

# 基于空间自相关法的水土保持区划研究

——以东北黑土区为例

刘卉<sup>1</sup>, 齐实<sup>1</sup>, 张海龙<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** [目的] 研究空间自相关法在水土保持区划中的应用, 以期对将来水土保持区划工作提供指导。[方法] 以东北黑土区为研究区域, 采用空间自相关法解析研究区气候、地貌、土壤、植被等空间分布特征, 并进行干湿分区、地貌分区、土壤分区等划分, 然后采用空间叠置法得出东北黑土区水土保持区划。[结果] 研究区划分为 10 个综合单元, 经植被、降雨以及地理要素分布等调整, 最终将研究区划分为 8 个二级区。[结论] 该研究区划结果较为准确, 空间自相关法在水土保持区划中具有较好的应用效果, 并且可以大大提高区划工作效率。

**关键词:** 水土保持区划; 空间自相关; 东北黑土区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0321-06

中图分类号: S157

文献参数: 刘卉, 齐实, 张海龙. 基于空间自相关法的水土保持区划研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 321-326. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.057

## Research on Soil and Water Conservation Zonation

### Based on Method of Spatial Autocorrelation

— A Case Study in Black Soil Region of Northeast China

LIU Hui<sup>1</sup>, QI Shi<sup>1</sup>, ZHANG Hailong<sup>2</sup>

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

**Abstract:** [Objective] This article explored the possibility of the application of spatial autocorrelation method in the soil and water conservation zonation in order to provide guidance for the future work. [Methods] Taking the black soil region of the Northeast China as the study area, this paper used the method of spatial autocorrelation to analyze the distribution characteristics of the climate, landform, soil, plant and other factors in the study area and then derived dry and wet climate regionalization, geomorphic regionalization and soil regionalization separately. Finally, the soil and water conservation zonation of the black soil in the north-east of China was got by using the geometrical packing method. [Results] The study area was divided in to 10 synthetic units by overlay analysis. Adjusted according to the distribution characteristics of the plant, rainfall and geographical factors, the study area was then summarized into 8 classes, 2 zones finally. [Conclusion] The results showed that the zonation result is comparatively accurate, and this method is not only practical but also improve work efficiency.

**Keywords:** soil and water conservation zonation; spatial autocorrelation; black soil region of Northeast China

水土保持是中国基本国策之一。中国国土面积大,地貌、植被、土壤、气候类型多样,水土资源分布不均,水土流失类型多样,面积分布较广,所以必须分区分类治理水土流失,因此水土保持区划工作尤为重要<sup>[1]</sup>。水土保持区划指在中国自然地理区划的基础上,根据自然条件、水土流失类型及强度分布的相似性及分异性将中国划分为若干个水土保持区,各区内

水土资源的利用、治理方向一致<sup>[2]</sup>。

目前用于水土保持区划的方法主要为统计分析法与空间叠加分析法,李欢<sup>[3]</sup>采用层次聚类法进行了淮河流域水土保持区划研究,吴海波等<sup>[4]</sup>采用 Bayes 判别分析进行了甘肃、宁夏、青海 3 省份的水土保持区划研究,张超<sup>[5]</sup>采用空间叠置法进行了山西省水土保持区划研究,赵岩等<sup>[6]</sup>运用层次分析法、聚类分析

法、现状评价等方法进行了中国水土保持区划研究。用于水土保持区划的指标数据具有明显的空间结构属性,若只是从经典统计学角度来考虑区划,那么区划过程结果将丢失数据的空间属性,导致区划结果往往在空间尺度范围内呈现离散分布,不能满足分区连续性的要求,外加,分区后期采取专家判定等较为主观的方法进行数据处理,人为因素影响较大<sup>[7]</sup>。在用空间叠置法进行水土保持区划的过程中,对于区划指标的空间分布特征解析主要是在栅格单元尺度范围进行,并没有在县域尺度范围内进行研究,然而区划一般以县域为单元进行,因此运用空间叠加进行水土保持区划的前提就是解析县域尺度下的分区指标的空间分布特征。

