低,而水资源较高的县域其耕地资源量较低,西北旱区农业水土资源在县域空间尺度上极不匹配;另一方面,耕地资源较多的县域其经济也较为发达,而水资源较丰富

的县域其域经济发展相对落后。因此,为了科学而高效地利用农业水土资源,需要加强对水资源的调控与管理,特别是在耕地面积较大的地区,可适当增加农田水利水保设施;也可在水资源较丰富的地区,强化耕地保育并适度开发耕地资源。

此外,本文提出了一种基于经典统计分析、地统计半变异函数模型模拟及交叉验证和 Kriging 空间插值,用于水资源指数和耕地资源指数空间变异特征分析与制图的方法体系。实践表明,该方法体系具有良好的可操作性和推广应用价值,为其它空间因子的变异特征研究提供方法依据。

在表达空间变异特征时,实际情况往往与理论结果之间存在微许差异,正如哈维在《地理学中的解释》中提到:“地理学长于事实而短于理论”^[22]。所以,在今后的研究当中,应当注重对理论结果的验证研究。

参 考 文 献:

[1] 刘彦随,甘 红,张富刚.中国东北地区农业水土资源匹配格局[J].地理学报,2006,61(8):847-854.

[2] 侯 薇,刘小学,魏晓妹.陕西关中地区农业水土资源时空匹配格局研究[J].水土保持研究,2012,19(1):134-138.

[3] 南纪琴,王景雷,陶国通,等.西北旱区农业水土资源匹配格局研究[J].灌溉排水学报,2015,34(5):41-45.

[4] 南彩艳.西北旱作区水土资源承载力研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.

[5] 赵成义,李志良.西北干旱区退耕还林(草)后水土资源开发的优化模型研究[J].干旱区地理,2002,25(4):321-328.

[6] 孙 涛.西北典型干旱区水土资源评价与预测模型的研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2005.

[7] 农业部种植业管理司公报.关于全国耕地质量等级情况的公报[R/OL].2014年1号.<http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201412/t20141217-4297895.htm>.

[8] 内蒙古统计局.内蒙古统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[9] 陕西统计局.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[10] 新疆统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[11] 甘肃统计局.甘肃统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[12] 宁夏统计局.宁夏统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[13] 青海统计局.青海统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011—2015.

[14] 秦占飞,常瑞端.县域土壤养分空间变异分析——以蒲城县为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):30-35.

[15] 施雅风.简明中国冰川目录[M].上海:上海科学普及出版社,2005:20-182.

[16] 张小桐,张瑞芳,王 红,等.县域土壤有效态微量元素的空間变异特征及影响因素——以徐水县为例[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):74-80.

[17] Emadi M, Shahriari A R, Sadegh-Zadeh F, et al. Geostatistics – based spatial distribution of soil moisture and temperature regime classes in Mazandaran province, northern Iran[J]. Archives of Agronomy & Soil Science, 2016,62(4):502-522.

[18] 罗 勇,陈家宙,林丽蓉,等.基于土地利用和微地形的红壤丘岗区土壤水分时空变异性[J].农业工程学报,2009,25(2):36-41.

[19] 刘晓林,李文峰,杨林楠,等.基于 ArcGIS 地统计分析模块的土壤养分空间变异分析——以云南省建水县为例[J].土壤通报,2012,46(6):1432-1436.

[20] Yang Yuting, Shang Songhao, Li Chao. The correction method of kriging smoothing effect of soil moisture interpolation[J]. Water Science, 2010,21(2):208-213.

[21] 余建英,何旭宏.数据统计分析与 SPSS 应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.

[22] 大卫·哈维.地理学中的解释[M].北京:商务印书馆,1996:16-211.

(上接第 204 页)

[31] 张金艳,李小泉,张 鏢.全球粮食气象产量及其与降水量变化的关系[J].应用生态学报,1999,8(3):327-332.

[32] 吉 奇.基于 Logistic 和灾减率方法制作玉米产量的预测[J].中国农学通报,2012,28(6):293-296.

[33] 李树岩,刘荣花,马志红.基于降水距平的黄淮平原夏玉米干旱评估指标研究[J].干旱地区农业研究,2012,30(3):252-256.

[34] 王桂芝,陆金帅,陈克垚,等.基于 HP 滤波的气候产量分离方法探讨[J].中国农业气象,2014,35(2):195-199.

[35] 王 媛,方修琦,徐 铤.气候变化背景下“气候产量”计算方法的探讨[J].自然资源学报,2004,19(4):531-536.

[36] 房世波.分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J].自然灾害

学报,2011,20(6):13-18.

[37] Yu Q, Hengsdijk H, Liu J D. Application of a progressive-difference method to identify climatic factors causing variation in the rice yield in the Yangtze Delta, China[J]. International Journal of Biometeorology, 2001,45(2):53-58.

[38] 李月英,刘全喜,张文英,等.黑龙港流域冬小麦产量与气象因子相关与通径分析[J].华北农学报,2008,23(S2):329-333.

[39] 张继权,阎 莉,王春乙,等.基于小波分析的辽西北玉米产量与气候因子研究[C]//中国灾害防御协会风险分析专业委员会年会,2012.