

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

石淑芹^{1,2} 陈佑启^{2,3} 李正国^{2,3} 杨 鹏^{2,3} 吴文斌^{2,3} 汤 芳⁴

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081; 2. 天津工业大学管理学院, 天津 300387;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 4. 武汉市土地储备整理中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 以吉林省为例, 构建玉米种植区划指标体系, 并利用空间插值技术和辅助信息对降水、土壤和玉米单产等指标的空间模拟进行重点研究。其中, 将多元回归+残差内插相结合对气象站点观测的降水数据进行了空间模拟; 将相关性较高的变量作为协因子, 并结合土壤类型数据, 利用 Cokriging 插值, 获取了土壤属性空间模拟数据; 利用耕地质量空间分布数据对玉米统计单产数据进行修正得到玉米单产空间模拟数据。然后, 开展吉林省玉米种植适宜性评价和区划研究, 将吉林省分为高度适宜区、中度适宜区、低度适宜区和不适宜区 4 个等级; 并结合农业综合分区, 得到 13 个不同的玉米种植区域。

关 键 词: 空间插值; 指标; 适宜性评价; 区划; GIS

中图分类号: S5019 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)04-0408-07

目前为止, 区划研究已由早期的以实地调查、理论研究和专家定性工作为主逐步发展到将定性与定量相结合、以定量化研究为主, 由以自然、生态和经济为主的研究逐步转向涉及人类生产、社会经济与可持续发展相关的区划。全球气候变化及粮食安全等问题的日益突出, 使作物种植面积和生产潜力发生变化^[1,2], 种植业区划也因而得到学术界及有关部门的高度重视。内蒙古、陕西、新疆和湖南等地区已经开展区域玉米气候区划、种植区划及品种区划研究, 研究方法以实地调查和田间试验分析居多^[3~7]。近年来, 各国学者也把 GIS 及栅格分析方法应用于作物气候区划^[8~18], 通过借助地形因素开展气候数据的空间化模拟, 提高作物气候区划的精度。但由于较为精确的众多作物种植区划指标空间分布数据难以获取等原因, 使更加符合实际的作物种植区划成果较少。3S 技术和地统计分析方法的运用, 对各种区划指标的空间化模拟及作物种植区划定量研究提供便利, 但相关研究成果还不多见。

本文以吉林省为例, 在 20 世纪 80 年代吉林省

相关区划研究基础上, 利用 GIS 技术、空间插值和回归分析方法, 对玉米种植区划指标体系中的降水、土壤和统计单产等要素的空间模拟进行了重点研究, 并开展吉林省玉米种植适宜性评价和区划研究, 为吉林省玉米的区域规划和玉米产业持续发展提供科学依据, 为作物区划研究提供方法参考。

1 区划方案及步骤

1.1 指标体系的构建及权重确定

本次以综合性与主导性相结合、等级性、地域差异性以及指标的可操作性等为原则, 参考国内外相关研究成果, 结合研究区域特点及本次工作目的, 确定出玉米适宜性评价的参评因子为 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、4~9 月降水量、地形高度、坡度、土壤理化性质 (pH 值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾)、土壤类型、灌溉(水源)保证程度、玉米单产等 12 个因子。

评价因子分级量化。从吉林省自然地理特征和社会经济条件出发, 参考以往分级标准, 对各参评因子的限制强度进行了分级(表 1), 作为评定耕地适宜性等级的依据。指标分级的主要依据和过

收稿日期: 2010-10-15; 修订日期: 2010-12-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 计划项目(2010CB951500)、国家自然科学基金项目(40930101 和 40801221)、农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室基金(RDA1010)、天津市高等学校人文社会科学研究项目(20092115)、教育部人文社会科学研究一般项目(10YJCZH129)、天津市科技支撑项目(08ZCGHHZ00900)资助。

