

DOI: 10.5846/stxb201810092178

朱昌达, 高明秀, 王文倩, 李俊翰, 姚宇, 周娜娜. 基于 GIS 的滨海盐渍化农田土壤空间变异及其分区管理. 生态学报, 2020, 40(19): 6982-6990.
Zhu C D, Gao M X, Wang W Q, Li J H, Yao Y, Zhou N. Spatial variability and zoning management of coastal salinized farmland soil based on GIS. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 6982-6990.

基于 GIS 的滨海盐渍化农田土壤空间变异及其分区管理

朱昌达^{1,2}, 高明秀^{1,2,*}, 王文倩^{1,2}, 李俊翰^{1,2}, 姚宇^{1,2}, 周娜娜^{1,2}

1 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018

2 土壤资源高效利用国家工程实验室, 泰安 271018

摘要: 针对滨海盐渍化农田盐碱瘠薄、土壤属性空间变异大、粗放管理效益低的现实, 研究管理分区精准划分方法, 采取差异化措施, 提升盐渍化土地利用水平。该文以无棣县农田为研究区, 采用网格法结合土地利用现状定点野外采样、室内化验分析获取土壤属性数据, 运用 ArcGIS 10.2 地统计方法分析土壤属性的空间变异特征; 在 MATLAB R2016a 中采用模糊 *c*-均值聚类法 (FCM) 计算各样点的模糊隶属度, 通过插值预测模糊隶属度的空间分布, 基于最大隶属度原则进行分区; 通过变异性分析和最小极差法 (LSR) 差异显著性检验, 对分区结果进行精度验证。结果表明: 无棣县农田土壤总体呈轻度盐渍化, 有效氮含量偏低, 有机质、有效磷含量中等, 速效钾含量较高; 有机质、有效氮、有效磷、速效钾和含盐量呈中等变异性 (变异系数 25.0%—52.3%), 空间变异性较大, 应分区调控; 速效钾、含盐量和 pH 的块金效应值小于 25%, 主要受土壤质地、地下水矿化度等结构因素影响, 有机质、有效氮和有效磷的块金效应值在 50%—75% 之间, 受耕作方式、施肥等人为因素影响较大。将全县农田划分为 3 类管理区, 估算面积分别为 2.56 万 hm^2 、1.76 万 hm^2 、3.24 万 hm^2 ; 各分区土壤养分变异系数分别为 23.9%—51.5%、15.9%—50.3%、14.7%—33.0%, 检验结果表明各分区间差异显著, 而各分区内部变异性明显低于未分区。管理分区与土壤属性空间分布特征具有较高的拟合度, 分区结果可以作为差异化管理的作业单元。研究结果为各分区内部统一、不同分区间差异化管理提供了依据, 研究有助于推进滨海盐渍化农田精准化管理水平的提高。

关键词: 盐渍化农田; 空间变异; 分区管理; 模糊 *c*-均值聚类; 最大隶属度; 最小极差法

Spatial variability and zoning management of coastal salinized farmland soil based on GIS

ZHU Changda^{1,2}, GAO Mingxiu^{1,2,*}, WANG Wenqian^{1,2}, LI Junhan^{1,2}, YAO Yu^{1,2}, ZHOU Nana^{1,2}

1 College of resources and environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an 271018, China

Abstract: Considering the fact of the barren coastal saline farmland, the large spatial variability of soil properties, and the low benefit of extensive management, the precise division method of management zones is studied, to take differential measures to improve the level of land use of saline land. In this paper, taking farmland in Wudi County as a research area, we used grid method combined with fixed-point field sampling of land use status and laboratory analysis to obtain soil attribute data. We applied geo-statistical method to analyze the spatial variation characteristics of soil attributes in ArcGIS 10.2. Fuzzy *c*-means algorithm (FCM) was used to calculate the fuzzy membership degree of each sample point in MATLAB R2016a. The interpolation was used to predict the spatial distribution of the fuzzy membership degree. The partition was

基金项目: 山东省重点研发计划 (软科学) 项目 (2019RZB01015); 山东省重大科技创新工程项目 (2017CXGC0301); 国家科技支撑计划 (2013BAD05B06-5)

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2019-06-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxgao@sdau.edu.cn

carried out based on the principle of maximum membership degree. The accuracy of partition results was verified by variability analysis and LSR difference significance test. The results showed that the farmland soil in Wudi County was slightly and moderately salinized with low content of available nitrogen, medium content of organic matter and available phosphorus, and high content of available potassium. The content of organic matter, available nitrogen, available phosphorus, available potassium, and salt showed a moderate variability (coefficient of variation 25.0%—52.3%). The spatial variability was relatively large to be regulated in different zones. The nugget effect values of available potassium, salt content and pH were less than 25%, which were mainly influenced by the soil texture, groundwater salinity and other structural factors. The nugget effect values of organic matter, available nitrogen, and available phosphorus were between 50% and 75%, which were greatly influenced by cultivation methods, fertilization and other human random factors. Therefore, the farmland in the county was divided into three zones with estimated area of 25.6 thousand hm^2 , 17.6 thousand hm^2 and 32.4 thousand hm^2 . The coefficient of variation of soil nutrients in the three zones was 23.9%—51.5%, 15.9%—50.3%, and 14.7%—33.0%, respectively. The results showed that there were significant differences among the three zones, while the variability within the zones was significantly lower than that in the non-zones. And the management zoning and the spatial distribution characteristics of soil attributes have a high degree of fitness. The results of zoning can be used as the operational units of differentiated management. The results provide a basis for the unified management within each division and differentiated management among different zones, which is helpful to improve the precision management level of coastal saline farmland.