由地理学第一定律可知,任何事物间都存在空间相关性,并且距离越近关系越大<sup>[8]</sup>。目前空间自相关分析法广泛用于解析观测对象的空间分布特征,用于解析观测对象的全局空间相关性大小方法主要有全局 Moran's *I*, 全局 Geary's *C* 和全局 Getis-Ord *G*<sup>[9]</sup>, 运用最为广泛的方法为全局 Moran's *I*, 在全局 Moran's *I* 计算的基础上,运用局部空间自相关法,通过计算空间关联局域指标(local indicators of spatial association, LISA)解析观测对象的空间分布特征。谷建立等<sup>[10]</sup>运用空间自相关分析法解析了县域尺度下的土地利用分布特征,赵娜等<sup>[11]</sup>运用空间自相关法解析了高程、地形等空间分布特征,马燕飞<sup>[12]</sup>等采用空间自相关法解析了不同景观类型的空间分布特征。

2012年,由水利部水利水电规划设计总院和7大流域机构共同编制完成《全国水土保持区划(试行)》正式在全国范围内实施,区划采用的主要方法为聚类分析、层次分析以及空间叠加分析法。本文以区划一级分区中东北黑土区为研究范围,采用空间自相关分析法解析县域尺度下分区指标的空间分布特征,然后采用空间叠置法进行水土保持区划研究,作为一种新方法的应用,以期对将来水土保持区划工作提供指导。

## 1 研究区概况

以《全国水土保持区划(试行)》中的东北黑土区为研究区域,该区覆盖黑龙江省、吉林省全部,内蒙古自治区西部以及辽宁省北部区,包括154个县市区,地理境界范围在40°—53°30'N, 115°—135°E之间。区域平原、台地、丘陵、山地均有分布;多年平均降雨量在243~1200mm之间,呈现由西向东逐渐递增的趋势;干燥度在1~3.62之间,其中干燥度较大的地区分布在西部,干燥度较低的地区分布在东部及北部;积温在1500~3498℃之间,呈现由北向南逐渐

递减的趋势;东北黑土区土壤类型共4类土壤带,分布最广泛的为暗棕壤,黑土带;东北黑土区分布有7大植被类型区,分布最广泛的植被类型区为温带针阔叶混交林区。

## 2 研究方法及数据

### 2.1 分区指标及数据来源

2.1.1 分区指标 根据《全国水土保持区划(试行)》,东北黑土区二级分区主要依据地貌类型、水土流失类型、植被类型、土壤类型、 $\geq 10$ ℃积温、多年平均降水量进行分区;主要空间分区指标为:地貌指标(起伏度)、土壤指标(土壤带)、气候指标( $\geq 10$ ℃积温、多年平均降水量、干燥度)、植被指标(植被类型)。

2.1.2 分区指标重要性分析 若同一区内存在多种水土流失类型,那么在二级区划中宜首先进行水土流失类型区的划分。本文选取干燥度进行划分;在同一水土流失类型区中,宜考虑从水土流失影响因素进行二级区划。影响水土流失的因素多样,包括地貌、降雨、植被、土壤等,土壤一般成地带性分布,然而大区内地貌类型多样,山地、丘陵、平原交错,不同的地貌类型,植被类型不一,水土流失强度不一。那么在二级区划的过程中宜将地貌指标作为优先分区指标,然后考虑土壤、降水及植被等因子。

2.1.3 分区数据及来源 根据分区指标,本文数据分为4类:①基础数据:中国1:4000000县级行政区划图,来自国家测绘局;《全国水土保持区划(试行)》分区图。②地貌数据:中国1000m分辨率数字高程模型,来自国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”。③土壤数据:中国土壤区划二级分区图(栅格单元30m×30m),根据中国科学院南京土壤所图纸数字化获取。④气候数据(栅格单元30m×30m):全国 $\geq 10$ ℃积温图、全国多年平均降水量图、全国干燥度分布图,根据国家气象信息中心发布的图纸数字化获取。

