

基于粒子群优化算法的土壤养分管理分区

王子龙, 付强^{*}, 姜秋香

(东北农业大学水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 土壤养分管理分区的划分为变量施肥技术提供依据, 是精准农业实施变量施肥管理的重要环节。在对 7 种土壤养分空间变异特征和变异结构进行分析的基础上, 以其中 6 种养分作为变量进行土壤养分管理分区的研究, 最后用基于粒子群优化属性均值聚类来划分管理分区, 并引入 3 种指标确定合理的分区数目。通过计算得出, 试验区的合理分区数目为 2 个, 对各管理分区实际采样点的土壤养分数据进行单因素方差分析, 除速效磷外各土壤养分均在 99% 的置信水平上具有极显著差异, 其中分区 2 土壤肥力水平较高, 分区 1 较低。基于粒子群优化属性均值聚类算法可以很好地划分土壤养分管理分区, 分区结果能够为精准农业变量施肥提供决策依据。

关键词: 粒子群, 属性均值聚类, 管理分区, 精准农业

中图分类号: S159

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-10-0080-05

王子龙, 付强, 姜秋香. 基于粒子群优化算法的土壤养分管理分区[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 80-84.

Wang Zilong, Fu Qiang, Jiang Qiuxiang. Soil nutrient management zones based on particle swarm optimization algorithm[J].

Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 80-84.(in Chinese with English abstract)

0 引言

精准农业 (precision agriculture) 最早由美国农业工作者于 20 世纪 90 年代初倡导并实施^[1], 是综合运用 3S (RS, GIS, GPS) 和人工智能等现代高新科学技术^[2], 以获得农田高产、优质、高效的现代化农业生产模式和技术体系。变量施肥技术是实现精准农业的关键技术和手段, 传统的变量施肥主要通过网格采样法获取信息, 然而该方法成本高、不实用。近年来, 许多学者开始研究按照土壤养分的变异性和空间位置将同一地块划分成不同的相对均质的区域进行管理, 即土壤养分管理分区 (soil nutrient management zone)。科学合理的土壤养分管理分区技术是实施精准农业变量施肥的高效手段^[3-6], 并成为国内外精准农业研究的热点。

Fridgen 等^[7]在模糊 C 均值聚类算法的基础上编制了简便管理分区软件 Management Zone Analyst (MZA), 使非专业用户能够简单快速的获得分区结果。Schepers 等^[8]利用多年土壤特性和产量数据研究了管理分区刻画其空间变异性的能力。Fleming 等^[9]评价了农场主根据遥感图片、地形和生产经验定义的管理分区对变量施肥的影响。

李翔等^[10]在 K 均值算法的基础上提出空间连续性聚类算法, 对小麦的长势差异进行了调优栽培管理分区的提取研究。黄绍文等^[11]根据粮田土壤养分速效含量的空间分布规律, 在 GIS 中对主要土壤养分进行管理分区, 利用平衡施肥技术来指导养分管理。Li 等^[12]利用土壤电导率数据和聚类分析方法对沿海盐碱地进行管理分区, 并研究了实施定位管理的可行性。以上多数研究的分区方法是模糊聚类, 但其最小平方准则对数据的异常值高度敏感, 因此本研究利用基于稳态函数的属性均值聚类算法定义土壤养分管理分区, 并运用粒子群算法优化其目标函数, 以消除聚类算法对迭代初值的敏感性, 获得了最优的分区结果。

1 材料与方法

1.1 研究区域与数据获取

本研究以黑龙江农垦建三江分局洪河农场为试验区, 洪河农场位于黑龙江省三江平原腹地, 地处 139°29'E, 47°54'N。试验区年平均气温 1.3℃, 无霜期约 120 d 左右, 有效积温 2400℃, 耕地 2.8×10⁴ hm², 土壤类型主要有白浆土、草甸土、沼泽土和泥炭土, 作物种植以水稻为主, 一年一季。试验区的地貌、土壤类型、成土母质以及土地利用方式在三江平原具有很好的代表性。

数据的获取是在 2006 年 10 月, 水稻收割之后。在洪河农场选取 500 m×500 m 的水稻田作为研究区域, 利用手持式 GPS 辅助土壤采样, 采样前根据地块已有地理坐标生成 50 m×50 m 的栅格, 采样点位于栅格中心, 共 100 个 (如图 1)。采样深度为 20 cm, 四分法混合取样。土样经风干、磨碎及过筛后, 按常规土壤农业化学分析方法测定各土样的全氮、全磷、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾及 pH 值^[13]。