作者简介: 石淑芹(1980-), 女, 山东淄博人, 讲师, 研究方向土地利用与 GIS 工程。E-mail: ssq0533@163.com

通讯作者: 陈佑启, 研究员。E-mail: chenycqi@mail.caas.net.cn

表 1 吉林省玉米种植适宜性评价指标体系、分级及权重

Table 1 Index system of suitability evaluation in Jilin Province

评价指标	权重	评价标准			
		高度适宜	中度适宜	低度适宜	不适宜
≥10℃ 积温(℃)	0.1	≥2800	2600 ~ 2800	2400 ~ 2600	< 2400
降水量(mm)	0.1	≥450	400 ~ 450	350 ~ 400	< 350
土壤类型					盐碱土、风沙土、涝洼地
地形高度(m)	05	<200	200 ~ 500	>500	
坡度(℃)	0.05	0 ~ 2	2 ~ 6	>6	
pH 值	0.1	6.5 ~ 7.5	5.5 ~ 6.5 或 7.5 ~ 8.0	5.0 ~ 5.5 或 8.0 ~ 8.5	
有机质含量(%)	0.1	>2.47	1.43 ~ 2.47	<1.43	
碱解氮(%)	0.1	>23.24	13.13 ~ 23.24	<13.13	
速效磷(%)	0.1	>20.92	13.11 ~ 20.92	<13.11	
速效钾(%)	0.1	>99.33	75.79 ~ 99.33	<75.79	
灌溉保证程度 (用水量 m ³ / hm ²)	0.1	>15000	1500 ~ 15000	< 1500	
粮食单产(kg/ hm ²)	0.1	>8.0 × 10 ⁷	5.7 × 10 ⁷ ~ 8.0 × 10 ⁷	< 5.7 × 10 ⁷	

程如下: 积温与降水的分级参考旧玉米适宜性区划 灌溉(水源) 保证程度分级参考吉林省水利区划报告中的分级数据 地形高度分级参考依据地貌分级标准 坡度分级参考国家《土地利用现状调查技术规程》规定。土壤养分(K、P、N、有机质) 指标分级标准的制定是参考中国农科院国家测土施肥中心实验室制定的基于 ASI 法的土壤速效养分分级指标标准 利用 GIS 的自然段点法进行分级。粮食单产的分级是利用粮食单产空间分布数据 结合东北粮食生产环境的特点和实际调查情况 利用 GIS 的自然段点法进行分级。

指标权重的确定主要依据特尔斐法 此次邀请了土壤学、农学、农业经济管理、地理学、区域经济学、生态学、环境科学等领域专家 23 人 进行指标权重的打分。经过对专家打分及意见的汇总 结合国内外相关文献资料以及东北地区耕地利用特点, 得到各评价指标及权重结果。

1.2 评价指标的空间模拟

1) 降水数据空间化。目前常用的气象数据空间化方法有克里金插值法、泰森多边形法、逆距离加权法、样条法等。近年来, 有些学者提出在地形复杂地区通过增加不同的地形变量^[19 20], 并利用 ANUSPLIN 模型^[21]、PRISM 模型^[22]等算法进行空间插值 还有将多元回归分析和常规插值相结合的方法^[23] 这些新方法的尝试均取得较好的效果。本次采用多元回归 + 残差内插相结合方法 对吉林省气象站点观测数据进行了空间模拟, 步骤为: 首先以气象站实测的气象数据为输出变量, 以气象站

的经度、纬度、海拔高度、坡度、坡向和地形遮蔽度等为输入变量进行多元回归分析并建立回归方程, 同时得到每个气象站的残差。然后用回归方程计算各气象站的气象数据(规律性部分) , 同时用空间内插方法对残差进行空间插值 得到栅格化的残差。将残差进行空间插值后再加上回归方程的计算结果即得到栅格化的气象数据。

气象数据采用 2005 年 5 ~ 9 月份的吉林省 45 个气象站点的旬平均降水资料。选取 40 个气象站点的数据用于建立降水的空间分布模型 并同时选取在空间分布上相对均匀的其余 5 个气象站点的数据用于模型的验证。用于回归分析的地形遮蔽度数据是在 ARC/INFO 9.2 中利用 Spatial Analyst 模块中的 Hillshade 等函数命令 通过 DEM 数据衍生获取。