Key Words: saline farmland; spatial variability; management zone; fuzzy c-means algorithm; maximum degree of membership; least significant range method

精准农业是现代农业发展的方向,长期以来备受关注。全面分析掌握农田土壤特征,精准划分管理区,是采取差异化管理措施,实现精准农业的基础^[1-2]。近年来,一些学者针对精准管理分区方法展开研究,探讨了运用决策树、系统聚类、K 均值聚类(灰色聚类)和模糊聚类等方法^[3-6]划分管理分区的可行性,其中 K 均值聚类和模糊 c-均值聚类(FCM, Fuzzy c-means algorithm)^[7-8]应用较多。由于很多分类对象间没有明确的分类界线、存在亦此亦彼的表现,因此相比而言,模糊 c-均值聚类作为一种新的空间连续性聚类算法,克服了 K 均值聚类只能将每个对象严格地分类到某一聚类中心、与其他聚类中心的空间相关关系得不到体现的缺陷^[9],对于复杂的土壤管理问题更为适宜。基于 FCM 划分管理分区的关键在于聚类分区数目 c 和模糊加权指数 φ 的确定,已有研究主要采取经验取值法、 $c - \varphi$ 多次组合最优法、指数检验法等^[10-12],对分区结果进行检验主要分为基于内部变量和外部变量两种方法^[7,13]。

综观现有农田精准管理分区研究,小尺度的试验田研究较多、大中尺度的农田研究少,土壤条件较好的内陆田块试验较多、滨海盐渍化区域缺乏涉及;只针对单一土壤属性的研究较多,综合考虑土壤多个属性的研究较少;从分区结果检验来看,基于单方面变量的检验都存在较明显的误差^[14]。因此,本文拟以山东省无棣县农田为例,针对滨海盐渍化农田盐碱瘠薄、土壤属性空间变异大、粗放管理效益低的现实,在县域尺度上,研究基于多个土壤属性变量的农田管理分区精准划分方法和分区精度校验方法,以提高分区结果的合理性和科学性,为滨海盐渍化地区采取差异化管理措施,提升盐渍化土地利用水平提供科学依据^[15]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

无棣县(37°41'—38°18'N, 117°31'—118°12'E)地处山东省最北部,总面积 1963 km^2 ,东北部濒临渤海,属北温带东亚季风区域大陆性气候,年均降水 570.1 mm, 80%集中在夏季,秋冬春三季干旱,年均蒸发 1285.5 mm,蒸降比 2.3。近年来,该县作为滨海低平原区新增耕地潜力和增产潜力较大的县区之一,置身新增千亿斤

粮食生产能力规划、盐碱地治理、“渤海粮仓”科技示范工程等国家战略叠加区,成为农业开发热点区域^[16]。但是,无棣县淡水匮乏,地下水位浅、矿化度高,土壤瘠薄盐碱问题突出^[17],农业生产效率和效益较低,如何通过精准分区、差异化管理提高农田利用水平和生产效益成为亟需解决的问题。由于县境东北部主要为盐田、海水养殖区和荒草地,因此本文研究区仅涉及农田分布区,总面积约为 756 km²。

1.2 数据来源

在土地利用现状图上以 2 km×2 km 网格覆盖研究区农田(避开建设用地、盐田、滩涂),面积不足者并入相邻网格,每个网格中心设计 1 个调查样点(图 1),野外调查时根据现场情况确定实际采样地点,使用手持式 GPS 记录坐标,并用五点取样法采取对应的土壤样品 1 kg 左右装袋密封,带回实验室化验。野外调查在 2016 年 5 月 24—28 日进行,共采土样 193 个。土样经自然风干、研磨、过筛,化验分析^[18]获得 193 组土壤有机质、有效氮、有效磷、速效钾、含盐量和 pH 等属性数据。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤属性特征与变异性分析

运用 SPSS 20.0 进行土壤属性描述性统计分析,并通过 Person-双侧检验得到相关系数矩阵,分析土壤各属性变量的变异性及相关性。在 ArcGIS 10.2 中运用地统计学方法,分析土壤属性的空间分布特征。土壤养分等级参照全国第二次土壤普查分级标准划分为极低、低、中、丰、高 5 级,含量区间从低至高依次为,有机质(g/kg):(0,6)、[6,10)、[10,20)、[20,30)、[30,∞);有效氮(mg/kg):(0,30)、[30,60)、[60,90)、[90,120)、[120,∞);有效磷(mg/kg):(0,5)、[5,15)、[15,30)、[30,40)、[40,∞);速效钾(mg/kg):(0,40)、[40,75)、[75,120)、[120,150)、[150,∞);含盐量(g/kg)结合作物耐盐能力分为脱盐化、轻度、中度、重度和极重度 5 级:(0,1)、[1,2)、[2,3)、[3,4)、[4,∞);pH 分为酸性、适宜、中等碱性、强碱性和极强碱性 5 级:(0,6.5)、[6.5,7.5)、[7.5,8.5)、[8.5,9)、[9,∞)^[17]。

