

## 基于 GIS 和多种土壤属性的烟田养分分区管理研究<sup>①</sup>

江厚龙<sup>1</sup>, 刘国顺<sup>1\*</sup>, 杨永锋<sup>1</sup>, 王雪婧<sup>1</sup>, 胡宏超<sup>2</sup>, 王振海<sup>2</sup>, 顾建国<sup>3</sup>, 李延涛<sup>3</sup>

(1 河南农业大学烟草学院, 国家烟草栽培生理研究基地, 郑州 450002; 2 河南省烟草公司平顶山分公司, 河南平顶山 467000;

3 河南省烟草公司平顶山分公司郟县公司, 河南郟县 467100)

**摘要:** 以平顶山典型烟区烟田土壤为研究对象, 用 111 个样点耕层土壤 (0~20 cm) 的 pH、有机质、总 N、碱解 N、速效 P、速效 K、活性有机质、阳离子交换量等数据对烟田进行管理分区研究。利用主成分分析从繁杂的数据中提取 3 个主成分, 利用 MZA 软件进行模糊聚类分析从而实现分区, 采用 FPI 和 NCE 来确定最佳分区数。结果表明研究区的最佳分区数为 3, 模糊指数为 1.5。各分区内土壤养分的变异系数都较整个研究区有所降低, 而分区间土壤养分差异显著。研究区的平均混乱度指数为 0.37, 不同模糊类别交叠程度较小, 地理空间上土壤的隶属关系相对明确。通过模糊聚类分析法可以较好地进行管理分区的划分, 分区结果可以作为变量施肥的单独作业单元进行肥料管理。

**关键词:** 管理分区; 模糊聚类; 土壤属性; 烟田

**中图分类号:** S152.4

烤烟是我国重要的经济作物之一, 种植区域遍及全国各地。提高烟叶质量是所有烟区共同追求的目标。烤烟质量是遗传因素、生态环境和栽培技术共同作用的结果。环境因素尤为重要, 特别是土壤因子对烤烟产量和品质形成有着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。土壤中 N、P 和 K 对烤烟品质形成有着极为重要的影响, 另外, Fe、Mn、Cu、Zn 和 Cl 等微量元素对烤烟品质也有重要的意义<sup>[2]</sup>。目前, 在中国烟草生产上普遍是以经验为基础均一化施肥, 造成了田间养分分布极度不均匀, 使得烤烟品质逐年下降, 质量不能满足工业的要求。因此, 有必要根据烟田养分分布状况将其划分为不同的分区, 进行精准肥水管理以提高烤烟品质。

管理分区就是将具有相似生产潜力和养分利用率以及相似环境效益的区域作为一个管理单元进行管理<sup>[3]</sup>, 针对不同单元的土壤养分状况结合作物对养分需求量进行变量施肥, 不仅能够发挥土壤生产潜力, 提高肥料利用率, 又能提高产量、改善品质、减少环境污染, 并为实施精准农业提供经济有效的手段<sup>[4-5]</sup>。根据土壤属性进行分区管理是目前精准农业中的一个研究热点<sup>[6]</sup>, 模糊聚类方法在管理分区划分中的应用也越来越广泛。李翔等<sup>[7]</sup>以北京昌平小汤山麦田为研究

对象利用模糊聚类法通过土壤属性数据对其进行管理分区的划分。Boydell 和 McBratney<sup>[8]</sup>以及 Vrindts 等<sup>[9]</sup>基于作物产量数据通过聚类分析法来划分了管理分区。Long 等<sup>[10]</sup>利用作物生长期的遥感影像划分管理分区对农田进行管理。Ostergaard 等<sup>[11]</sup>利用土壤类型、地形、产量、遥感影像和生产者经验等数据划分管理分区进行变量 N 肥管理。国内学者<sup>[12-13]</sup>引入了模糊性能指数 (FPI) 和归一化分类熵 (NCE) 两指标来确定模糊类别数和模糊加权指数, 从而确定最佳管理分区数。模糊聚类分析方法能够有效地将具有相似生产潜力、养分利用率和地力水平的区域进行归类, 但对于较多数据源的处理比较繁琐。本研究以平顶山典型浓香型烤烟田块为研究对象, 以多种土壤属性为数据源, 引入主成分分析方法进行复杂数据源的简化, 应用模糊聚类方法来定义田间管理分区。并在前人研究的基础上, 综合应用 FPI 和 NCE 来确定最佳分区数, 利用 LSD 法进行差异显著性和变异系数对分区结果进行检验, 同时利用混乱度指数 (CI) 来表征样点模糊隶属关系不确定性的复杂程度, 评价管理分区的合理性和可行性。拟解决目前生产上均一化施肥而造成烤烟品质下降的问题。

<sup>①</sup>基金项目: 国家烟草行业栽培重点实验室资助项目 (TCKL06001) 和国家烟草专卖局平顶山市烟叶生产创新模式研究项目 (30200197) 资助。

\* 通讯作者 (liugsh1851@163.com)

作者简介: 江厚龙 (1980—), 男, 河南固始人, 博士研究生, 主要从事精准农业研究工作。E-mail: jhl513@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概括与取样方法

本研究在河南省平顶山市郏县烟草种植地块进行, 地块中心经纬度为: 34°04'36"N、113°05'04"E, 面积约 4 hm<sup>2</sup>, 为低山丘陵地区, 土壤类型为砂壤土, 弱碱性。该区属于暖温带大陆性季风气候, 光照充足, 四季分明,