收稿日期: 2007-07-19 修订日期: 2008-08-28

基金项目: 国家自然科学基金 (No.30400275); 黑龙江科技攻关项目 (No.GB06B106-7)

作者简介: 王子龙 (1982-), 男, 山东胶州人, 博士, 主要从事农业水土资源评价及优化利用研究。哈尔滨 哈尔滨香坊区公滨路木材街 59 号 东北农业大学水利与建筑学院, 150030。Email: wangzilong914@sohu.com

*通讯作者: 付强 (1973-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源系统分析、节水灌溉及农业系统工程建模与优化技术研究。哈尔滨 哈尔滨香坊区公滨路木材街 59 号 东北农业大学水利与建筑学院, 150030。Email: fuqiang@neau.edu.cn

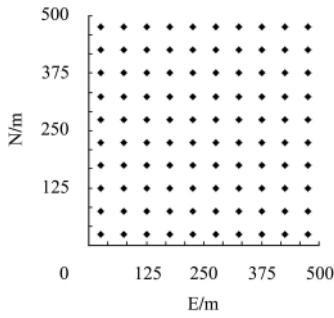


图 1 采样点空间分布图

Fig.1 Spatial distribution map of sampling points

1.2 研究方法

1.2.1 属性均值聚类

属性均值聚类 (Attribute Means Clustering, AMC) 是一种平稳的非监督聚类方法, 该方法引入稳态函数以减小在最小平方准则中大误差的影响^[10,14]。它的基本思想是寻求基于稳态函数的目标函数最小化, 应用到土壤养分管理分区中其目标函数为:

$$P(\mu, m) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \rho(\|\mu_{nk}(x_n - m_k)\|) \quad (1)$$

式中 K ——土壤养分管理分区数; N ——土壤样本数; $\rho(t)$ ——稳态函数; μ_{nk} ——第 n 个土壤样本属于第 k 管理分区的属性测度值, 满足 $\sum_{k=1}^K \mu_{nk} = 1$; x_n ——第 n 个土壤样本; m_k ——第 k 管理分区的聚类中心。

稳态函数选择可靠性和稳定性好的柯西稳态函数:

$$\rho(t) = \ln(c + t^2) \quad (2)$$

式中 c ——正数。

根据公式 (1) 和 (2) 寻求目标函数最优值之后得到的属性测度 μ 和聚类中心 m , 运用属性识别理论^[15]中的置信度准则即可判断土壤样本的归属。对任一土壤样本 x_n :

$$k_0 = \min \left\{ k : \sum_{i=1}^k \mu_{nk} \geq \lambda, 1 \leq k \leq K \right\} \quad (3)$$

则认为土壤样本 x_n 所代表的区域属于第 k_0 土壤养分管理分区, 其中, λ 为置信度, 取值范围通常为 0.6~0.7。

1.2.2 粒子群算法

粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是一种源于对鸟群捕食行为的研究而发明的进化技术^[16]。PSO 算法同时具有全局和局部搜索能力, 参数调整简单易行, 收敛速度快, 能够解决通过迭代求解聚类分析目标函数对初始值敏感的问题, 避免聚类算法陷入局部最优^[17,18]。

对于优化问题, PSO 算法中的每个粒子代表一个可能的解, 群体中每个粒子在优化过程中所经历的最好位置就是该粒子本身所找到的最好解, 整个群体所经历的最好位置就是整个群体目前找到的最好解。前者称为个体极值, 用 $pbest$ 表示; 后者称为全局极值, 用 $gbest$ 表

示, 每个粒子都通过 $pbest$ 和 $gbest$ 不断更新自己, 从而产生新一代群体, 在这个过程中整个群体对解区域进行全面搜索。

设粒子的群体规模为 N , 第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 个粒子的位置可表示为 x_i , 速度表示为 v_i , 其个体极值表示为 $pbest_i$ 。所以任意粒子 i 将根据以下公式来更新自己的位置和速度:

$$v(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(t)(pbest_i(t) - x_i(t)) + c_2r_2(t)(gbest(t) - x_i(t)) \quad (4)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (5)$$