1.3.2 模糊均值聚类

模糊 c -均值聚类(FCM)是一种非监督的连续性动态聚类算法,定义一个 $n \times p$ 的土壤属性多源数据集($n = 193, p = 6$),最常用的目标函数为:

$$J(MC) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c \mu_{ij}^{\varphi} d_{ij}^2 \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, c \quad (1)$$

式中, μ_{ij} 为 i 个样本的土壤属性对于第 j 个聚类类别的隶属度值, φ ($\varphi \geq 1$) 是模糊加权指数(Fuzziness exponent), d_{ij}^2 是第 i 个样点的土壤属性与第 j 个聚类中心之间距离的平方。

聚类有效性检验通过模糊性能指数(FPI, Fuzziness performance index)和归一化分类熵(NCE, Normalized classification entropy)评价。FPI 和 NCE 的取值范围在 0—1 之间,取值越接近 0,分类界线越明显^[19],反之分类界线越模糊。公式为:

$$FPI = 1 - \frac{c}{(c-1)} \left[1 - \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^2 / n \right] \quad (2)$$

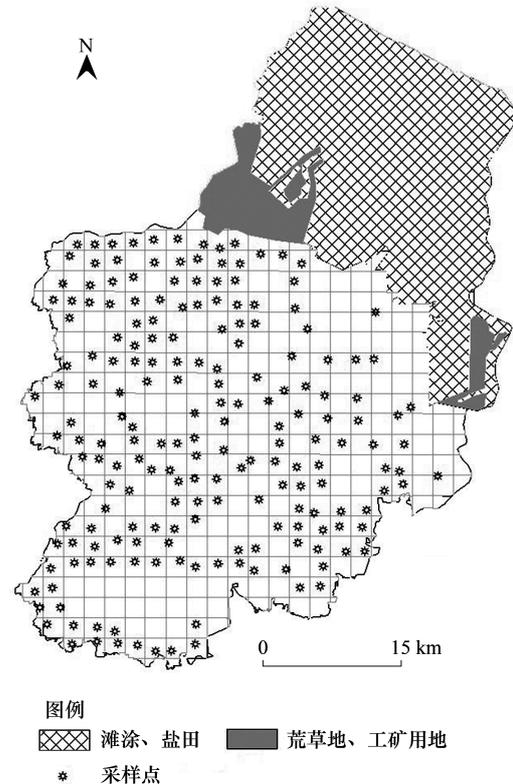


图 1 无棣县网格划分及采样点分布图
Fig. 1 Grid division and sampling point distribution map in Wudi County

$$NCE = H(U;c)/[1 - (c/n)], \quad H(U;c) = - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ij} \log_a(\mu_{ij})/n \quad (3)$$

式中, $H(U;c)$ 是分类熵的函数表达式, a 可以取任意正整数。

1.3.3 管理分区划分及可视化

运用 MAPGIS 6.7 进行研究区底图及采样点绘制,并将得到的隶属度赋属性到各采样点中,实现管理分区的可视化表达。由于在 MAPGIS 中只能依据最大隶属度原则进行分类,不能体现模糊连续分类在空间预测中的重要作用,因此运用 ArcGIS 地统计分析模块对土壤属性模糊隶属度进行插值分析,实现其空间连续性表达。

1.3.4 分区精度检验

为了评价基于模糊聚类分析进行管理分区的精度,确定其变异程度是否满足管理分区的要求,对不同管理分区内的土壤属性进行变异性分析,并用最小极差法(LSR, Least significant range method)对各分区结果进行差异显著性检验,校验管理分区结果的精度。

2 结果与分析

2.1 土壤属性特征及其变异性

在 SPSS 20.0 支持下,采用邻域法对获取的 193 组土壤属性数据进行特异值处理^[20],并进行描述性统计分析(表 1)。由表 1 可见,研究区农田土壤有机质含量均值 19.253 g/kg,处于中等水平;有效氮均值 59.349 mg/kg,处于较低水平;有效磷均值 29.527 mg/kg,处于中等水平;速效钾均值 179.676 mg/kg,含量较高;含盐量均值 1.204 g/kg,总体为轻度,这与采样时已进入夏季、土壤水分含量较高有关;pH 均值 8.184,为中度碱性,土壤盐渍化程度总体呈轻至中度水平。有机质、有效氮、有效磷、速效钾和含盐量均呈中等变异性($C_v < 10\%$ 为弱变异性, $10\% \leq C_v < 100\%$ 为中等变异性, $100\% \leq C_v$ 为强变异性),pH 值总体较高但变异性较弱,是否作为管理分区的依据有待于分析与其他土壤属性的相关性。综合来看,研究区土壤属性总体呈中等变异,有必要进行分区管理。

表 1 土壤属性描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil properties

土壤属性 Soil properties	极小值 Min	极大值 Max	中位数 Mid	平均值 Mean	等级 Level	标准差 SD	偏度 Skew	峰度 Kurt	变异系数 C_v
有机质 Organic Matter/(g/kg)	6.127	29.314	19.508	19.253	中	4.804	-0.292	-0.390	0.250
有效氮 Available N/(mg/kg)	21.372	112.880	58.852	59.349	低	17.826	0.218	0.062	0.300
有效磷 Available P/(mg/kg)	7.555	75.920	25.214	29.527	中	15.457	0.635	-0.403	0.523
速效钾 Available K/(mg/kg)	80.000	345.000	165.000	179.676	高	59.002	0.688	-0.290	0.328
含盐量 Soil salt content/(g/kg)	0.097	3.070	1.107	1.204	轻	0.583	0.953	1.467	0.484
pH	7.600	8.680	8.210	8.184	中	0.249	-0.343	-0.482	0.030