年均气温 14.6℃, 年均降水量 680 mm 左右。2009 年 3 月上旬整地起垄前用 GPS 定位 (±1 m) “网格法”进行采集土样, 网格间距为 20 m。采样时以网格结点为圆心, 在 5 m 范围内采集 10 钻耕层土壤 (0~20 cm), 将土样均匀混合, 用四分法取大约 1 kg 土样带回实验室进行室内分析。共采集样品 111 个, 样点分布见图 1。

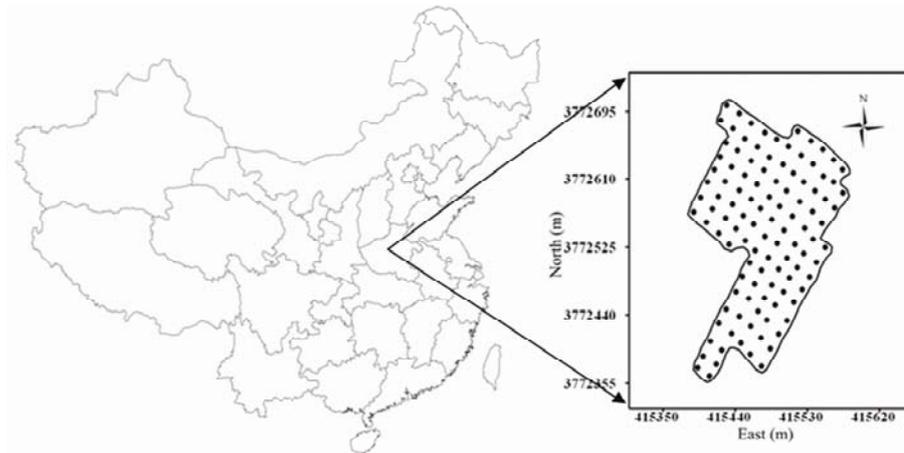


图 1 采样点分布图和研究区边界

Fig. 1 Soil sampling points and boundary of study area

### 1.2 测定方法

土壤样品带回实验室, 经自然风干、去杂、磨碎后过 1 mm 筛测定土壤属性(根据不同测定指标要求再过不同规格筛)。测定项目包括 pH 值、有机质 (OM)、全 N (TN)、碱解 N (AN)、速效 P (AP)、速效 K (AK)、阳离子交换量 (CEC) 和活性有机质 (ASOM), 按《土壤农化分析》<sup>[14]</sup>中方法进行测定。

### 1.3 数据分析方法

原始数据处理及分析采用 SPSS13.0 软件进行, Grubbs 检验法剔除异常离群数据。Kolmogorov-Simrnov 法检测数据正态性。用 GS+ 软件进行土壤属性的空间变异性分析、半方差函数计算、理论模型拟合和 Kriging 插值, 图形绘制是由 ArcGIS9.2 完成。利用 MZA 软件<sup>[15]</sup>进行模糊聚类分析, 同时计算出 FPI 和 NCE。

### 1.4 分区方法

**1.4.1 主成分分析** 主成分分析是利用降维的思想, 在损失很少信息的前提下把多个指标转化为几个综合指标的多元统计方法。在基本保持原始变量信息不变的前提下, 通过原始变量的少数几个线性组合来代替原始变量并揭示原始变量之间的关系<sup>[16]</sup>。由于各主成分之间是相互独立的, 所以由各个主成分组成的输入空间不存在自相关性, 各个主成分包含的信息内

容是不重叠的, 从而大大减少总的的数据量并使特征信息得到增强<sup>[17]</sup>。本研究中, 选取特征值 ≥ 1 的主成分进行分区<sup>[18]</sup>。

**1.4.2 模糊 c-聚类分析** 模糊 c-均值聚类法 (FCM) 是常用的一种非监督聚类方法, 被大量用于土壤、地形、产量和遥感等数据分类中<sup>[15]</sup>。它的思想就是将  $n$  个观察值分配到  $c$  个类别中, 被划分到同一类别的观测值之间相似度尽量大, 而不同类别之间的相似度尽量小, 其目标函数<sup>[19]</sup>为:

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

式中,  $n$  是数据数;  $c$  是类别数, 对于农田来说, 最佳分区数  $2 \leq c \leq 8$  较为合适<sup>[20]</sup>;  $m$  为模糊加权指数 ( $1 \leq m \leq \infty$ ), 它控制了不同类别间共用数据的数目, 对于土壤属性来说取值在 1.2 ~ 1.5 之间较为适宜<sup>[21]</sup>。 $u_{ij}$  ( $u_{ij} \in [0, 1]$ ) 为第  $i$  个样点的土壤属性对于第  $j$  个聚类类别的隶属度值;  $\varphi$  ( $\varphi \geq 1$ ) 是一个可控聚类结果和类别交叠程度的常数<sup>[22]</sup>,  $d_{ij}^2$  是第  $i$  个样点土壤属性与第  $j$  个类别中心之间距离的平方。

**1.4.3 最佳分区数的确定** 对于一个特定的研究区域来说, 究竟划分为几个管理区域合适, 主要决定于其土壤属性的空间变异性分布特征。为了确定适

宜的分区数, Odeh 等<sup>[21]</sup> 和 Bezdek<sup>[19]</sup> 提出模糊效果指数 (fuzziness performance index, FPI) 和归一化分类熵 (normalized classification entropy, NCE) 两个指标。