### 2.2 分区方法及技术路线

2.2.1 局部空间自相关 为反映分区指标的空间分布特征,本文采用局部空间自相关法(Anselin Local Moran's *I*)对各个分区指标进行空间聚类分析,确定分区指标空间聚集分布特征。局部空间自相关通过计算空间关联局域指标(LISA),即:局部莫兰(Local Moran's *I*)指数,来确定高值与高值聚集(HH聚集)的位置。具体计算公式如下:

$$I_i = \frac{x_i - X}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - X) \quad (1)$$

式中: $x_i$ —— $i$ 要素的属性值; $X$ ——所有要素属性

值的平均值;  $w_{i,j}$ ——要素  $i$  和  $j$  之间的空间权重,  $n$  等于要素总数,  $S_i$  是所有空间权重的聚合。下同。

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - X)^2}{n-1} - X^2 \quad (2)$$

$Z_{I_i}$  为标准差的倍数, 用于检验空间自相关性。统计的  $Z_{I_i}$  得分按以下形式计算,  $E[I_i]$  为统计观测属性的期望,  $V[I_i]$  为观测属性的方差:

$$Z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

$$E[I_i] = \frac{-\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j}}{n-1} \quad (4)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E^2 \quad (5)$$

在  $Z$  检验结果的基础上, 利用 GeoDa 软件绘制区域 LISA 分布图。

2.2.2 技术路线 本文以县级行政区为单元, 利用 GeoDa, ArcGIS 两款软件解析东北黑土区干湿、地貌、土壤、植被以及气候特征, 得到干湿分区、地貌分区以及土壤分区 3 项分区结果, 进而对 3 项分区结果进行叠加, 得到初步分区, 最后根据植被特征、气候特征对初步分区进行调整得到最终分区(图 1)。

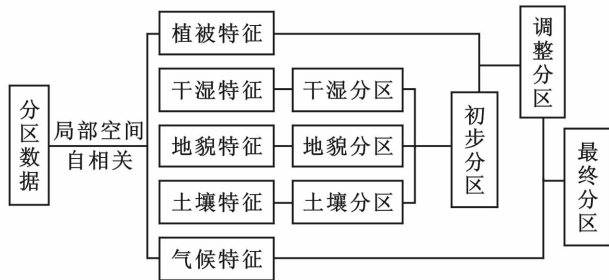


图 1 东北黑土区分区技术路线

### 3 结果与分析

#### 3.1 空间分布特征

3.1.1 地貌特征 以中国 1 000 m 分辨率 DEM 为基础, 采用 5 km × 5 km 邻域分析<sup>[13]</sup>, 得到全国 1 : 100 000 地形起伏度图, 利用 ArcGIS 10.2 裁出东北黑土区起伏度图, 参考李炳元等<sup>[14]</sup>提出的地貌类型划分标准进行东北黑土区地貌类型的划分。为了反映不同县级行政区内的地貌形态的空间分布, 本文选取地貌形态类型面积比(地貌类型面积/县级行政区划面积)作为计算变量, 利用 GeoDa 软件分别对不同地貌类型进行局部空间自相关分析, 得到 LISA 分布图(图 2)。

根据图 2 可知, 平原面积占县级行政区面积比例较大的区域(HH)主要聚集在东北黑土区中部地区及东北部地区, 台地 HH 聚集主要分布在东北黑土

区北部及长春南部地区, 丘陵 HH 聚集分布在东北黑土区北部大兴安岭地区及东部长白山地区, 小起伏山地 HH 聚集分布东部长白山地区, 中起伏山地 HH 聚集在分布东部长白山地区及西部区域。