2.2 土壤属性相关性分析

在 SPSS 20.0 中对土壤属性变量进行相关性分析,得到相关系数矩阵(表 2)。由表 2 可得,有机质、有效氮、有效磷、速效钾和 pH 值等 5 个指标的相关性较高。含盐量虽相关性较低,但由于研究区位于环渤海低平原区,地下水埋深浅且矿化度高,土壤盐渍化风险大,有必要将含盐量作为分区评价指标之一。因此,确定将上述 6 个土壤属性作为管理分区的评价指标。

2.3 土壤属性空间变异特征

在 SPSS 20.0 中用单样本 K-S(Kolmogorov-Smirnov)工具进行正态分布检验,选择默认显著性为 0.05、置信区间为 95%,若数据的渐进显著性 P 值 > 0.05 ,则假设成立,符合正态分布(表 3)。由表 3 可见,有机质、有效氮、pH 的 K-S 值均大于 0.05,为正态分布;有效磷、速效钾和含盐量为偏态分布,经对数变换后 K-S 值大于

0.05,达到显著水平,呈正态分布,可以进行克里格插值分析。

表 2 土壤各属性的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of soil properties

土壤属性 Soil properties	有机质 Organic Matter/ (g/kg)	有效氮 Available N/ (mg/kg)	有效磷 Available P/ (mg/kg)	速效钾 Available K/ (mg/kg)	含盐量 Soil salt content/ (g/kg)	pH
有机质 Organic Matter/(g/kg)	1	0.603 **	0.373 **	0.065	-0.062	-0.102
有效氮 Available N/(mg/kg)	0.603 **	1	0.436 **	-0.052	-0.073	-0.333 **
有效磷 Available P/(mg/kg)	0.373 **	0.436 **	1	-0.159 *	0.016	-0.191 **
速效钾 Available K/(mg/kg)	0.065	-0.052	-0.159 *	1	-0.140	0.052
含盐量 Soil salt content/(g/kg)	-0.062	-0.073	0.016	-0.140	1	-0.003
pH	-0.102	-0.333 **	-0.191 **	0.052	-0.003	1

** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

表 3 土壤属性正态分布检验

Table 3 Normal distribution test of soil properties

检测项目 Check projects	有机质 Organic Matter	有效氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	含盐量 Soil salt content	pH
K-S 值 Value of K-S	0.739	0.583	0.163	0.290	0.107	0.230
是否经对数变换 Whether logarithmic transformation	否	否	是	是	是	否
分布类型 Type of distribution	N	N	lg N	lg N	lg N	N

N: 正态分布 Normal distribution; lgN: 经对数变化后符合正态分布 Conforms to normal distribution after logarithmic variation

运用 ArcGIS 10.2 地统计工具进行克里格插值,采用 C-V 交叉检验法,通过多次试验选择最优拟合模型^[21]。最终确定有机质、速效钾的拟合模型均为指数模型,有效磷、有效氮、含盐量和 pH 的拟合模型为球面模型。此时,土壤属性各拟合模型的标准平均值最接近于 0,标准均方根最接近于 1(表 4)。

表 4 土壤属性变异函数模型及相关参数

Table 4 Variation function model and related parameters of soil properties

土壤属性 Soil properties	理论模型 Theory model	块金值 Nugget(C_0)	偏基台值 Partial Sill(C)	块金效应 Nugget Effect ($C_0 / (C_0 + C)$)	标准平均值 /Mean Stand	标准均方根 Root-Mean-Square- Stand
有机质 Organic Matter	指数模型	12.45	11.53	0.519	0.0034	1.0036
有效氮 Available N	球面模型	211.92	102.27	0.674	0.0014	0.9908
有效磷 Available P	球面模型	202.27	99.41	0.670	-0.0004	0.9678
速效钾 Available K	指数模型	709.63	2708.3	0.208	0.0034	1.1217
含盐量 Soil salt content	球面模型	0.083	0.287	0.224	0.0018	1.0498
pH	球面模型	0	0.040	0	-0.0004	1.0344

一般来说,块金效应(Nugget / Sill)的取值小于 25% 时,具有强空间相关性;在 25%—75%之间时,具有中等空间相关性;大于 75%时,具有弱空间相关性。由表 4 可见,土壤有机质、有效氮和有效磷的块金效应值分别为 51.9%、67.4%、67.0%,说明这三种土壤属性的空间相关性为中等水平,空间变异特征受随机因素和结构因素的共同影响。速效钾、含盐量的块金效应值分别为 20.8%、22.4%,都小于 25%,说明含盐量和速效钾具有强空间相关性,其变异特征受随机因素影响较小,主要由结构性因素引起。pH 的块金效应值为 0,说明 pH 具有完全的空间自相关性,其空间变异特征完全由结构性因素引起。

