

# 基于 GIS 的猕猴桃土壤养分评价与施肥建议模型研究

朱红春<sup>1,2</sup>, 张 蕾<sup>1</sup>, 刘海英<sup>3</sup>, 张继贤<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 青岛 266510; 2. 中国测绘科学研究院, 北京 100039;  
3. 山东科技大学理学院, 青岛 266510)

**摘 要:** 该论文以陕西省周至县为例, 基于 GIS 技术, 得到土壤养分的地域分布模型和适宜性等级划分; 针对猕猴桃的生育特性, 建立了养分需求模型; 针对土壤养分的空间分布特点, 给出具有决策指导意义的施肥建议, 以提高猕猴桃果品的品质和产量; 研制了基于施肥建议模型的果树施肥信息系统。该方法实现了 GIS 支持下的基础土壤养分数据的空间化、可视化、系统化管理, 最大程度上实现了连续性的养分分布模型的构建, 并对不同地域的施肥建议进行了可视化输出。该方法是实现“数字农业”和“精准施肥”目标的有益探索, 具有一定的理论和实践意义。

**关键词:** GIS; 土壤养分; 施肥; 猕猴桃

中图分类号: S126; S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)6-0194-05

朱红春, 张 蕾, 刘海英, 等. 基于 GIS 的猕猴桃土壤养分评价与施肥建议模型研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 194-198.

Zhu Hongchun, Zhang Lei, Liu Haiying, et al. Soil nutrient evaluation and recommended model for Chinese gooseberry fertilization based on GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 194-198. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

特色果业——猕猴桃种植业, 是陕西省“一线两带”建设的重点。陕西省西安市周至县猕猴桃果业发展急需解决施肥中存在的养分配比例失调、营养素缺失、污染等问题, 以改善果品品质, 进行无公害绿色果品生产, 抑制猕猴桃产业滑坡。测土施肥可及时准确地了解土壤中氮磷钾、有机质等养分的含量, 从而对症下药, 避免肥料浪费, 实现土壤的肥量平衡, 提高果树的品质、增加产量<sup>[1]</sup>。

随着“数字农业”概念的提出, 以及全国土壤-土地数字化数据库(SOTER)的建立, 出现了大量的基于地理信息系统(Geographic Information System, 以下简称 GIS)的专家推荐施肥系统<sup>[2]</sup>。中国农业科学院土壤肥料研究所承担的农业部“九五”重点项目(被列入国家“863 高科技计划”)——中国土壤肥料信息系统(SOFISC)。该系统利用 GIS 和模拟技术, 综合了包括中国农业科学院土壤肥料研究所所在的中国土壤学界近 20 年在土壤肥力状况方面的研究成果, 可用于不同层次的土壤肥料信息的查询统计, 以及作物施肥决策

等; 新疆农业大学将 GIS 技术应用于指导棉花、小麦、玉米的施肥中, 取得了良好的效果<sup>[3-5]</sup>。

本研究以陕西周至县猕猴桃产区为试点区域, 在样点土壤养分测定的基础上, 借助 GIS 空间数据管理技术, 综合采用空间叠置、数理统计等方法对试验区土壤养分的空间等级进行了划分, 分析了需求模型, 建立了施肥建议模型, 并在实际应用中取得了理想的结果。该方法是在仅考虑土壤养分空间差异的层面上, 对果树养分评价和施肥决策方法的有益探索。

## 1 试验区(果树)概况和研究方法

### 1.1 试验区概况

周至县位于秦岭北麓, 是世界上猕猴桃最佳适生区, 环境无污染, 具备生产无公害绿色食品优质猕猴桃的生态条件, 是农业部定点的中国唯一的猕猴桃标准化栽培示范县。本研究试验区位于周至县北部种植密集区, 东西长 45 km, 南北宽 19 km, 总面积 765 km<sup>2</sup>, 其中猕猴桃作物种植面积占 11.4%, 海拔在 149~241 m 之间, 地势南高北低, 跨秦岭山地、黄土台塬、渭河平原三个自然地貌单元, 境内有渭河支流黑河和田峪河。土壤类型以黄土、螻土、潮土为主。

### 1.2 研究方法

本研究在 ArcGIS 9.0 平台上使用 Geostatistical Analyst 分析工具, 对采样点各种土壤养分基础数据进行处理, 形成栅格形式的专题数据层<sup>[6]</sup>; 使用 SPSS 软件统计分析采样点养分数据, 建立养分评价模型和施肥

收稿日期: 2006-10-10 修订日期: 2007-06-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划, 2006CB701303)

作者简介: 朱红春(1977-), 男, 山东泰安人, 博士研究生, 主要从事 GIS 与遥感技术的应用与开发的科学与科研工作。青岛 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 266510。Email: hongchun@sdust.edu.cn