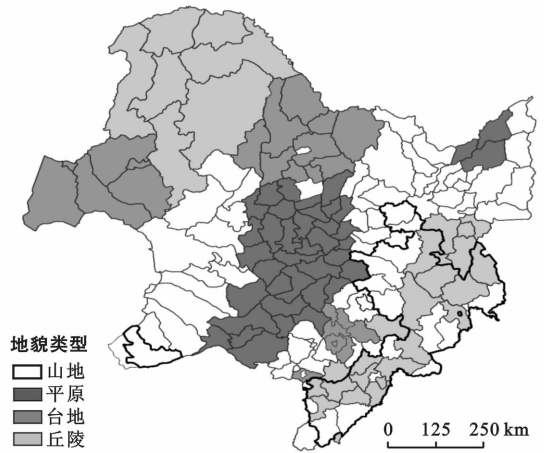


图 2 东北黑土区不同地貌类型 LISA 分布(高值与高值聚集)

3.1.2 气候、植被特征 同理可得到积温、降雨、干燥度 LISA 分布图(图 3), 以及植被 LISA 分布图(图 4)。

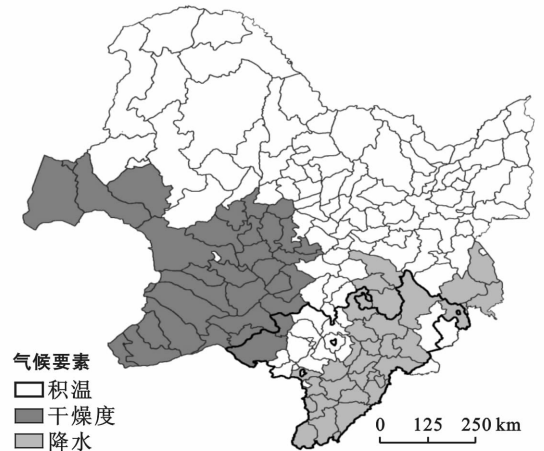


图 3 东北黑土区气候 LISA 分布(高值与高值聚集)

根据图 3 可知, 降雨 HH 聚集主要分布在东部长白山地区, 积温 HH 聚集主要分布在东南地区; 干燥度 HH 聚集主要分布在中部平原及西部地区。

根据图 4 可知, 乔木林 HH 聚集主要分布在长白山林区及大兴安岭林区, 聚集范围较广泛。草地 HH 聚集主要集中分布在区域的西侧。农作物 HH 聚集主要分布在区域中部平原上。沙地 HH 聚集主要分布在区域的南侧。

3.1.3 土壤特征 根据中国土壤区划, 东北黑土区土壤类型共 4 类土壤带, 分别为: I 寒棕壤、漂灰土带; II 棕壤、褐土带; III 暗棕壤、黑土带; IV 黑钙土、栗钙土、黑垆土带(图 5)。

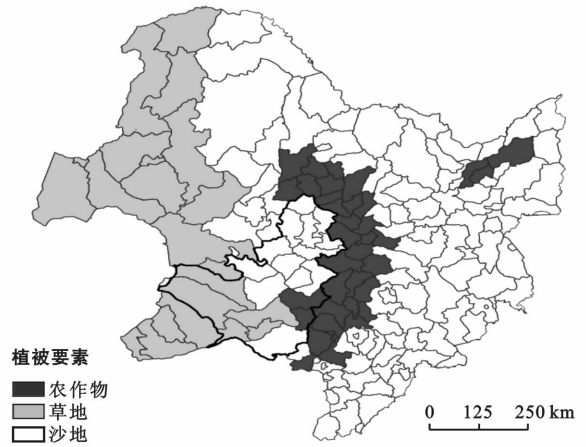
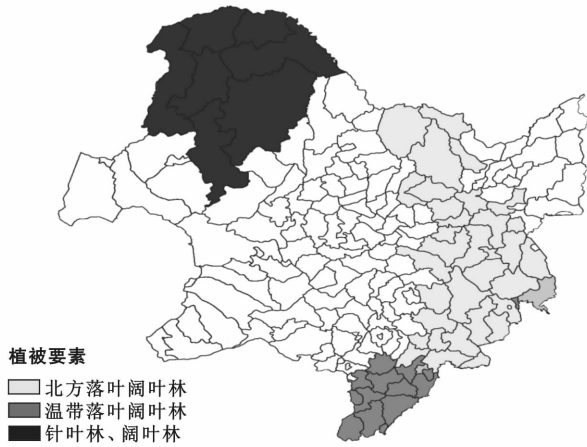