运用克里格法确定土壤属性最佳拟合模型后,生成土壤属性的空间插值图(图 2),以对土壤属性空间变异规律进行最优预测,实现土壤属性空间变异的数量化及可视化。由图 2 可见,有机质高值区主要分布在研

究区西南和西北部,呈块状分布。有效氮和有效磷高值区的分布趋势较为一致,中部和南部分散分布,含量最高或最低处呈小块状或点状分布。速效钾的分布具有明显的地带性特征,高值区主要分布在中东部地区,呈东高西低现象。含盐量在中部地区较低,且分布范围广,含量约为 1.0—2.0 g/kg,属于轻度盐渍化,少数点状分布地区含盐量在 2.0—4.0 g/kg 之间,属于中重度盐渍化。pH 值呈块状分布,值高(8.5—9.0)的地方主要分布在中东部地区。

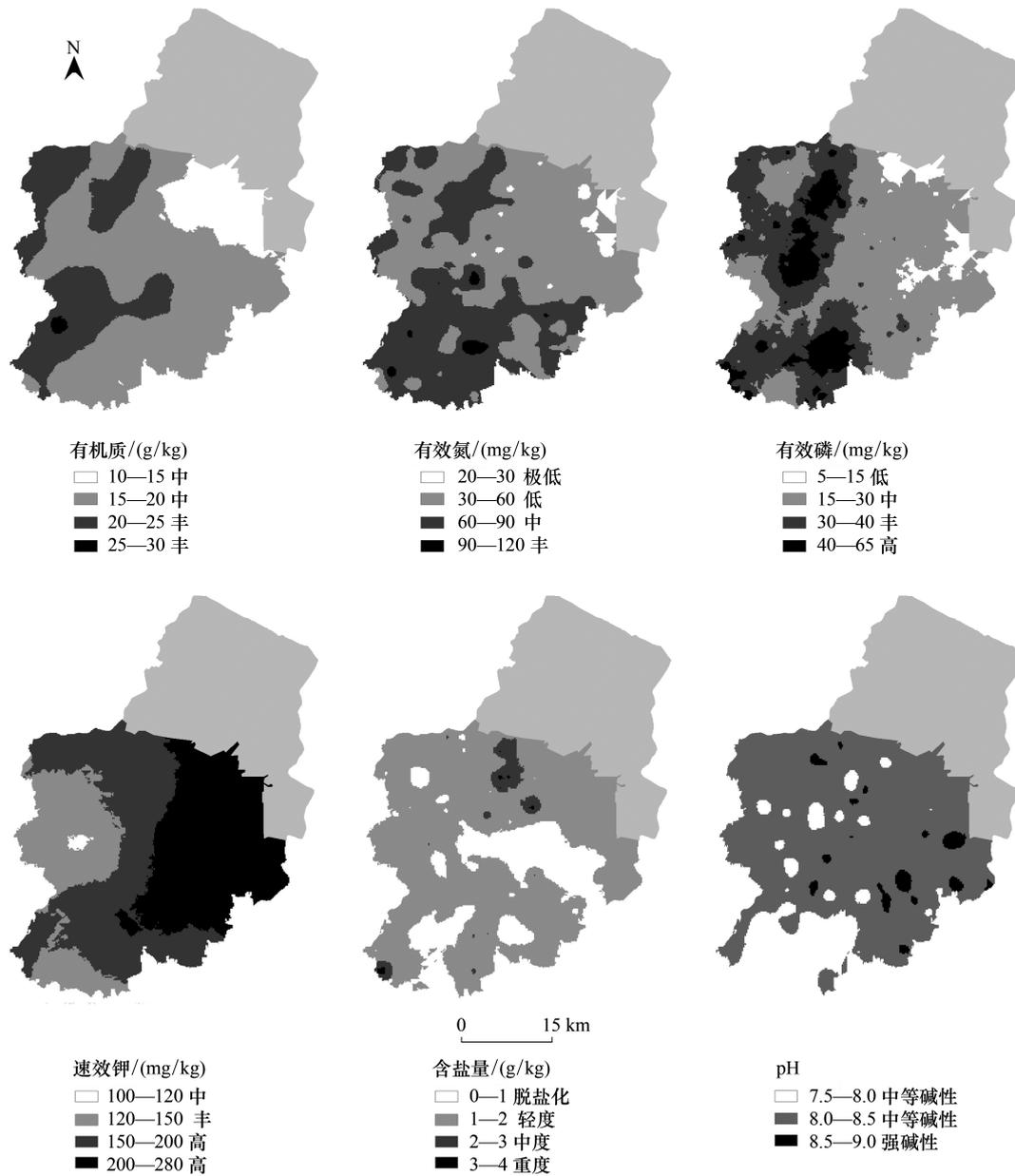


图 2 不同土壤属性的空间预测插值图

Fig.2 Spatial prediction interpolation of different soil properties

2.4 管理分区划分及其可视化

在 MATLAB R2016a 中通过“z-score”数据标准化处理,得到的 $n \times p$ ($n = 193, p = 6$) 的土壤属性模糊数据集。调用 FCM 函数,取幂指数为 1.6,最大迭代次数为 200,收敛阈值 0.000001,进行模糊聚类分析。为了确定最佳分类数 c ,选取分类数 2—8 分别进行模糊聚类分析,并根据模糊性能指数(FPI)和归一化分类熵