FPI 是表示不同类别间共享的成员量的一个指数, 用来度量  $c$  个类别之间的分离程度。FPI 值的范围介于 0~1 之间, 当其值接近 0 时表示不同分区间没有共享成员, 其值越接近于 1 表示不同分区间的共享成员越多, 不同分区间差异性越小。

$$FPI = 1 - \frac{c}{c-1} \left[ 1 - \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^2 / n \right] \quad (2)$$

归一化分析熵 (NCE) 是用来模拟数据矩阵  $X$  的模糊  $c$ -分区的分解量<sup>[23]</sup>。NCE 值的范围也为 [0,1], NCE 越小表明模糊  $c$ -分区的分解量越大, 分区效果越好; 反之, 则表明模糊  $c$ -分区的分解量越小, 分区效果越差。

$$NCE = \frac{1}{c-1} \left[ \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik} \log_a(u_{ik}) \right] \quad (3)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤属性统计特征

采用 Grubbs 法检测结果表明, 本研究没有异常值出现。利用 SPSS 软件对土壤属性进行了描述性统计 (表 1)。由表 1 可以看出, 各属性均服从正态分布特征。有机质、碱解 N、速效 P 和速效 K 的平均值分别为 17.19 g/kg、74.97 mg/kg、7.39 mg/kg 和 161.40 mg/kg, 根据第二次全国土壤普查制定的标准对土壤养分进行分级<sup>[24]</sup>: 该研究区域有机质、碱解 N 和速效 P 含量偏低, 速效 K 含量偏高; 表明该区域的土壤养分基本能满足烟草生长的要求, 陈海生等<sup>[25]</sup> 研究也有相似的结论。pH 变异系数最小, 速效 P 的变异系数最大, Wang 等<sup>[26]</sup> 在平顶山地区研究也有相同的研究结果。变异系数 (CV) 表明: pH、有机质和阳离子交换量属弱变异性, 其他属性均为中等变异性<sup>[27]</sup>。黄平等<sup>[28]</sup> 发现, 蒙顶山茶园土壤有机质为中等空间变异性。本研究表 明, 该区域各土壤属性存在较大的空间变异性, 有必要进行分区管理和变量施肥。

表 1 研究区土壤数据描述性统计 ( $n=111$ )

Table 1 Descriptive statistics of chemical properties in study area

土壤属性	平均值	标准差	最小值	中值	最大值	变异系数	偏度	峰值	$P_{K-S}$
pH	7.93	0.26	7.39	7.98	8.44	3.22	0.23	0.46	0.24
OM (g/kg)	17.19	2.40	11.25	16.85	22.78	13.95	0.38	-0.07	0.33
TN (g/kg)	0.95	0.17	0.54	0.98	1.40	17.90	-0.14	-0.04	0.45
AN (mg/kg)	74.97	14.31	45.66	71.25	110.27	19.09	0.63	0.01	0.12
AP (mg/kg)	7.39	3.24	2.02	6.94	14.23	43.85	0.69	-0.20	0.16
AK (mg/kg)	161.40	30.84	104.68	159.31	239.43	19.10	0.60	-0.15	0.17
ASOM (mg/kg)	0.33	0.09	0.11	0.34	0.54	26.68	-0.21	-0.01	0.90
CEC (cmol/kg)	16.15	1.24	13.56	16.66	18.55	7.67	-0.07	-0.28	0.66

土壤属性数据间相关性分析表明 (表 2), 有机质与其他属性间均呈现正相关性, 几乎都达到了极显著水平, 表明有机质含量提高可以显著增加其他元素含量; Zhang 等<sup>[29]</sup> 也有相似的研究结果。pH 值与有机质、总 N 和碱解 N 间呈负相关关系, 说明当土壤酸性降低, 有机质、总 N 和碱解 N 在土壤中有效性也随之降低; Li 等<sup>[30]</sup> 和祝锦霞等<sup>[31]</sup> 也发表了相似的研究结果; pH 与速效 P 和速效 K 呈正相关关系, 表明速效 P 和速效 K 的有效性随着酸性的增加而降低。阳离子交换量与其他数据间的相关性最小, 李艳等<sup>[32]</sup> 以 20~40 m 取样间隔研究海涂围垦区盐碱土也有类

似结果。

### 2.2 土壤属性空间变异性分析

地统计学中半变异函数模型是空间描述与空间预测的关键<sup>[33]</sup>。应用半方差函数理论模型对平顶山烟区土壤属性数据进行最优拟合。结果表明, 各属性的最佳拟合模型均为球状模型 (表 3)。由表 3 可知: 总 N 的随机变异最小, 其次为阳离子交换量, 随机变异最大的为活性有机质。在本研究尺度上, 土壤属性由空间自相关引起的结构性变异均大于随机变异, 总 N 和阳离子交换量具有较强的空间自相关性, 其他数据均表现出中等空间相关性。

表 2 研究区域土壤属性的相关系数矩阵 ( $n = 111$ )

Table 2 Correlation matrix for soil chemical properties in the study area

土壤属性	pH	OM	ASOM	TN	AN	AP	AK	CEC
pH	1							
OM	-0.215*	1						
ASOM	0.053	0.513**	1					
TN	-0.343*	0.353**	-0.43**	1				
AN	-0.208*	0.551**	0.530**	0.240*	1			
AP	0.185*	0.482**	-0.002	0.196*	0.510**	1		
AK	0.275*	0.354**	-0.189*	0.254**	0.349**	0.415**	1	
CEC	-0.101	0.165*	-0.069	0.287**	0.110	-0.037	0.068	1