降水与其他要素的多元线性回归关系式为:

$$Y = 67\,977.011 - 134.119X_1 - 1\,022.777X_2 + 1.889X_3 + 86.992X_4 - 0.608X_5 - 7.292X_6$$

复相关系数 $R = 0.805$ 。

其中 Y 为 5 ~ 9 月份降水 X_1 为经度 X_2 为纬度, X_3 为海拔高度(dem) X_4 为坡度 X_5 为坡向 X_6 为地形遮蔽度。

在上述回归模型基础上 利用降水量实际值减去回归模型的模拟值计算出各气象站点的残差(图 1)。在一定距离范围内 降水量残差的半方差值随距离增加而增加, 呈正相关关系, 而当大于这个距离时, 半方差值趋于稳定, 表明降水量残差具有一定的空间相关性。残差的半方差函数适用克

里金插值方法,然后通过选择适当模型及参数实现降水量残差的方差空间分布。

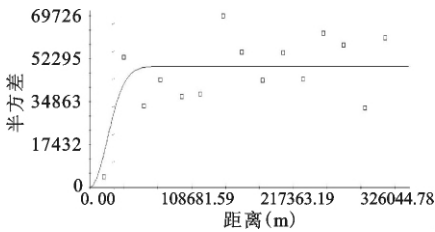


图1 残差的半方差变异函数

Fig. 1 Variogram for seasonal precipitation

在 ARCGIS 的空间分析模块下,将残差空间插值结果与回归方程计算结果相加得到研究区域 1 km×1 km 分辨率的 5~9 月份降水空间模拟数据(图 2)。

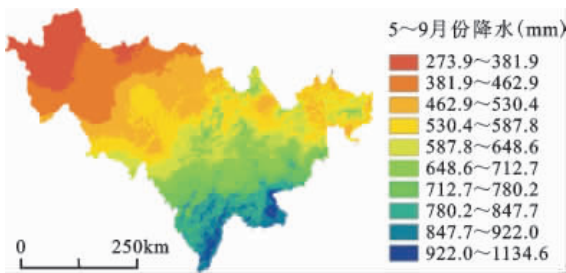


图2 5~9 月份降水量分布

Fig. 2 Distribution of precipitation from May to September

2) 土壤要素空间化。本次调查在收集第二次土壤普查资料数据和土壤肥力监测资料数据的基础上,考虑土地利用、土壤类型以及地形格局的分布特点,在 2005 年采用网状均匀布点模式,采样间隔为 10 km×10 km,利用 GPS 进行实地样点空间定位,并根据吉林省地区土壤类型图与地形地貌等实际情况调整采样点的位置,在山地丘陵地区或根据采样点之间土壤类型不同而适当补加采样点,以便使样点在空间上具有广泛的代表性。每一个样点都按农化样的采样要求在直径 100 m 范围内选择 3~5 个点,混合按四分法采集样品。共采集 144 个样点 0~20 cm 表层土壤混合样品。采用土壤养分状况系统研究法(ASI 法)进行土壤样品的测试分析,得到 pH 值、有机质、氮、磷、钾、中微量元素等土壤化验数据。

应用 SPSS14.0 统计软件,采用对数转化、域法处理(样本平均值 $\bar{x} \pm 3\sigma$)、Box-Cox 转化 3 种数据处理方法和柯尔莫哥洛夫-斯蜜诺夫检验(K-

S 检验),计算样本偏度、峰度和 K-S 等参数,并对其是否服从正态分布进行检验。研究发现,研究区域土壤中土壤养分变异系数都较大,这说明这些元素的分布存在一定的空间变异性,且除了速效磷属于强变异类型之外,其他都属于中等变异类型。

由于原始数据集的概率分布表现出强的偏斜效应,在地统计学和插值分析之前必须进行数据转化。为获取更为准确的插值源数据,对原始数据分别进行对数变化、域法处理、Box-Cox 转化和 K-S 检验,通过比较 K-S 检验的显著水平(K-SP)选择最好的处理方式。研究发现,pH 值原始数据很好的符合正态分布,而有机质、速效磷、速效钾和碱解氮经过对数转换变化后达到最佳效果。因此,采用有机质、速效磷、速效钾和碱解氮经过对数转换变化后的数据用于插值,而 pH 值采用原始数据。