(NCE)进行评价(图3),两者的值越小,聚类效果越明显。由图3可以看出,当分类数 c 取值为3时,FPI和NCE的值最小,说明此时同一分类中的数据差异性最小,不同分区间的差异性最大,确定本研究区的最佳分类数为3个。

由模糊聚类分析得出的隶属度矩阵,依据最大隶属度原则将采样点分为3类,在MAPGIS 6.7中根据各采样点的最大隶属度划分管理分区,实现管理分区的空间可视化(图4)。由于最大隶属度原则是以网格为单位进行分类,不能完全体现模糊分类的空间预测性。本文根据分类后各采样点的模糊隶属度矩阵,在ArcGIS 10.2中利用地统计模块进行插值分析,实现土壤属性模糊隶属度的空间连续性表达(图5)。

对比图5和图2可得,分区Ⅲ主要分布于有机质含量丰等级、有效氮含量中丰等级、有效磷含量高等级区域;分区Ⅰ的中西部主要分布于有机质含量中等级区域,东南部地区主要分布于有效氮含量丰等级区域;分区Ⅱ主要分布于速效钾含量高等级区域,其他养分含量较低,可以考虑多施钾肥除外的其他肥料。且盐渍化严重的北部地区和pH强碱性区域主要为分区Ⅰ和分区Ⅱ,与分区Ⅲ土壤的拟合度较低。因此,管理分区和土壤各属性的空间分布具有很强的空间相关性和空间拟合度,各分区内土壤属性向均一化方向发展。对比图4和图5可得,各分区土壤模糊隶属度空间预测图与最大隶属度原则划分的管理分区图在空间分布上基本一致,各分区间的隶属度较为明显,交叉重叠程度低,说明以最大隶属度原则划分的管理分区具有空间预测的有效性。

统计各分区土壤属性平均值(表5)可见,分区Ⅲ中的有机质、有效氮、有效磷含量均最高,速效钾含量较高,土壤养分水平总体最高,且含盐量、pH值较低;分区Ⅱ中的速效钾含量最高,有机质、有效氮的含量在分区Ⅲ和分区Ⅰ之间,有效磷比分区Ⅰ略低,土壤养分水平总体居中;分区Ⅰ的土壤养分水平总体最低,含盐量和pH值也最高。

2.5 管理分区精度校验

为了对基于模糊聚类分析进行管理分区的结果进行精度验证,对不同分区内土壤属性进行统计分析,得到基于变异系数和最小极差法(LSR)的各分区差异显著性检验结果(表5)。

对比表1和表5可见,各分区的土壤属性变异系数较全研究区均有所下降。其中,有机质变异系数由25.0%下降为14.7%—23.9%,有效氮变异系数由30.0%下降为17.9%—30.0%,有效磷变异系数由52.3%下降为33.0%—51.5%,速效钾变异系数由32.8%下降为18.2%—29.3%。pH值变异系数由3.0%下降为2.7%—3.0%,变化较小,均属于弱变异性,分区结果对pH影响较小;含盐量变异系数由48.4%变为41.0%—54.1%,

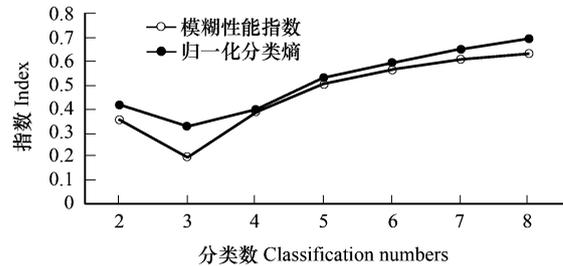


图3 不同分类数的FPI和NCE值

Fig. 3 FPI and NCE values of different classification numbers

FPI: 模糊性能指数 Fuzziness performance index; NCE: 归一化分类熵 Normalized classification entropy