注: \* 表示在  $p < 0.05$  水平显著相关; \*\* 表示在  $p < 0.01$  水平显著相关。

表 3 土壤属性半方差函数理论模型与相关参数

Table 3 Parameters for variogram model for different soil properties

土壤属性	模型	块金值	基台值	块金值/基台值	空间相关程度	变程 (m)	决定系数	残差
pH	S	0.03	0.07	37.17	M	83.0	0.990	1.07E-05
OM (g/kg)	S	1.81	5.86	30.87	M	56.5	0.875	4.73E-01
TN (g/kg)	S	0.00	0.03	3.39	S	54.6	0.718	1.74E-04
AN (mg/kg)	S	105.60	232.90	45.34	M	112.6	0.996	5.39E+01
AP (mg/kg)	S	3.91	12.31	31.76	M	124.9	0.996	1.43E-01
AK (mg/kg)	S	435.00	1179.10	36.89	M	312.4	0.947	6.21E+03
ASOM (mg/kg)	S	0.00	0.01	50.01	M	320.5	0.951	3.11E-07
CEC (cmol/kg)	S	0.29	1.71	17.01	S	86.0	0.915	6.64E-02

变程表明属性因子空间自相关范围的大小, 它与观测尺度以及在该尺度上影响土壤属性的各种生态过程相互作用有关<sup>[34]</sup>。研究表明各土壤属性的变程具有较大的差异性, 变化范围为 54.6 ~ 320.5 m, 大于本研究的取样尺度, 说明各土壤属性具有较强的空间自相关性; 其中, 总 N 的空间自相关范围最小, 空间自相关性最弱; 活性有机质的空间自相关范围最大, 空间自相关性最强。秦松等<sup>[35]</sup>以 100 m 取样间隔研究丘陵地区土壤养分空间分布特征也发现了类似的结果。

在已建立的半方差模型的基础上, 利用 Kriging 插值法对未采样点进行插值, 从而将点状数据转换为面状数据, 生成试验区土壤属性的空间分布图 (图 2)。从图中可以看出, 有机质、总 N 和阳离子交换量的分布图较为相似, 碱解 N、速效 P 和速效 K 分布图相似性也较高。各属性指标均表现出明显的空间分布格局, 空间变异性较大。因此, 对该研究区域实施分区管理

很有必要。

### 2.3 主成分分析

对 8 种土壤属性进行主成分分析, 用 SPSS 数据处理系统解出的特征根和特征向量见表 4。从表中可以看出, 前 3 个主成分特征根累计贡献率达 73.89%, 包含了大部分信息, 可以利用这 3 个主成分进行分区划分。

表 4 土壤属性指标的主成分分析

Table 4 Principal component analyses of the eight soil properties

主成分	特征值	方差 (%)	累积贡献率 (%)
PC1	2.559	41.993	31.993
PC2	1.594	19.172	61.165
PC3	1.298	12.727	73.892
PC4	0.656	7.945	81.837
PC5	0.572	6.396	88.233
PC6	0.478	5.219	93.452
PC7	0.345	3.562	97.014
PC8	0.299	2.986	100