影响土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷的因素很多,土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷含量与土壤其他性状可能存在一定程度的相关性这一点,已经成为大多研究学者所关注的热点^[24]。吉林省土壤各要素或性状间相关性分析表明,土壤中 pH 值与有效 Fe、有效 Mn、和速效氮的呈显著负相关,分别为 -0.71、-0.70 和 -0.67。有机质与 pH 值、有效 Ca、有效 Mn 等元素具有较高的相关性,与 pH 值呈现负相关,相关系数为 -0.58,与有效 Ca、有效 Mn 等元素为正相关,相关系数分别为 0.56 和 0.52。碱解氮与 pH 值具有显著负相关,相关系数 -0.67;与有效 Fe 和有效 Zn 呈显著正相关,相关系数分别为 0.56 和 0.54。速效磷与速效钾、有效 Zn 呈显著正相关,相关系数分别为 0.67 和 0.64。因此,与 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷元素相关性较高的地理要素和微量元素可以作为协因子参与协克里金插值分析。

众所周知,土壤类型对于土壤养分含量的空间分布具有重要影响^[25]。因此,首先利用 GIS 将 1:100 万土壤类型图与采样点分布图叠置,计算落在同一土壤类型斑块内各采样点的土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷的平均值,并生成 1 km×1 km 基于不同土壤类型的土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷平均值栅格数据(为描述简便起见,将这 5 种平均值栅格数据依次称为 A、B、C、D、E)。基于上述相关性分析结果,分别以

A 为辅助数据对各采样点的 pH 值进行 Cokriging 插值分析,以 A 为辅助信息对各采样点的有机质进行 Cokriging 插值、选择各采样点的速效磷和 C 作为辅助信息对各采样点的速效钾进行 Cokriging 插值、选择各采样点 pH 值和 D 作为辅助信息对各采样点的碱解氮数据进行 Cokriging 插值、选择各采样点有效锌(Zn) 和 E 作为辅助信息对各采样点的速效磷数据进行 Cokriging 插值。分析还发现,采用以上相关要素的 Cokriging 插值方法的精度均优于采用海拔高度、坡度、坡向等其他要素作为辅助信息的 Cokriging 插值。根据模型选择的评判标

准,通过对表中各个拟合参数进行比较发现,选择 Gaussian 模型拟和土壤 pH 和有机质含量、J - Bes-sel 模型拟和速效钾、Stable 模型拟和碱解氮和速效磷比较合适。从普通 Kriging 插值、基于土壤类型和微量元素的 Cokriging 插值分析的交叉检验和检验站验证结果发现,利用辅助变量的 Cokriging 插值在增加估值精度方面具有较为明显的优势,插值结果优于普通 Kriging 插值。最终,利用基于土壤类型和微量元素辅助信息进行空间插值方法得到的 1 km × 1 km 分辨率的土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷元素空间模拟数据(图 3) 。