图 4 东北黑土区植被 LISA 分布(高值与高值聚集)

### 3.2 空间分区

#### 3.2.1 重要指标空间分区

(1) 干湿分区。根据干燥度系数与气候大区及自然景观的关系,干燥度系数 1.6 为半湿润与半干旱的分界线,利用 ArcGIS 空间统计功能,统计不同县级行政区的干湿气候类型,根据面积最大原则确定县

级行政区的干湿气候类型,将东北黑土区划分为湿润及半湿润区和干旱及半干旱区两大区域(图 6)。

(2) 地貌分区。根据不同地貌类型 LISA 分布图以及各县级行政区地貌类型,将东北黑土区地貌类型主要划分为 4 类,分别为平原、平原—台地、丘陵—台地、山地—丘陵(图 7)。

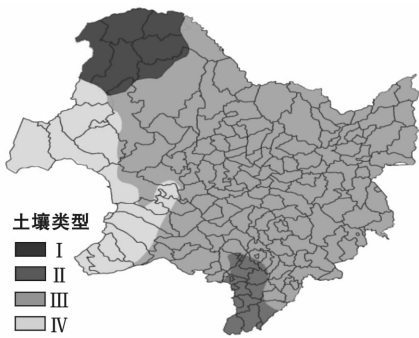


图 5 东北黑土区土壤类型分布

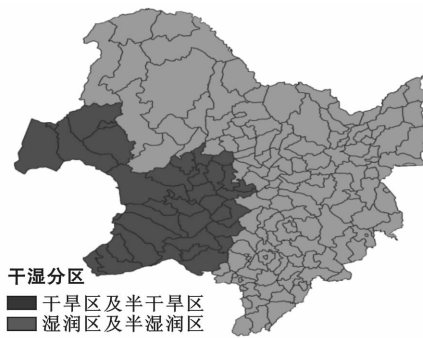


图 6 东北黑土区干湿气候分区

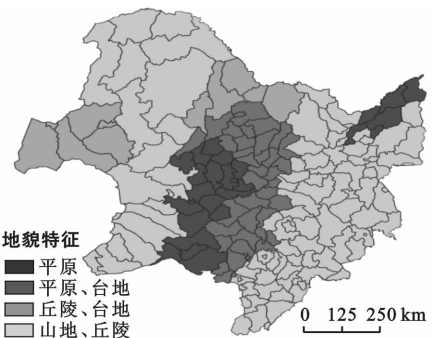


图 7 东北黑土区地貌分区

(3) 土壤分区。根据东北黑土区土壤带分布,采用 ArcGIS 面积统计功能,分别统计不同县级行政区土壤带类型面积及面积比,根据最大面积比原则确定不同县级行政区土壤带类型(图 8)。

3.2.2 初步分区 本研究结合干燥度、地貌及土壤分区,利用 ArcGIS10.2 的空间叠置功能,可以将东北黑土区初步划分为 10 大类型区。(详见图 9,表 1)。