式中 c_1, c_2 ——常数, 称为加速系数; r_1, r_2 ——(0,1) 上的随机数; w ——惯性权重。

每个粒子的个体极值和全体粒子的全局极值的更新公式如下:

$$pbest_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t+1) & x_i(t+1) \geq pbest_i(t) \\ pbest_i(t) & x_i(t+1) < pbest_i(t) \end{cases} \quad (6)$$

$$gbest(t+1) = \max(pbest_i(t+1)) \quad i=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

以上即构成粒子群算法的主体, 将其与属性均值聚类相结合, 用粒子群优化聚类算法的目标函数, 求得粒子群全局极值 $gbest$, 即可定义土壤养分管理分区。

1.2.3 合理分区数的确定

合理的分区数是指聚类算法在客观数据的基础上, 以最好的聚类效果对数据进行的尽可能明晰的划分, 本研究引入分离系数 F 、分离熵 H 、紧致与分离性效果 S 来确定合理分区数。

分离系数 F 是所有输入土壤样本相对于各土壤养分管理分区聚类中心的接近程度, 可定义为:

$$F(\mu, K) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (\mu_{nk})^2 \quad (8)$$

F 的值在 0 到 1 之间变动。如果每个样本仅属于同一分区, 即 μ_{nk} 取 0 或 1, 则聚类效果最好, 此时, $F(\mu, K)=1$, 因此分离系数越大聚类效果越好。

分离熵 H 可定义为:

$$H(\mu, K) = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \mu_{nk} \log(\mu_{nk}) \quad (9)$$

若所有的属性测度 μ_{nk} 都接近 0 或 1, 则熵就小, 管理分区对土壤样本的划分明晰, 所得的聚类效果就好, 若 μ_{nk} 接近 0.5, 则熵就大, 划分不明晰, 聚类效果就差。

紧致与分离性效果 S 是输入土壤样本与它们相应管理分区的聚类中心间距的平均值与聚类中心最小间距的比值, 可定义为:

$$S(\mu, K) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \mu_{nk}^2 \|x_n - m_k\|^2}{\min_{1 \leq i, j \leq K} \|m_i - m_j\|^2} \quad (10)$$

合理的聚类应当使聚类中心的间距尽可能大, 而样本与聚类中心的间距尽可能小, 即 S 的值越小聚类效果

越好。

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

对试验区各土壤养分的实测数据进行统计分析的特征值(表1)。

根据沈汉提供的土壤养分分级标准^[19],从均值看,

试验区土壤表层主要养分含量水平较高;从变异系数看,除pH为5%属于弱变异(0~10%)外,其他土壤肥力评价指标都属于中等变异(10%~100%),其中速效钾的变异系数最大为79%,其余的变异系数在24%~35%之间^[20],这说明去除pH的试验区各土壤养分在空间上存在较大的变异性,满足土壤养分管理分区和实施变量施肥管理的前提条件。

表1 土壤养分的描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of soil nutrient

| 统计量 | 全氮/% | 全磷/% | 有机质/% | 碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | pH值 |
|------|------|------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------|
| 均值 | 0.24 | 0.09 | 5.30 | 246.15 | 56.84 | 79.53 | 5.49 |
| 中值 | 0.22 | 0.08 | 5.11 | 237.95 | 56.60 | 62.60 | 5.47 |
| 最小值 | 0.10 | 0.04 | 2.37 | 112.70 | 13.00 | 15.40 | 4.68 |
| 最大值 | 0.57 | 0.17 | 11.14 | 430.90 | 121.00 | 573.00 | 6.15 |
| 标准差 | 0.08 | 0.02 | 1.72 | 59.84 | 16.48 | 62.83 | 0.27 |
| 变异系数 | 0.35 | 0.25 | 0.32 | 0.24 | 0.29 | 0.79 | 0.05 |

2.2 空间变异结构分析及Kriging插值图

表2列出了满足分区条件的土壤养分:全氮、全磷、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的半方差函数拟合模型及其参数。它们都具有良好的空间结构,其中有机质

的理论半方差函数模型为球形模型,其余土壤养分的理论模型均为指数模型,模型拟合精度(R^2)均较高。块基比的大小体现了土壤养分的变异程度,6种土壤养分的块基比在26.7%~46.5%之间,均属于中等变异(25%~75%)。土壤养分的变程在137.1~339.3 m之间,均大于采样间隔最小距离(50 m),表明采样方案能够满足试验区土壤养分空间变异结构分析的要求。