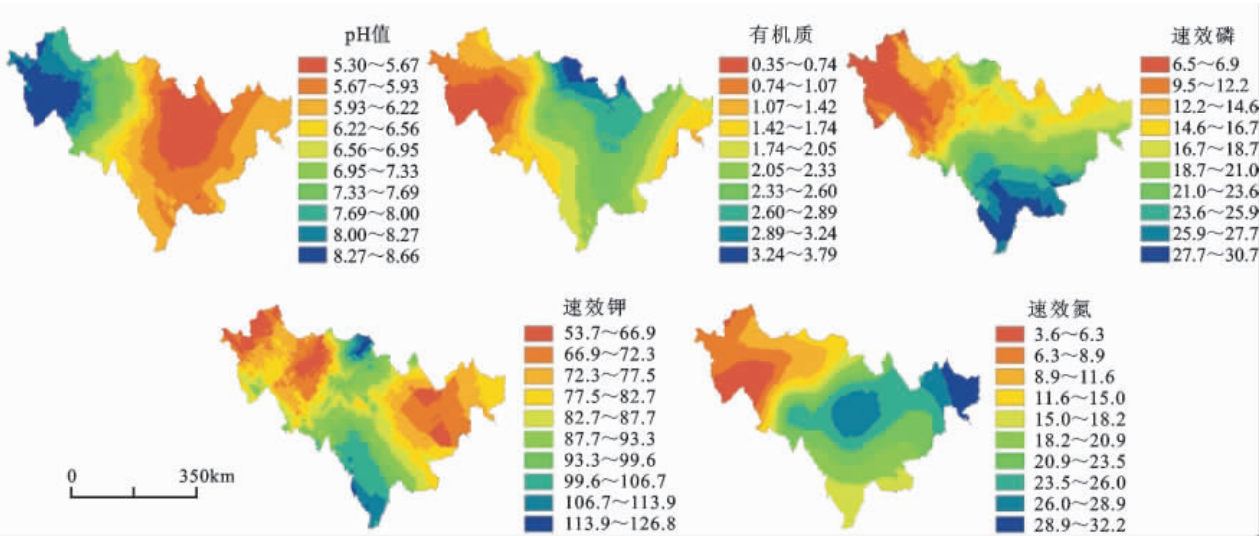


图3 土壤 pH 值、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷分布
Fig. 3 Distribution of pH , OM , available K , available N and available P in soil

3) 玉米单产数据空间化。利用农业统计数据计算得到的 2001 ~ 2005 年各县玉米平均单产数据,利用 GIS 将其与县级行政区划数据连接形成矢量数据,并将其转换成 1 km × 1 km 的栅格数据。将科技部科研院所社会公益研究专项“中国区域性耕地资源变化影响评价及其预警”的研究成的吉林省耕地质量空间分布数据^[26]中的综合指数值标准化,使综合指数值在 0 ~ 1 之间。将标准化后的耕地质量空间分布数据作为权重,与县级玉米单产空间分布数据叠加相乘得到修正后的玉米单产空间模拟数据。

4) 其他评价指标数据处理方法。利用 DEM 数据衍生出 1 km × 1 km 的坡度数据。灌溉保证程度数据参考吉林省水利区划报告中的相关数据,并结合实地调查进行修正获得。

本次用于玉米适宜性评价以及区划的各评价

要素的原始图层既有栅格数据又有矢量数据。为便于数据叠加与运算,将研究区域各评价要素图层统一为分辨率 1 km × 1 km 的栅格数据

1.3 适宜性评价

土地适宜性评价方法常用的有 3 种,即极限条件法、综合分析和定量法。本文综合采用极限条件法、综合分析与经验指数和法评定每一评价单元图斑的适宜性及其适宜等级。在评定耕地适宜性(即适宜与不适宜与否)时以极限条件法为主,利用积温、降水和土壤作为一级评价指标对玉米适宜种植与否进行评价。而在确定适宜程度等级时,则以综合分析法为主,并辅之以极限条件法来分析、评定适宜等级。本次通过确定每个指标适宜值范围、指标权重,在 GIS 下将各个因素进行综合分析评价,得出适宜性分区定级。评价方法为权重叠加法,公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i P_i$$

式中, W_i 为第 i 个评价指标的分值; P_i 为第 i 个评价指标的权重; S 为综合指数。

评价的主要技术过程是基于 ArcGIS 的空间分析模块, 通过栅格运算得到适宜性评价的最终结果(栅格图), 然后通过栅格转矢量命令得到相应矢量图, 再将矢量图中破碎的图斑合并, 最终得到矢量格式的适宜性评价结果(图4)

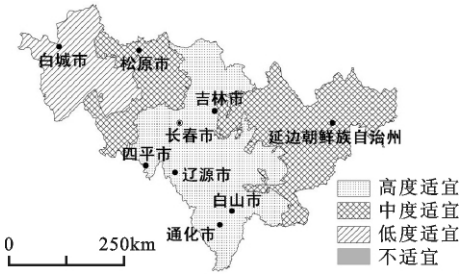


图4 吉林省玉米适宜性区域分布

Fig. 4 Spatial distribution of suitable zone for maize in Jilin Province

综合评价结果是将全省适宜程度分4个等级: 1 为高度适宜; 2 为中度适宜; 3 为低度适宜; 4 为不适宜, 各等级分布基本上具有集中连片的特点。高度适宜的土地面积为 $661.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总面积的 34.7%; 中度适宜的土地面积为 $402.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总面积的 21.2%; 低度适宜土地面积为 $66.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总面积 3.5%; 不适宜的土地面积为 $773.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总面积 40.6%。