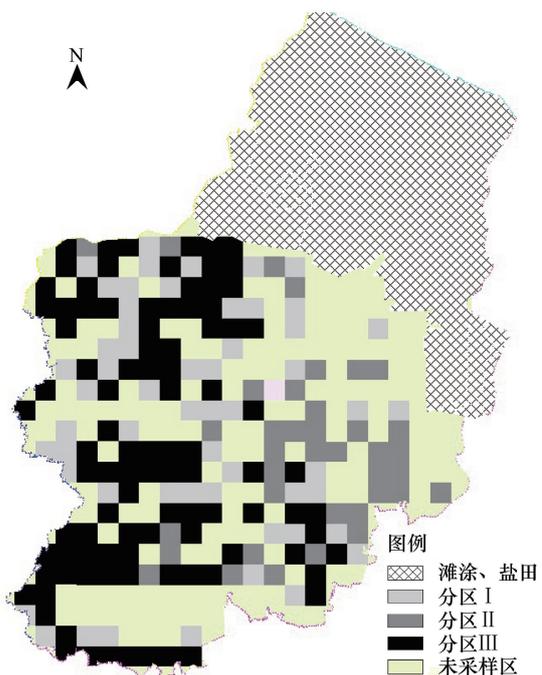


图4 基于模糊聚类分析的管理分区图

Fig.4 Management zones map based on fuzzy clustering analysis

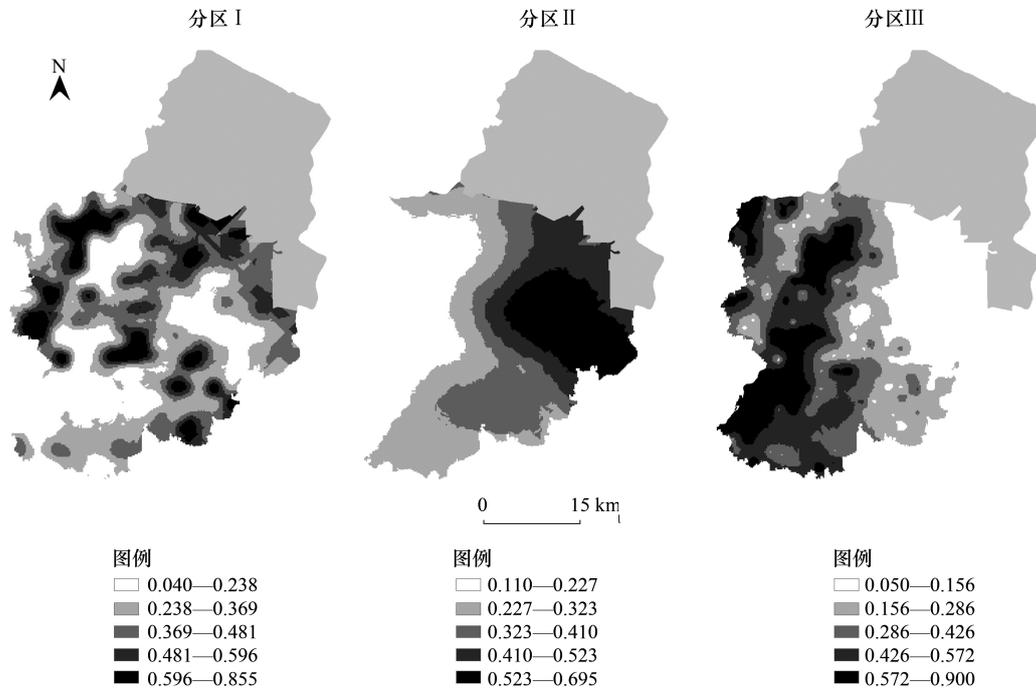


图 5 各分区土壤模糊隶属度值空间预测分布图

Fig.5 Spatial prediction zones map of soil fuzzy membership value in different zones

分区 III 变异系数下降,分区 I 和分区 II 均略有升高,说明含盐量分布不均匀。

表 5 各分区土壤属性描述性统计和 LSR 检验结果

Table 5 Descriptive statistics and LSR test results of soil properties in different zones

分区 Zones	采样点 个数 Sample size	有机质 Organic Matter		有效氮 Available N		有效磷 Available P		速效钾 Available K		含盐量 Soil salt content		pH	
		平均值 Mean/ (g/kg)	变异 系数 C _v	平均值 Mean/ (g/kg)	变异 系数 C _v	平均值 Mean/ (g/kg)	变异 系数 C _v						
I	65	15.385cC	0.239	46.737cB	0.300	21.222bB	0.515	150.885cB	0.270	1.454aA	0.499	8.301aA	0.027
II	44	18.041bB	0.159	52.670bB	0.236	20.399bB	0.503	248.636aA	0.182	0.828bB	0.541	8.171bB	0.029
III	84	22.880aA	0.147	72.619aA	0.179	40.740aA	0.330	165.833bB	0.293	1.229aA	0.410	8.101bB	0.030

均值后面的不同小写字母和大写字母分别表示 5%、1% 显著水平,用平均值后边的字母表示,字母相同的不具有显著性差异,字母不同的分区具有显著性差异

LSR 检验结果表明(表 5),土壤有机质、有效氮、速效钾在 3 个分区均达到极显著差异($P < 0.01$)或显著差异($P < 0.05$),有效磷含量在分区 III 和分区 II 之间具有显著差异($P < 0.01$),含盐量在分区 II 和分区 I、分区 III 间具有极显著差异($P < 0.05$),pH 值在分区 III 和分区 I、分区 II 之间具有极显著差异($P < 0.01$)。

总体而言,分区内的土壤属性变异程度较分区前全区的变异程度有所下降,分区间的差异显著性明显,分区结果具有可行性。其中分区 III 的变异程度下降最明显,各采样点土壤属性隶属度最明确,分区 I 下降程度最低,分区 II 居中。基于变异系数和 LSR 的检验结果均表明,管理分区具有较高的精度。各分区内部的土壤养分变异系数由 25%—52.3%减小为 14.7%—51.5%,各分区内部的空间变异性较全研究区减小,且各分区间具有显著性差异,分区结果可以作为农田分区调控的统一作业单元。根据图 5 统计各分区面积, I、II、III 管理区面积分别为 2.56 万 hm^2 、1.76 万 hm^2 、3.24 万 hm^2 。

3 结论

该文以无棣县农田为研究区,采用网格法结合土地利用现状定点野外采样、室内化验分析获取土壤属性数据,运用 ArcGIS 10.2 地统计方法分析土壤属性的空间变异特征;在 MATLAB R2016a 中采用模糊 c -均值聚类法(FCM)计算各样点的模糊隶属度,通过插值预测模糊隶属度的空间分布,基于最大隶属度原则进行分区,并根据模糊隶属度分布图分析分区结果的有效性;通过变异性分析和最小极差法(LSR)差异显著性检验,对分区结果进行精度验证。