表2 土壤养分半方差函数模型及参数

Table 2 Models and parameters of semi-variance function for soil nutrient

| 土壤养分 | 理论模型 | 块金值 | 基台值 | 块基比/% | 变程/m | R^2 |
|------|------|--------|---------|-------|-------|-------|
| 全氮 | 指数模型 | 0.0277 | 0.0962 | 28.8 | 157.5 | 0.985 |
| 全磷 | 指数模型 | 0.0002 | 0.00043 | 46.5 | 339.3 | 0.976 |
| 有机质 | 球形模型 | 0.0404 | 0.097 | 41.6 | 233.8 | 0.998 |
| 碱解氮 | 指数模型 | 0.0176 | 0.0591 | 29.8 | 235.8 | 0.98 |
| 速效磷 | 指数模型 | 74.9 | 253.7 | 29.5 | 206.1 | 0.995 |
| 速效钾 | 指数模型 | 0.0475 | 0.178 | 26.7 | 137.1 | 0.766 |

在ArcGIS软件中,运用Geostatistics Analyst工具中的普通克里格法(Ordinary Kriging, OK)对以上土壤养分进行空间插值,形成各土壤养分的空间分布图,并将其转换为栅格大小为12.5 m的栅格图像(图2)。从土壤养分的空间分布图可以看出,全氮和碱解氮具有一致的空间分布,东南部区域和西部小区域含量较低,西北部和中南部偏南区域含量较高,这与二者的密切关系是相应

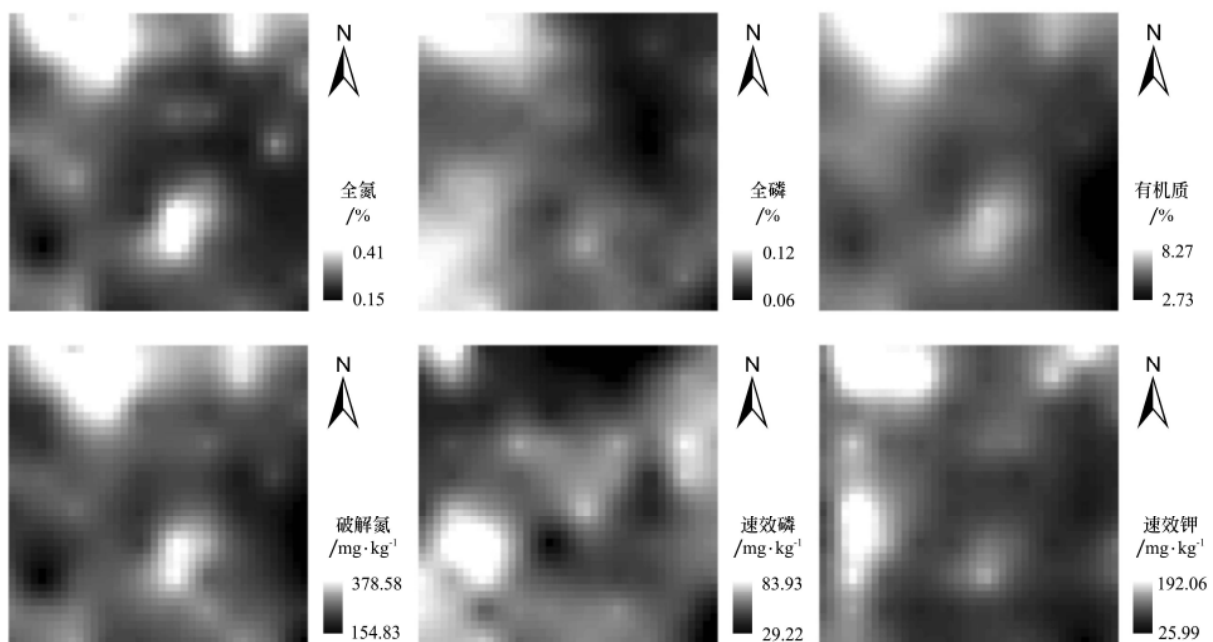


图2 土壤养分空间分布的栅格图像

Fig.2 Raster image of spatial distribution of soil nutrient

的；全磷和速效磷的空间分布图大体上是东北部区域含量较低西南部较高，但二者的相似程度较差，可能是施用磷肥的原因；有机质和速效钾的含量都有从东南向西北逐渐增大的趋势。从整体看，各土壤养分在空间上均呈小区域块状或条带状分布，说明试验区适合进行土壤养分管理分区。