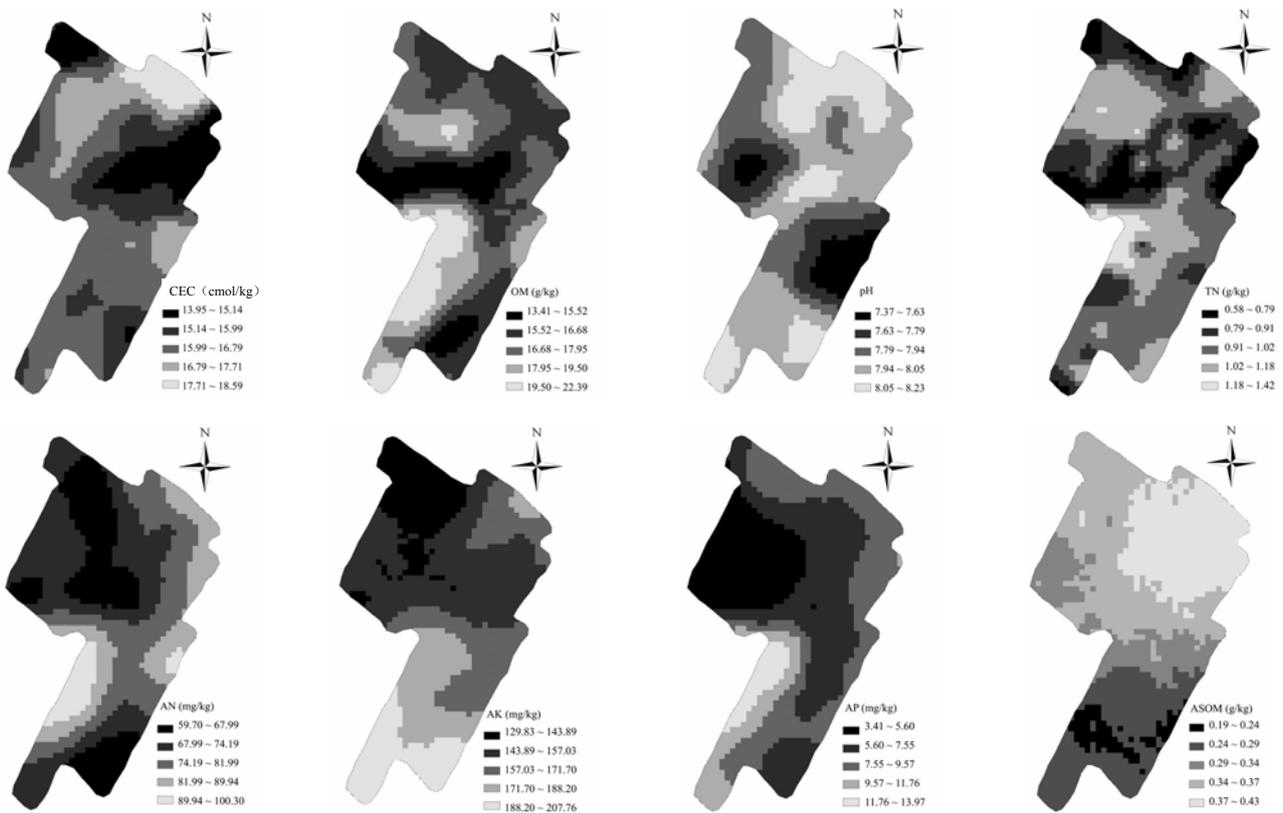


图 2 土壤属性空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution maps of soils properties in study area

特征根代表主成分方差的大小, 各特征根的百分率代表各主成分为总方差贡献率。各指标对第  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 个主成分的系数, 即第  $i$  个特征向量对应的各指标的分量, 是该指标对此主成分负荷相对大小和作用方向的反应。第一主成分贡献率为 41.99% (表 4),

其特征向量所凝聚的土壤属性包括有机质、总 N、碱解 N、速效 P 和速效 K, 其中有机质的贡献率最大 (表 5); 第二主成分贡献率为 19.18%, 特征向量中 pH 和阳离子交换量的贡献较大。第三主成分贡献率为 12.73%, 特征向量中活性有机质的贡献最大 (表 5)。

表 5 土壤属性指标的主成分变量载荷

Fig. 5 PC loadings for each soil variable

主成分	pH	OM (g/kg)	ASOM (mg/kg)	TN (g/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
PC1	0.025	0.796	-0.054	0.545	0.767	0.737	0.656	0.250
PC2	0.613	0.001	0.283	-0.417	0.049	0.410	0.092	-0.696
PC3	-0.280	0.203	0.861	0.005	0.245	-0.046	-0.417	0.036

## 2.4 聚类分析与管理分区

利用主成分分析法提取的 3 个主成分 (PC1、PC2 和 PC3) 进行土壤管理分区的划分。将 3 个主成分的得分值导入 MZA 软件进行模糊 c-均值聚类。应用该软件时需设定以下参数: 最大迭代次数为 300, 收敛阈值为 0.0001, 模糊指数为 1.5<sup>[15, 23]</sup>, 最小分区数为 2,

最大分区数为 6。模糊聚类分析的同时软件也计算出 FPI 和 NCE 值。当这两个指标同时达到最小值时所对应的分区数即为最佳分区数。图 3 是各个划分类别所对应的 FPI 和 NCE 的值。从图中可以看出, 当分类数为 3 时, 所对应的 FPI 和 NCE 同时达到最小, 说明本试验区最佳的分区数为 3。将模糊聚类分析结果在

ArcGIS 软件显示，结果如图 4。

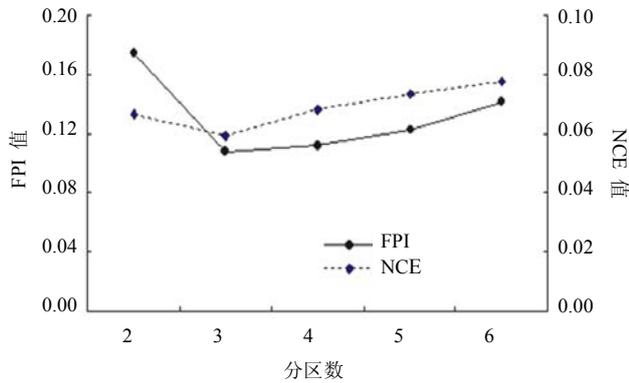


图 3 不同分区数对应的 FPI 和 NCE 值

Fig. 3 FPI and NCE for different numbers of cluster classes



图 4 最佳管理分区图

Fig. 4 Management zone map for optimal cluster in the area

为了明确不同土壤属性在各样点上的交叠程度，引入混乱度指数（CI）来对样点土壤隶属关系进行模糊不确定性评定<sup>[36]</sup>。CI 值越大，表明不同模糊类别在样点的交叠程度越高，样点上该属性的隶属关系不确定性越大；反之亦然。当  $CI = 0$  时，表明该样点上土壤属性在空间上具有清晰的边界。图 5 为研究区混乱度指数图，可以看出在各分区边界处附近的 CI 值较大，表明在这些区域内土壤属性的隶属关系不确定性较大；而各分区内的 CI 值则较小，说明各分区内的土

壤属性隶属关系较明确。研究区土壤属性隶属关系（CI）的平均值为 0.37。由 CI 分析表明：该研究区不同样点的土壤属性的模糊分类输出结果不确定性较小，空间上隶属关系比较明确，分区结果较为合理。