研究结果表明:无棣县农田土壤总体呈轻至中度盐渍化,有效氮含量偏低,有机质、有效磷含量中等,速效钾含量较高;有机质、有效氮、有效磷、速效钾和含盐量呈中等变异性(变异系数 25%—52.3%),空间变异性较大,应分区调控;空间变异分析显示,速效钾、含盐量和 pH 的块金效应值都小于 25%,受人为因素影响相对较小,主要受土壤质地、地下水矿化度等结构因素影响,有机质、有效氮和有效磷的块金效应值在 50%—75%之间,受耕作方式、施肥等人为因素影响较大;将全县农田划分为 I、II、III 共 3 类管理区,估算面积分别为 2.56 万 hm^2 、1.76 万 hm^2 、3.24 万 hm^2 ;各分区土壤养分变异系数分别为 23.9%—51.5%、15.9%—50.3%、14.7%—33.0%,检验结果表明各分区间差异显著,而各分区内部变异性明显低于全研究区。管理分区与土壤属性空间分布特征具有较高的拟合度,表明分区结果可以作为差异化管理的作业单元。研究结果为各分区内部统一、不同分区间差异化管理提供了依据,研究有助于推进滨海盐渍化农田精准化管理水平的提高。

由于分区后 pH 和含盐量的变异系数变化不大,少数区域甚至出现含盐量变异性增大的现象,考虑到当地受滨海盐渍化影响严重,土壤水盐状况短时间难以改变,可在上述管理分区的基础上,对变化不明显或者变异性增大的区域进行精细化管理,以更好地改善其水盐状况。

参考文献(References):

- [1] 武军,谢英丽,安丙俭.我国精准农业的研究现状与发展对策.山东农业科学,2013,45(9):118-121.
- [2] 于合龙,刘大有,陈桂芬.基于加权模糊聚类的农田养分管理区划.农业机械学报,2009,40(S1):177-182.
- [3] 李翔,潘瑜春,马景宇,赵春江,王纪华.基于多种土壤养分的精准管理分区方法研究.土壤学报,2007,44(1):14-20.
- [4] 王卓然,赵庚星,高明秀,常春艳,姜曙千,贾吉超,李晋.黄河三角洲垦利县夏季土壤水盐空间变异及土壤盐分微域特征.生态学报,2016,36(4):1040-1049.
- [5] 周浩,雷国平,杨雪昕,马庆,金平.基于 AgentLA 模型的农田精准灌溉管理分区研究.水土保持学报,2018,32(1):274-279,285-285.
- [6] Bragato G. Fuzzy continuous classification and spatial interpolation in conventional soil survey for soil mapping of the lower Piave plain. Geoderma, 2004, 118(1/2):1-16.
- [7] 郭燕,田延峰,吴宏海,史舟.基于多源数据和模糊 k -均值方法的农田土壤管理分区研究.土壤学报,2013,50(3):441-447.
- [8] 陈彦,吕新.基于模糊 c -均值聚类法的绿洲农田精确管理分区研究.生态学报,2008,28(7):3067-3074.
- [9] 武德传,罗红香,宋泽民,郭光东,陈永安,李余湘,江玉平,李章海.黔南山地植烟土壤主要养分空间变异和管理分区.应用生态学报,2014,25(6):1701-1707.
- [10] De Bruin S, Stein A. Soil-landscape modelling using fuzzy c -means clustering of attribute data derived from a Digital Elevation Model (DEM). Geoderma, 1998, 83(1/2):17-33.
- [11] 张泽,吕新,吕宁,陈剑,李新伟,冯波.基于 GIS、RS 的滴灌棉田土壤养分精确管理分区研究.农业机械学报,2014,45(7):125-132.
- [12] Cordova C, Sohi S P, Lark R M, Goulding K W, Robinson J S. Resolving the spatial variability of soil N using fractions of soil organic matter. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 147(15):66-72.
- [13] 王海江,彭陶,吕新,陈彦.小尺度下滴灌棉田养分管理分区研究.中国土壤与肥料,2011,43(3):78-82.
- [14] 李艳,史舟,吴次芳,李洪义,李锋.基于多源数据的盐碱地精确农作管理分区研究.农业工程学报,2007,23(8):84-89.
- [15] 方斌,吴金凤.作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异分析.生态学报,2014,34(4):983-992.
- [16] 李俊翰,高明秀.黄河三角洲滨海土壤盐渍化时空演化特征.土壤通报,2018,49(6):1458-1465.
- [17] 高明秀,张治,赵庚星,李俊翰.基于 WebGIS 的农田水肥盐碱监测与调控管理系统.农业工程学报,2018,34(17):89-99.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版).北京:中国农业出版社,2000:42-50.
- [19] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用:40 个案例分析(第二版).北京:北京航空航天大学出版社,2015:320-326.
- [20] 王海江,崔静,陈彦,吕新.基于模糊聚类的棉田土壤养分管理分区研究.棉花学报,2010,22(4):339-346.
- [21] 刘欢,张荣群,郝晋民,艾东.基于半方差函数的银川平原土地利用强度图谱分析.农业工程学报,2012,28(23):225-231.