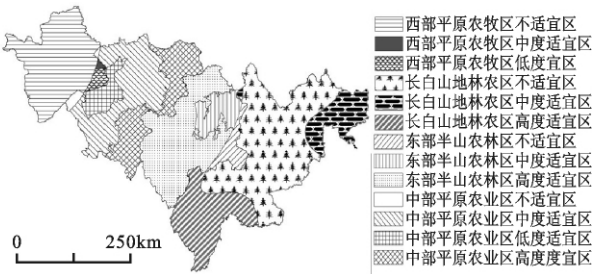


图5 吉林省玉米区划

Fig. 5 Spatial distribution maize zone in Jilin Province

1.4 分区

在区域作物种植适宜性评价基础上, 根据地理地域特征(如温度、降水、土壤、地形)和社会经济状况等区位条件进行区域作物种植空间分区。分区命名遵循以下原则: (1) 一级区命名要体现出分区的作物种植适宜性, 分为适宜区、较适宜区、次适宜区、不适宜区。(2) 二级区命名要体现地域、地

貌、气候、生产条件等特征。如西部平原农牧区、中部平原农业区、东部半山农林区 and 长白山地林农区。最终区划的结果是将吉林省划分为13个玉米种植区域(图4)。

2 分区结果及评述

西部平原农牧区中度适宜区和低度适宜区位于松嫩平原腹地, 土壤较肥沃, 是西部主要农业区, 区内光热资源丰富, 年均气温 $4.6 \sim 5.6^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $2\,900 \sim 3\,050^\circ\text{C}$, 无霜期 $140 \sim 150 \text{ d}$, 日照时间 $2\,866.6 \text{ h}$, 年降水量 400 mm 左右, 比较适合种植中熟或中晚熟玉米。西部平原农牧区除西北部为大兴安岭东麓第三丘陵外, 绝大部分为海拔 200 m 以下的平原, 风沙干旱频繁, 是吉林省的畜牧业基地。

中部平原农业区高度适宜区和中度适宜区面积平原广阔, 黑土广布, 土壤肥沃, 耕地集中连片, 区内大部分地区为大黑山西侧山前黄土台地平原, 海拔 $160 \sim 200 \text{ m}$, 绝大部分耕地适应机械化。光热资源比较丰富, 年均气温为 $4 \sim 5^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $2\,900 \sim 3\,000^\circ\text{C}$, 无霜期 $130 \sim 145 \text{ d}$, 年降水量 $500 \sim 600 \text{ mm}$ 左右, 比较适合种植中熟或中晚熟玉米。低度适宜区面积和不适宜区面积春季雨水较少, 部分地区地势低洼, 易成内涝。

东部半山农林区高度适宜区和中度适宜区一般为半山区河谷盆地和平原, 耕地地块较大, 更适合农业发展, 区内气候温良, 年均气温为 $3 \sim 5^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $2\,700 \sim 2\,900^\circ\text{C}$, 无霜期 $120 \sim 135 \text{ d}$, 年降水量 $650 \sim 700 \text{ mm}$ 左右, 较适合种植中早熟玉米。不适宜区主要为坡耕地, 水土流失严重, 受丘陵相间地形影响, 霜雹灾较多, 受低温冷害威胁。

长白山地林农区高度适宜区和中度适宜区主要为山间盆地和河谷平原, 受山地影响区内气候凉爽湿润, 年平均气温 $2 \sim 3^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $1\,900 \sim 2\,800^\circ\text{C}$, 无霜期 $100 \sim 120 \text{ d}$, 年降水量 $700 \sim 900 \text{ mm}$ 左右, 属于湿润地区。不适宜区面积主要分布在长白山地林农区中部地区, 这些地区低温冷害严重, 多霜冻(表2)。