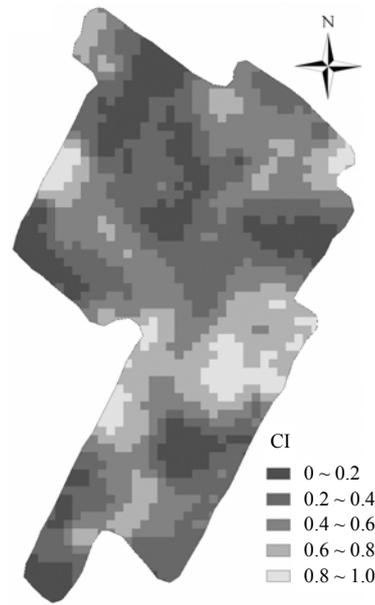


图 5 土壤隶属关系混乱度指数图

Fig. 5 Predictive map of spatial variation of confusion

### 2.5 分区结果评价

为了确定分区结果是否可以作为分区管理和变量施肥的依据，需对结果进行分析。用最小显著差数法（LSD）进行分区间差异显著性检验（表 6）和变异系数检验（表 7）。由分区差异显著性检验表明，分区 1 属于高肥力区，分区 3 为低肥力区，分区 2 居中。在  $p < 0.05$  显著水平上，pH、有机质、碱解 N、速效 P 和速效 K 在不同分区间均达到显著性差异；活性有机质在 1、2 分区间，总 N 在 2、3 分区间，阳离子交换量在 1、3 和 1、2 分区间，未达到显著性差异。总体来看，分区后各管理分区内土壤属性含量分布差异性减小，而分区间差异性较显著。

由变异系数分析可以看出：与分区前相比，各分区土壤属性的变异系数都有所减小；pH 值的变异系数由总研究区的 3.22% 减小到 2.32% ~ 1.64%，有机质的变异系数由 13.95% 减小到 11.96% ~ 8.21%，总 N 的变异系数由 17.90% 减小到 13.60% ~ 11.92%，其他属性的变异系数也都有所降低。就活性有机质而言，在第三分区内的变异系数反而比总变异系数和其他分

表 6 分区土壤属性统计和 LSD 检验结果

Table 6 One-way variance analyses of soil properties for the three management zones

分区	土样数	pH	OM (g/kg)	ASOM (mg/kg)	TN (g/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
1	30	8.01 b	17.82 c	0.31 a	1.16 b	78.45 c	8.93 c	183.67 c	16.15 ab
2	56	7.75 a	17.26 b	0.32 a	0.97 a	74.12 b	7.11 b	153.18 b	15.85 a
3	25	8.02 b	16.69 a	0.36 b	0.84 a	72.35 a	6.12 a	147.33 a	16.45 b
方差分析	<i>F</i> 值	7.54	2.02	20.10	1.53	1.71	5.15	19.64	5.06
	Pro> <i>F</i>	0.00	0.04	0.00	0.06	0.03	0.01	0.00	0.01

注：表中同一列数据字母不同表示在  $p < 0.05$  水平差异显著。

表 7 分区间土壤属性变异系数分析 (%)

Table 7 Zoning statistics for variation coefficients of soil properties.

分区	样点数	pH	OM	ASOM	TN	AN	AP	AK	CEC
1	30	2.32	11.96	22.36	13.60	16.49	38.98	14.29	4.61
2	56	1.64	10.42	19.58	12.14	14.66	35.91	11.70	6.89
3	25	2.26	8.21	34.81	11.92	14.31	35.25	10.30	4.77
总量	111	3.22	13.95	26.68	17.90	19.09	43.86	19.10	7.67

区的变异系数都大，这可能是由该区为多农户分散经营下的不同种植制度和施肥措施导致的<sup>[37]</sup>。从分区结果的检验可以看出，各分区内的土壤属性变异程度均有不同程度的减小，含量分别趋于均一化，因此，在同一管理分区内采用相同的施肥量，不同分区间进行变量施肥是可行的。

### 3 讨论

本研究通过网格取样法，研究平顶山典型烟区的 8 种土壤属性的空间变异性，结果表明 pH 值的变异系数最小，速效 P 的变异系数最大；8 种土壤属性均符合球状模型，除总 N 和阳离子交换量外其余属性都为中等空间相关性；利用主成分分析从 8 种土壤属性中提取 3 个主成分，介入 MZA 软件进行模糊聚类分析，利用 FPI 和 NCE 两个指标确定了最佳分区数为 3；评价结果表明：分为 3 个区进行多元养分变量施肥管理是可行的。陈彦和吕新<sup>[13]</sup>、Li 等<sup>[30]</sup> 和 Wang 等<sup>[26]</sup> 也用模糊聚类分析方法得出相似的管理分区结果。

主成分分析是用尽量少的综合指标来代替众多的原始属性，尽可能多地反映原始数据的信息。本研究表明，所选的 8 种土壤属性可以归纳为 3 个主成分，其总变异的累积贡献率达 73.89%，每个主成分都比较客观地反映了所控制的土壤属性。按照烟草高产优质生产的要求，主成分 1 (PC1) 最为重要<sup>[38]</sup>。本研究利用 FPI 和 NCE 两个指标来确定模糊类别数和模糊加权