2.3 分区结果及评价

利用 MATLAB 编制基于粒子群优化属性均值聚类程序，将各土壤养分空间分布栅格图像的属性数据作为输入，进行聚类分析。在聚类过程中，取粒子群最大更新次数为 100，收敛阈值为 0.001，属性识别置信度为 0.65，运行程序得到分类结果。为了获得合理的土壤养分管理分区数，将试验区分别划分成 2、3、4、5、6 个管理分区，计算各分区的 3 个确定合理分区数指标：分离系数 F 、分离熵 H 、紧致与分离性效果 S ，将结果绘制成趋势性折线图（图 3）。从图中可以看出，当土壤养分管理分区数为 2 时，相应的分离系数 F 最大，同时分离熵 H 和紧致与分离性效果 S 都最小，说明此时管理分区内差异最小，而区间差异最大，因此试验区的合理分区数为 2。

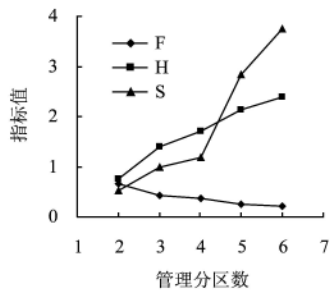


图 3 指标值随管理分区数增加的变化
Fig.3 Changes in indices with increasing number of management zones

以分区数为 2 的分区结果及其空间位置作为数据源重新输入到 ArcGIS 软件中生成土壤养分管理分区图（图 4）。由管理分区图可知，试验区被明显地分为两个区域：

分区一（Zone1）和分区二（Zone2）。Zone1 位于东侧，Zone2 位于西侧，面积几乎是 Zone1 的两倍；各管理分区连片分布，更加利于变量施肥机作业。



图 4 土壤养分管理分区图
Fig.4 Image of management zones for soil nutrient

为了评价管理分区结果是否可以有效区划试验区土壤养分的空间变异性，对分布于两个管理分区上的 100 个实际采样点的土壤养分数据进行均值统计和单因素方差分析（表 3）。从表中可以看出，除速效磷外，各管理分区内的全氮、全磷、有机质、碱解氮、速效钾的实测数据在 99% 的置信水平上都具有极显著差异，说明土壤养分管理分区可以有效地区划土壤养分的空间变异性。管理分区对速效磷的区划不显著，原因是速效磷的空间分布比较零散，空间变异结构复杂。从总体上看，分区 2 具有较高的土壤肥力水平，各土壤养分在分区 2 内都具有较高含量，分区 1 具有相对较低的土壤肥力水平，分区 2 中的各土壤养分均值要比分区 1 中的土壤养分高出 21%~55%；分区 1 实际采样点 31 个，分区 2 实际采样点 69 个是分区 1 的两倍多。总之，试验区被分区后，各管理分区内的土壤养分含量空间分布差异较小，而管理分区间差异显著，说明对于试验区适宜在同一管理分区内采用相同的施肥量而在不同的分区间实施变量施肥管理，且各区内土壤养分的均值可作为变量施肥的参考。

表 3 土壤养分均值统计及单因素方差分析

Table 3 Mean statistics and variance analysis of single factor experiment of soil nutrient

| 管理分区 | 样点数 | 土壤养分 | | | | | |
|------|--------|--------|---------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 全氮/% | 全磷/% | 有机质/% | 碱解氮/mg · kg ⁻¹ | 速效磷/mg · kg ⁻¹ | 速效钾/mg · kg ⁻¹ |
| 1 | 31 | 0.20 | 0.07 | 4.09 | 213.67 | 56.52 | 55.35 |
| 2 | 69 | 0.26 | 0.09 | 5.83 | 260.67 | 56.77 | 85.98 |
| 方差分析 | F | 12.97 | 17.39 | 29.15 | 15.17 | 0.01 | 12.15 |
| | $Pr>F$ | 0.0005 | <0.0001 | <0.0001 | 0.0002 | 0.9426 | 0.0007 |
| | 显著性 | 极显著 | 极显著 | 极显著 | 极显著 | 不显著 | 极显著 |