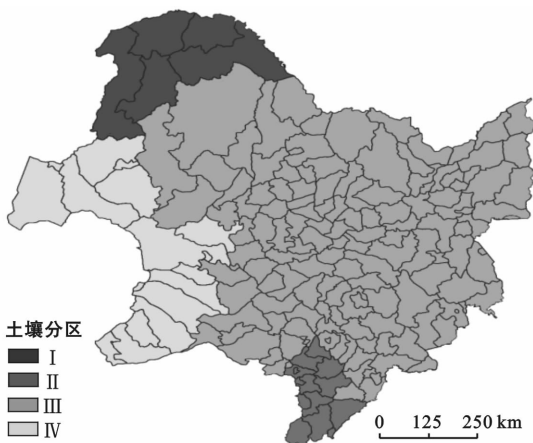


图 8 东北黑土区土壤分区

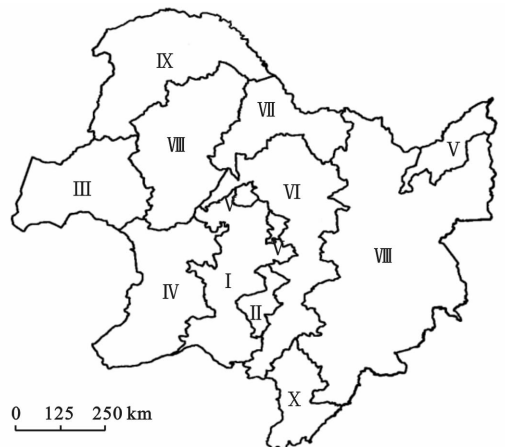


图 9 东北黑土区综合单元分布

表 1 初步分区

编号	干湿气候	地貌类型	土壤带类型
I	干旱区	平原	暗棕壤、黑土带
II	干旱区	平原、台地	暗棕壤、黑土带
III	干旱区	丘陵、台地	黑钙土、栗钙土、黑垆土带
IV	干旱区	山地、丘陵	黑钙土、栗钙土、黑垆土带
V	湿润区	平原	暗棕壤、黑土带
VI	湿润区	平原、台地	暗棕壤、黑土带
VII	湿润区	丘陵、台地	暗棕壤、黑土带
VIII	湿润区	山地、丘陵	暗棕壤、黑土带
IX	湿润区	山地、丘陵	寒棕壤、漂灰土带
X	湿润区	山地、丘陵	棕壤、褐土带

3.2.3 分区调整

(1) 植被因子。温带阔叶阔叶林主要分布在 X 区及 VIII 区,并且在 X 区内大面积分布,使得这一植被类型在 X 区内较明显,然而 X 区的划分考虑了土壤类型的特异性,若根据温带阔叶林植被分布范围进行调整分区边界,则不能保证区域土壤类型的一致性。根据指标重要性的大小,本文考虑保留 X 区现有分区现状。针叶林、阔叶林分布在 IX 区全部, VII 区大部, VIII 西区大部,而 IX, VIII 西区地貌类型一致,考虑将 IX 区与 VIII 西区合并;而 IX 区与 VII 区地貌相差较大,从指标重要性大小考虑维持原有分区不变。落叶针叶林分布在 IX 区内,其他区域无分布,植被分布与分区特征明显。北方落叶阔叶林主要分布在 VIII 区内,在 VII 区内少量分布,由于 VII, VIII 区地貌类型差异较大,从指标重要性大小考虑维持原有分区不变。草地分布在 III 区、IV 区、IX 区部分、I 区部分,那么 III, IV 区植被特征明显; I, IX 区主要根据地貌进行划分,并且 IX 区内现有乔木植被分布特征较明显,因此无需根据草地分布调整边界。农作物主要位于 VI 区内,考虑到干湿区分界,将安达市、九台市及富裕县划入 VI 区内。沙地位于 I 区大部,部分分布在 IV 区及 II 区,分布在 IV 区的沙地由于地貌与 I 区差异较大,考虑 IV 区边界不变,将 II 区划入 I 区(图 10)。