指数，将该研究区域划分为 3 个管理分区。LSD 法差异显著性检验和变异系数检验表明，分区结果在很大程度上降低了不同分区内土壤属性的变异性，提高了分区内土壤属性的均一度，为在不同分区间实施差异化管理和变量施肥提供了科学依据。但是，在实际生产中采用网格取样法获取的样本量大、成本高，并且实时性差。因此，可操作性不强，难以满足现代精准农业的要求。在农业生产中，可以用农民管理经验<sup>[39]</sup>、地形特征<sup>[40]</sup>、作物产量数据<sup>[41]</sup>和遥感数据<sup>[42]</sup>来定义管理分区，每隔几年再利用这种方法来进行管理分区的验证和优化，以实施精准肥水管理的目的。

虽然本研究的分区结果并没有通过产量和品质的进一步验证，但差异显著检验和变异系数检验都说明分区间的土壤属性存在显著差异，分区内的变异系数都有大幅降低，说明分区结果较为合理。进一步的研究可以引入土壤属性的时间变异参数。同时，可以结合作物长势长相数据和高光谱遥感数据进行快速分区和验证<sup>[10,43-44]</sup>，使分区结果更趋合理。在本研究中并未涉及不同分区田间管理制度的制度、分区管理的经济效益等问题，在今后的研究中可以涉及这一领域。

### 4 结论

本研究利用主成分分析法从 8 种土壤属性中提取 3 个主成分，运用模糊聚类分析法将研究区划分为 3 个管理分区进行管理，不仅考虑了土壤属性的空间差

异性, 还考虑了其空间分布特征和空间相关性。验证表明本方法可以使分区内土壤属性的变异性减小、分布趋于均一化, 而且兼顾了分区的完整性和连续性, 方便了田间作业。根据土壤属性进行管理分区划分, 并结合田间试验而制定的施肥模型, 只能做基肥施用的依据。在烟草生长过程中可以根据其长势和产量与品质形成特征进行变量追肥, 以弥补分区划分在精准度上的不足。

对农田进行精准分区管理, 既保障了分区现状的均质性和稳定性, 提高了分区管理的准确性, 同时对土壤养分的后期管理具有更全面的指导性。本研究选取土壤属性数据进行管理分区的划分, 所利用的数据是静态数据。在今后研究中要拓宽分区变量的选择范围, 将烤烟产量和品质数据纳入到管理分区变量中来, 同时考虑其时空变异性, 将会进一步提高分区的有效性, 使分区结果更趋合理, 为研究区精准农业变量施肥提供理论基础, 为精准、高效的田间管理提供决策依据。

#### 参考文献:

- [1] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 刘国顺, 张明农. 烟草生理与生物化学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996
- [2] 王东胜. 烟草栽培学. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002
- [3] Doerge TA. Management Zone Concepts. Site-specific Management Guidelines. Atlanta, GA: Potash and Phosphate Institute, 1999
- [4] Koch B, Khosla R, Frasier WM, Westfall DG, Inman D. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones. *Agron. J.*, 2004, 96: 1 572-1 580
- [5] Khosla R, Fleming K, Delgado JA, Shaver TM, Westfall DG. Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *J. Soil Water Conserv.*, 2002, 57: 513-518
- [6] Schepers AR, Shanahan JF, Liebig MA, Schepers JS, Johnson SH, Luchiaro A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 2004, 95: 195-203
- [7] 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
- [8] Boydell B, McBratney AB. Identifying potential within-field management zones from cotton-yield estimates. *Precision Agriculture*, 2002, 3: 9-23
- [9] Vrindts E, Mouazen AM, Reyniers M, Maertens K, Maleki MR, Ramon H, De Baerdemaeker J. Management zones based on correlation between soil compaction, yield and crop data. *Biosystems Engineering*, 2005, 92(4): 419-428
- [10] Long DS, Carlson GR, Degloria SD. Quality of field management maps // Robert PC, Rust RH, Larson WE. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Site-specific Management for Agricultural System. Madison, USA: ASA-CSSA-SSSA, 1994: 251-271
- [11] Ostergaard HGS. Agronomic consequences of variable N fertilization // Stafford JV. ed. Precision Agriculture'97. Oxford, UK: BIOS Scientific Pub., 1999: 145-153
- [12] Li Y, Shi Z, Li F, Li HY. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Comput. Electron. Agric.*, 2007, 56: 174-186
- [13] 陈彦, 吕新. 基于 FCM 的绿洲农田养分管理分区研究. *中国农业科学*, 2008, 41(7): 2 016-2 024
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [15] Fridgen JJ, Kitchen NR, Sudduth KA, Drummond ST, Wiebold WJ, Fraisse CW. Management zone analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agron. J.*, 2004, 96: 100-108
- [16] Johnson RA, Wichern DW. Applied Multivariate Statistical Analysis (5th Edition). Prentice Hall: Upper Saddle River NJ, 2002
- [17] 朱小鸽. 多重主成分分析及在地质构造信息提取中的应用. *遥感学报*, 2000, 4(4): 299-303
- [18] Jolliffe IT. Principal Component Analysis. New York: Springer-Verlag, 1986
- [19] Bezdek JC. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 1981
- [20] Jaynes DB, Kaspar TC, Colvin TS, James DE. Cluster analysis of spatiotemporal corn field patterns in an Iowa field. *Agron. J.*, 2003, 95: 574-586
- [21] Odeh IOA, McBratney AB, Chittleborough DJ. Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: Application to classification and soil-landform interrelationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 56: 505-516
- [22] 高新波, 裴继红, 谢维信. 模糊 c 均值聚类算法中加权指数 m 的研究. *电子学报*, 2000, 28(4): 80-83
- [23] Lark RM, Stafford JV. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Ann. Appl. Biol.*, 1997, 130: 111-121
- [24] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [25] 陈海生, 刘国顺, 刘大双, 陈伟强. GIS 支持下的河南省烟草