3 结论与讨论

1) 3S 技术的飞速发展和地统计学方法的广泛应用, 为获取高精度的区划指标空间数据提供便利。本文利用 GIS 技术和空间插值方法, 通过建立

表 2 分区结果汇总

Table 2 Spatial distribution of suitable zones for maize

综合农业区	适宜区	面积 (×10 ⁴ hm ²)	占总面积 比例(%)	分布地区
西部平原 农牧区	中度适宜区	2.5	0.1	乾安县东部和北部
	低度适宜区	13.9	0.7	
	不适宜区	276.5	14.5	
中部平原 农业区	高度适宜区	170	8.9	榆树市、扶余区西部、德惠县东部、九台市东部、农安县南部、公主岭市东南部、梨树县东南部和四平市等
	中度适宜区	230.1	12.1	松原市市辖区、扶余区东部、前郭尔罗斯蒙古族自治县东部和北部、农安县、德惠县西南部、双辽县、长岭县南部等
	低度适宜区	52.1	2.7	前郭尔罗斯蒙古族自治县中部和南部、长岭县北部
	不适宜区	10.2	0.5	
	高度适宜区	302.9	15.9	
东部半山 农林区	中度适宜区	69.8	3.7	舒兰市、永吉县、长春市、伊通满族自治县、东辽县、辽源市、东丰县、梅河口市、磐石县、桦甸市西北部、吉林市西北部等
	不适宜区	38.8	2	蛟河市大部分地区 and 吉林市西南部、桦甸市北部等
	高度适宜区	189	9.9	桦甸市东南部和蛟河市东南部
长白山地 林农区	中度适宜区	100.5	5.3	柳河县、通化县、通化市、白山市、江源县、集安市和临江市等
	不适宜区	448.5	9.9	珲春市、图们市、汪清县东南部、延吉市东南部和龙井市东部
	高度适宜区	189	9.9	长白山地林农区中部地区

气象要素、土壤要素与其他海拔高程、坡度、坡向、土壤性质等辅助地理要素的空间模型,获取气象、土壤等指标的空间分布数据,从而提高了指标数据获取的可靠性,为玉米种植的适宜性评价和区划研究提供数据基础,为区划和其他研究中指标数据的获取提供方法借鉴。

2) 将吉林省划分为高度适宜区、中度适宜区、低度适宜区和不适宜区 4 个等级及 13 个不同类型的种植区域。中部平原农业区和东部半山农林区大部分农区的气候条件,非常适宜于特种玉米的生长发育。尤其是光照条件和热量资源完全可以满足高品质特种玉米的生殖、生产。西部平原农牧区东部地势平坦土壤肥沃、长白山地林农区西南部和东部地区有利的山间盆地和河谷平原等地形条件以及丰富的水资源对发展玉米生产的潜力较大。

参考文献:

[1] 王宗明,于磊,张柏,等.过去 50 年吉林省玉米带玉米种植面积时空变化及其成因分析[J].地理科学,2006,26(3):299~305.

[2] 徐新良,刘纪远,曹明奎,等.近期气候波动与LUCC过程对东北农田生产潜力的影响[J].地理科学,2007,27(3):318~324.

[3] 白美兰,刘兴汉,邸瑞琦,等.内蒙古西辽河流域特种玉米品种特性及气候区划[J].气象科技,2005,33(5):437~441.

[4] 杨志跃.山西玉米种植区划研究[J].山西农业大学学报,2005,25(3):223~227.

[5] 吕新,张伟,胡昌浩,等.玉米种植区气候生态因素优势综合评价研究[J].干旱区研究,2005,22(3):387~390.

[6] 龙志长,段盛荣,龙晖,等.湖南省春玉米生育气候条件分析及种植区划[J].作物研究,2005,19(2):83~86.

[7] 薛生梁,刘明春,张惠玲.河西走廊玉米生态气候分析与适生种植气候区划[J].中国农业气象,2003,24(2):12~15.

[8] 陆魁东,黄晚华,方丽,等.气象灾害指标在湖南春玉米种植区划中的应用[J].应用气象学报,2007,18(4):548~554.

[9] Pollak L M,Corbett J D. Using GIS datasets to classify in Mexico and Central - America [J]. Agronomy Journal,1993,85(6):1133~1139.

[10] Rad R B,Rahimi M. Agroclimatological classification by using GIS: a case study of northwestern Iran[J]. Geophysical Research Abstracts,2003,(5):8.

[11] 苏占胜,刘静,李建萍,等.宁夏枸杞产量气候区划研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):132~135.

[12] 柴广萍,李家文.广西贺州市脐橙种植气候区划[J].安徽农业科学,2007,35(30):9578~9579.

[13] 魏丽,殷剑敏,王怀清. GIS 支持下的江西省优质早稻种植气候区划[J]. 中国农业气象,2002,23(2):27~31.