3 结论

在分析试验区主要土壤养分空间变异结构的基础上，确定除 pH 外的 6 种养分作为管理分区变量，同时分区变量的空间分布均呈小区域块状或条带状，表明试验区土壤养分的空间分布情况宜于进行管理分区的划分。利

用基于粒子群优化属性均值聚类算法划分土壤养分管理分区，并引入 3 个指标确定合理分区数，最后，通过各分区内实际采样点土壤养分数据单因素方差分析来评价管理分区对土壤养分空间变异性区划的有效性。结果表明，分区结果良好、区间差异显著，运用本文方法划分土壤养分管理分区是可行的；将属性均值聚类算法的稳

定性与粒子群算法结构简单, 参数易调节, 能够对可行解域整体和局部同时进行搜索等优良特性相结合用于划分土壤养分管理分区, 为变量施肥管理和农业管理分区的划分提供了有效途径, 对于精准农业管理具有重要的理论和实践意义。

[参 考 文 献]

- [1] 彭望禄, Robert Pierre, 程惠贤. 农业信息技术与精准农业的发展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 9—11.
- [2] 潘瑜春, 赵春江. 地理信息技术在精准农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 1—6.
- [3] Khosla R, Fleming K, Delgado J A, et al. Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 57(6): 513—518.
- [4] Delgado J A, Khosla R, Bausch W C, et al. Nitrogen fertilizer management based on site-specific management zones reduce potential for nitrate leaching[J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2005, 60(6): 15.
- [5] Mzuku M, Khosla R, Reich R, et al. Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(5): 1572—1579.
- [6] 李 艳, 史 舟, 吴次芳, 等. 基于多源数据的盐碱地精确农作管理分区研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 84—89.
- [7] Fridgen J J, Kitchen N R, Sudduth K A, et al. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(1): 100—108.
- [8] Schepers A R, Shanahan J F, Liebig M A, et al. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(1): 195—203.
- [9] Fleming K L, Westfall D G, Wiens D W, et al. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application[J]. *Precision Agriculture*, 2000, 2: 201—215.
- [10] 李 翔, 潘瑜春, 赵春江, 等. 基于空间连续性聚类算法的精准农业管理分区研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 78—82.
- [11] 黄绍文, 金继运, 杨丽萍, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 79—88.
- [12] Yan Li, Zhou Shi, Feng Li. Delineation of site-specific management zones based on temporal and spatial variability of soil[J]. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 156—164.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 程乾生. 属性均值聚类[J]. 系统工程理论与实践, 1998, (9): 124—126.
- [15] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(1): 12—20.
- [16] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[A]. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*[C]. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995: 1942—1948.
- [17] Paterlini S, Krink T. Differential evolution and particle swarm optimization in partitional clustering[J]. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2006, 50(5): 1220—1247.
- [18] 刘靖明, 韩丽川, 侯立文. 基于粒子群的 K 均值聚类算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, (6): 54—58.
- [19] 沈 汉. 土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. 华北农学报, 1990, 5(3): 63—69.
- [20] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985, (9): 10—21.

Soil nutrient management zones based on particle swarm optimization algorithm

Wang Zilong, Fu Qiang^{*}, Jiang Qiuxiang

(College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Delineation of soil nutrient management zones provides basis for variable fertilization technique and it is an important link of variable fertilization management of precision agriculture. On the basis of analyzing spatial variability characteristics and structure of seven soil nutrients, six of them were taken as the variables to delineate soil nutrient management zones. Finally, attribute means clustering algorithm optimized by particle swarm optimization was used to delineate management zones, and three indices were introduced to ascertain the reasonable number of management zones. According to the calculation, the reasonable number of management zones for the study area was two. The results of variance analysis of single factor soil nutrient data of the practical samples in each management zone indicated that all soil nutrients but available phosphorus had great differences among management zones at the confidence level of 99%. Zone 2 had the higher soil fertility and Zone 1 had the lower. Final results show that attribute means clustering algorithm optimized by particle swarm optimization can be utilized to delineate management zones effectively. The defined management zones can provide decision-making support for variable fertilization of precision agriculture.

Key words: particle swarm optimization, attribute means clustering, management zone, precision agriculture