- 生态适宜性综合评价. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2425-2433
- [26] Wang XZ, Liu GS, Hu HC, Wang ZH, Liu QH. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. *Comput. Electron. Agric.*, 2009, 65: 168-175
- [27] Warrick AW. *Spatial variability* // Hillel D. *Environmental Soil Physics*. USA: Academic Press, 1998: 655-675
- [28] 黄平, 李廷轩, 张佳宝, 廖桂堂. 坡度和坡向对低山茶园土壤有机质空间变异的影响. *土壤*, 2009, 41(2): 264-268
- [29] Zhang XY, Sui YY, Zhang XD, Meng K, Herbert SJ. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 19-29
- [30] Li Y, Shi Z, Li F, Li HY. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Comput. Electron. Agric.*, 2007, 56: 174-186
- [31] 祝锦霞, 许红卫, 王珂, 陈祝炉. 基于 GIS 和地统计学的低丘红壤地区三种土壤性质空间变异性研究. *土壤*, 2008, 40(6): 960-965
- [32] 李艳, 史舟, 吴次芳, 李锋, 程街亮. 基于模糊聚类分析的田间精准管理分区研究. *中国农业科学*, 2007, 40(1): 114-122
- [33] Yost RS, Uehara G, Fox RL. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas II. Kriging. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46: 1033-1037
- [34] Trangmar BB, Yost RS, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 1985, 38: 45-94
- [35] 秦松, 樊燕, 刘洪斌, 王正银. 地形因子与土壤养分空间分布的相关性研究. *水土保持学报*, 2007, 14(4): 275-279
- [36] Burrough PA, Van Gaans PFM, Hootsmans R. Continuous classification in soil survey: Spatial correlation, confusion and boundaries. *Geoderma*, 1977, 77: 115-135
- [37] Chien YJ, Lee DY, Guo HY, Hough KH. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Tai Wan soil. *Soil Science*, 1997, 162(4): 151-162
- [38] 刘国顺. 烟草栽培. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [39] Fleming KL, Westfall DG, Wiens LE, Rothe LE, Cipra JE, Heermann DF. Evaluating farmer developed management zone maps for precision farming // Robert PC, Rust RH, Larson WE. *Proceedings of 4th International Conference on Precision Agriculture*. Madison, W I., USA: ASA, CSSA, and SSSA, 1999: 335-343
- [40] Kravchenko AN, Bullock DG. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron. J.*, 2000, 92: 75-83
- [41] Franzen DW, Kitchen NR. Developing management zones to target nitrogen applications. SSMG-5 // *Site-specific Management Guidelines*. Potash & Phosphate Institute. Available online at <http://www.ppi-far.Org/ssmg>, 1999
- [42] Wright DL, Rasmussen VP, Baker DJ. Using remote sensing to manage wheat grain protein. NASA SSC Report, 2003, ARC-USU-001-02. Affiliated Research Center Final Reports [CD-ROM]. Earth Science Applications Directorate, National Aeronautics and Space Administration, John C. Stennis Space Center, Mississippi. 2002
- [43] 刘国顺, 李向阳, 刘大双, 喻奇伟. 利用冠层光谱估测烟草叶面积指数和地上生物量. *生态学报*, 2007, 27(5): 1763-1771
- [44] 朱艳, 李映雪, 周冬琴, 田永超, 姚霞, 曹卫星. 稻麦叶片氮含量与冠层反射光谱的定量关系. *生态学报*, 2006, 26(10): 3463-3469

## Research on Definition of Management Zones Based on GIS and Soil Properties in Tobacco-planted Field

JIANG Hou-long<sup>1</sup>, LIU Guo-shun<sup>1</sup>, YANG Yong-feng<sup>1</sup>, WANG Xue-jing<sup>1</sup>, HU Hong-chao<sup>2</sup>,  
WANG Zhen-hai<sup>2</sup>, GU Jian-guo<sup>3</sup>, LI Yan-tao<sup>3</sup>

(1 *Tobacco College Agronomy Department of Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China*; 2 *Pingdingshan Tobacco Company, Pingdingshan, Henan 467000, China*; 3 *Jia County Branch of Tobacco Company of Henan Province, Jia County, Henan 467100, China*)

**Abstract:** This research was to define management zones of tobacco planting field in Pingdingshan. The variables of pH, total nitrogen, organic matter, alkalytic nitrogen, available phosphorous, available potassium, active soil organic matter and cation exchange capacity data determined in 111 topsoil (0–20 cm) samples were selected as data sources. Principal components analysis (PCA) and fuzzy cluster algorithm were then performed to delineate management zones (MZs); fuzzy performance index (FPI) and normalized classification entropy (NCE) were used to determine the optimum cluster number. The results showed that the optimum number of MZs for this study area was three and the fuzziness exponent was 1.5. The analysis of variance indicated the heterogeneity of soil fertility among different MZs, while the variation coefficient of soil nutrients decreased. The average confusion index was 0.37 in this area. The overlapping of fuzzy classes at points was low and the spatial distribution of membership grades was unambiguous. The results indicated that fuzzy c-means clustering algorithm could be used to delineate management zones. The defined MZs provide a basis of information for site-specific fertilizer management in the tobacco-planted field.

**Key words:** Management zones, Fuzzy c-means clustering, Soil properties, Tobacco-planted field