(2) 根据降雨及其他因素调整。为了体现不同区域的特点,区分大小兴安岭与长白山的边界,保证区域的连贯性及不同区域的差异, VIII 分别涉及小兴安岭和长白山地区范围,因此本文进行地域区分,将 VIII 区分为两大区(分别为 VIII 和 II 区,见图 11)。根据降雨 LISA 分布图可知, III, IV, IX, I 位于降雨 LL 聚集区; VII 区部分、VI 区部分位于降雨 LL 聚集区,由于 VII 区、VI 区的分区考虑地形、植被、干燥度等指标,本文考虑维持边界不变。已有区划将 IX 与 VII 区合并为一

个二级区,那么从降雨分布的角度考虑,划分欠妥,研究将 IX 区与 VII 区分开(即将大兴安岭与小兴安岭区分开)。已有区划将 V 区划入长白山—完达山山地丘陵区,根据东北黑土区降雨分布, V 区降雨与 II 区、VII 区类似,与 VIII 区相差太大,若需合并, V 区宜划入小兴安岭区,但考虑 V 区与 II 区地貌类型差异巨大,本文考虑维持 V 区不变。综合,可将东北黑土区分为 8 个二级区(图 12),根据分区地貌、植被特征将 8 个二级区分别命名为: I 松辽平原风沙区; II 呼伦贝尔草原区; III 大兴安岭南森林草原区; IV 东北漫川漫岗区; V 大兴安岭北丘陵山地区; VI 小兴安岭低山丘陵区; VII 长白山—完达山山地丘陵区; VIII 三江平原区。