[14] 李迎春,张建萍. GIS 支持下的井冈山山区毛竹种植气候区划[J]. 中国农业生态学报,2002,10(4):94~96.

[15] 金志凤,尚华勤. GIS 技术在常山县胡柚种植气候区划中的应用[J]. 农业工程学报,2003,19(3):153~155.

[16] 金志凤,封秀燕. 基于 GIS 的浙江省茶树栽培气候区划[J]. 茶叶,2006,32(1):7~10.

[17] Qiu Bingwen,Chi Tianhe,Wang Qinmin. Fruit tree suit - ability assessment using GIS and multi - criteria evaluation [J]. Trans-

actions of the CSAE 2005 **21**(6): 96 – 100.

[18] 苏永秀,丁美花,李 政,等. GIS 在广西龙眼种植优化布局中的应用[J]. 农业工程学报 2006 **22**(12): 145 ~ 149.

[19] 杨 昕,汤国安,王 春. 基于 DEM 的山区气温地形修正模型——以陕西省耀县为例[J]. 地理科学 2007 **27**(4): 525 ~ 530.

[20] 张 杰,李栋梁,王 文. 夏季风期间青藏高原地形对降水的影响[J]. 地理科学 2008 **28**(2): 235 ~ 240

[21] Hutchinson M F ,Dowling T I. A continental hydrological assessment of a new grid – based digital elevation model of Australia [J]. Hydrological Processes ,1991 ,**5**(1): 45 – 58.

[22] 朱求安,张万昌,赵登忠. 基于 PRISM 和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J]. 地理科学 2005 **25**(2): 233 ~ 238.

[23] 廖顺宝,李泽辉. 基于 GIS 的定位观测数据空间化[J]. 地理科学进展 2003 **22**(1): 87 ~ 93.

[24] 吴乐知,蔡祖聪. 中国土壤有机质含量变异性与空间尺度的关系[J]. 地球科学进展 2006 **21**(9): 965 ~ 972.

[25] 杨艳丽,史学正,于东升. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究[J]. 地理科学 2008 **28**(6): 788 ~ 792.

[26] 石淑芹,陈佑启,姚艳敏,等. 东北地区耕地自然质量和利用质量评价[J]. 资源科学 2008 **30**(3): 378 ~ 384.

Spatial Simulation of Indices Based on Spatial Interpolation Technique and Regional Planning for Planting Maize in Jilin Province

SHI Shu-qin^{1 2} , CHEN You-qi^{2 3} , LI Zheng-guo^{2 3} , YANG Peng^{2 3} , WU Wen-Bin^{2 3} , Tang Fang⁴

(1. *Key Laboratory of Resources Remote-Sensing & Digital Agriculture of Ministry of Agriculture , Beijing 100081 , China;*
2. *School of Management , Tianjin Polytechnic University , Tianjin 300387 , China;* 3. *Institute of Agricultural Resources & Regional Planning , Chinese Academy of Agricultural Sciences , Beijing 100081 , China;*
4. *Wuhan Land Reserve and Management Center , Wuhan , Hubei 430010 , China*)

Abstract: In order to adapt maize planting according to current climatic , soil conditions and modern agricultural technique , planting structure of maize and its variety should be optimized at the regional level. In this paper , an indicator system was developed for evaluating the suitability of maize planting in Jilin Province , which is a main maize production area in Northeast China. Thereafter , both spatial interpolation technique and auxiliary information were used for spatial modeling of precipitation , soil conditions and the maize yield. In details , observed precipitation records from climate observing stations in study area were firstly interpolated by using an integrated means of multiple regression and residual error interpolation. Second , with a consideration of soil type information , the relevant factors were utilized as co-factors for interpolating soil properties (i. e. pH , soil organic matter , available K , available N and available P of soil) by using the means of Cokriging technique. Third , the map of statistics-based maize yield was validated by the spatial map of cultivated land quality. Fourth , with the aids of terminal condition law , comprehensive analytic approach and experience index law , the suitability evaluation for maize planting was implemented as the basis of regionalization research. From the regionalization results , 13 zones of planting maize can be indentified in Jilin Province , which are further reclassified into four major suitability levels as high , moderate , low and nun-suitability.

Key words: spatial interpolation; indicator system; suitability evaluation; regional planning; GIS