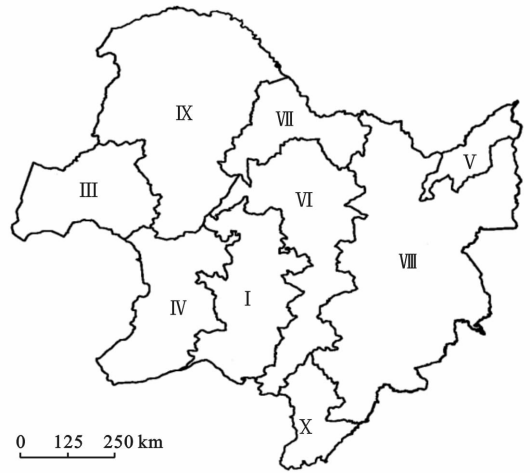


图 10 以植被因子为依据的东北黑土区调整分区

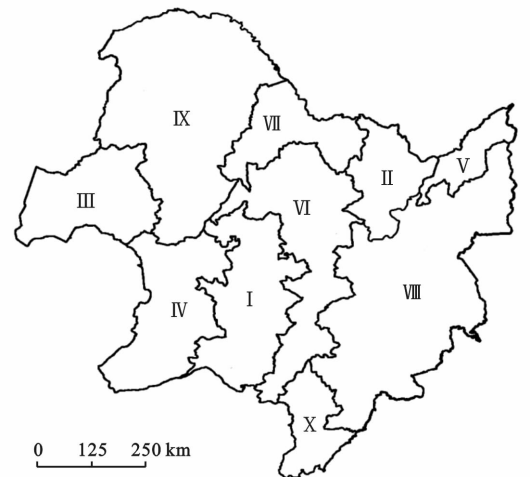


图 11 以地理因子为依据的东北黑土区调整分区

3.2.4 结果分析 本文从气候、地貌、土壤、植被等方面将区划结果与《全国水土保持区划》(试行)东北黑土区二级区划结果进行对比分析(见表 2)。

根据对比分析可知,本文所得的二级分区较原有分区干湿界线更明显、地貌类型划分更明确,范围更

准、各区土壤类型特征明显,分区与植被分布关键更密切。

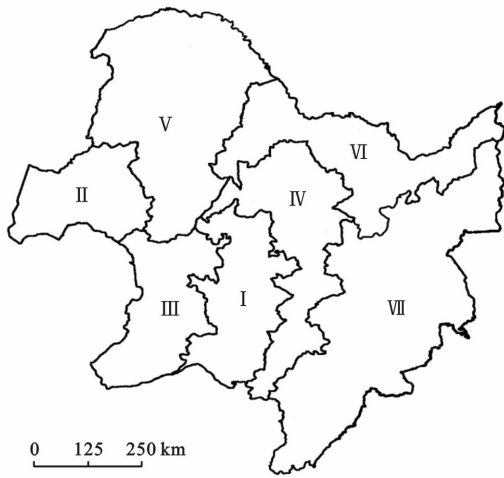


图 12 东北黑土区水土保持二级分区

## 4 结论

(1) 研究将东北黑土区划分为: I 松辽平原风沙区, II 呼伦贝尔草原区, III 大兴安岭南森林草原区, IV 东北漫川漫岗区, V 大兴安岭北丘陵山地区, VI 小兴安岭低山丘陵区, VII 长白山—完达山山地丘陵区, VIII 三江平原区 8 个二级区。

(2) 本文从影响水土流失的因素等方面探讨空间自相关法在水土保持区划应用的可能性, 研究结果表明, 该法应用性较强, 区划结果较为准确, 并且可以大大提高区划工作效率。

(3) 本次研究方法、研究指标以及数据的精度都存在一定的不足性, 希望在将来研究中采用精度较高的数据, 将局部空间自相关法与统计分析法结合使用, 将社会经济相关指标也纳入研究指标内, 以求分区结果更为准确。

表 2 研究结果与《全国水土保持区划》(试行)东北黑土区二级区划结果对比分析

指标	二级区	原二级区
干湿气候	二级区干湿界线明显, 无交叉情况	大兴安岭东南山地丘陵区以及东北漫川漫岗区跨越两大干湿区, 从侵蚀类型分析, 水蚀风蚀界线不明显
地貌	分区与地貌关系密切	分区与地貌关系密切, 部分区域有交叉
土壤	各区土壤特征明显	大兴安岭东南山地丘陵区土壤类型多样, 其他区域土壤类型特征明显
植被	各区更加突出了植被的分布, 特别是沙地以及农作物的分布	不同区内优势植被类型较明显, 然而松辽平原风沙区较风沙分布范围较窄、东北漫川漫岗区较农作物分布范围较广

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孙保平. 中国水土保持区划目的、任务与特点[C]//中国水土保持学会水土保持规划设计专业委员会, 2011 年年会论文集. 北京: 中国科技出版社, 2011: 13-17.
- [2] 王治国, 张超, 纪强, 等. 全国水土保持区划分级体系与方法[C]//中国水土保持学会水土保持规划设计专业委员会, 2011 年年会论文集. 北京: 中国科技出版社, 2011: 1-8.
- [3] 李欢. 淮河流域水土保持区域研究[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [4] 吴海波, 赵晓慎, 王治国, 等. 基于 Bayes 判别分析模型的水土保持区划[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 88-91.
- [5] 张超. 水土保持区划及其系统架构研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [6] 赵岩, 王治国, 孙保平, 等. 中国水土保持区划方案初步研究[J]. 地理学报, 2013, 68(3): 307-317.
- [7] 周天墨, 付强, 诸云强, 等. 空间自相关方法及其在环境污染领域的应用分析[J]. 测绘通报, 2013(1): 53-56.
- [8] 刘吉平, 吕宪国, 崔炜炜. 别拉红河流域湿地变化的多尺度空间自相关分析[J]. 水科学进展, 2010, 21(3): 392-398.
- [9] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(4): 93-97.
- [10] 谷建立, 张海涛. 基于 DEM 的县域土地利用空间自相关格局分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 216-222.
- [11] 赵娜, 王铮. 不同比例尺下 DEM 的地形特征空间自相关性差异: 以川渝地区和长三角区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(5): 50-54.
- [12] 马燕飞, 沙占江, 郭丽红, 等. 基于 NDVI 及 DEM 的青海湖北岸景观格局空间自相关分析[J]. 遥感信息, 2010(6): 95-100.
- [13] 刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57-62.
- [14] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 535-543.