专家建议模型;最后在 VB 环境下基于 GIS 组件开发施肥专家系统,以用于施肥建议的模型化计算及其结果的图形化输出。

## 2 土壤养分的 GIS 空间分异特征分析与评价

### 2.1 土壤养分数据的采集

本研究对试验区土壤采用 Garmin 公司的 GPSM ap 76 进行采样定位,采用网格法采样,兼顾代表性和均匀性,遵循土壤取样的一般原则,做到每 10 km<sup>2</sup> 至少有 1 个采样点,使不同土壤类型和地貌类型区都有采样点分布;在 0~ 40 cm 深度取样,每个采样点周围各选取 15~ 30 个点的土样,进行混合后采用四分法取土,一个土样 500~ 1000 g,同时调查其相应的施肥、产量等情况。取样时间是 2004 年 9 月下旬至 10 月上旬,共 117 个样点,其中,格网采样点 70 个;增加典型猕猴桃园样点 26 个和不同土属样点 21 个。将 GPS 测到的带

有坐标记录的采样点利用 GIS 软件 ArcGIS 9.0 转为具有空间坐标的空间点,并进行投影转换。样点分布如图 1 所示。本研究测定项目为土壤养分,采用统一分析和标准土样控制质量,确保数据的准确性和可靠性。取土装袋并挂记标签,自然风干后挑去杂物过 1 mm 筛。所得到的部分采样点的养分数据如表 1 所列。

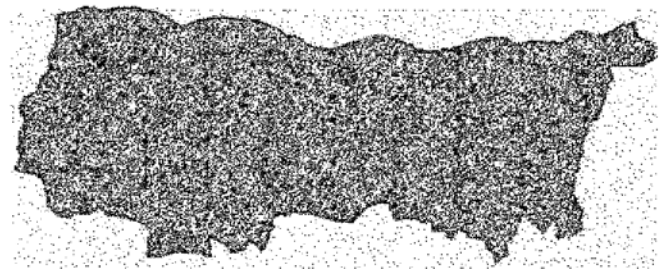


图 1 试验区采样点分布图

Fig. 1 Distribution of test point

表 1 部分采样点地理坐标及土壤养分值

Table 1 Partial sampling geographic coordinates and soil nutrient values

采样点 序号	采样点坐标 (经纬度)	速效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	速效钾 /mg · kg <sup>-1</sup>	有效硼 /mg · kg <sup>-1</sup>	有效锌 /mg · kg <sup>-1</sup>	有效铁 /mg · kg <sup>-1</sup>	有效铜 /mg · kg <sup>-1</sup>	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	碱解氮 /mg · kg <sup>-1</sup>	有效锰 /mg · kg <sup>-1</sup>
1	108. 04°E, 34. 14°N	8. 653346	59. 000000	0. 098899	0. 20	4. 66	0. 65	12. 291011	40. 940178	1. 56
2	108. 15°E, 34. 17°N	14. 126950	196. 814900	0. 163507	0. 37	4. 68	0. 99	16. 194120	63. 474825	2. 67
3	108. 18°E, 34. 07°N	11. 525000	66. 609420	0. 082588	0. 24	9. 74	0. 89	18. 457861	46. 521108	2. 94
4	108. 15°E, 34. 09°N	12. 125950	54. 152590	0. 134458	0. 24	16. 14	1. 13	14. 047647	61. 487743	5. 67
5	108. 09°E, 34. 19°N	9. 860558	83. 599410	0. 130582	0. 37	5. 47	0. 79	11. 883974	48. 278012	2. 10
6	108. 18°E, 34. 15°N	13. 695970	88. 331750	0. 088967	0. 32	3. 66	0. 90	14. 313988	46. 882173	2. 23
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

### 2.2 养分数据的空间变异分析和栅格一体化处理

土壤类型、地形、母质以及种植制度、耕作措施等各种因素通常造成土壤养分在不同方向、不同尺度的空间

变异<sup>[3]</sup>。为了进一步探明研究区土壤养分沿不同方向的空间变异特征,分别计算了与养分空间变异相关的统计值,如表 2 左所示。

表 2 不同养分空间变异统计值及 Kriging 插值模型比较

Table 2 Estimated values of different nutrient spatial variation series and the Kriging interpolation model comparison

养分 名称	空间变异相关统计值				名称	Kriging 模型				
	标准差	方差	变异系数	正态性检验		预测误差 均值	均方根 误差	平均预测 标准差	平均 标准差	标准均方差 预测误差
有机质	2. 719601	7. 396231	20. 68756	0. 987114	高斯模型	- 0. 008223	2. 422	2. 418	- 0. 004707	1. 001
碱解氮	9. 06402	844. 7175	42. 42129	0. 820128	指数模型	- 0. 1718	29. 36	25. 29	- 0. 02892	1. 174
有效磷	21. 1144	445. 818	108. 5884	0. 699658	圆形模型	- 0. 2325	21. 94	22. 19	- 0. 09625	1. 183
有效钾	77. 78629	6050. 707	76. 19084	0. 751432	指数模型	0. 09364	73. 84	74. 55	- 0. 1077	1. 205
有效铜	0. 381439	0. 145496	33. 66149	0. 971932	高斯模型	0. 005159	0. 3351	0. 3508	- 0. 01436	1. 018
有效锌	0. 549053	0. 301459	117. 3962	0. 463854	指数模型	0. 001654	0. 2435	0. 2265	- 0. 04893	1. 131
有效铁	5. 173938	26. 76963	58. 94704	0. 818073	指数模型	0. 001441	3. 664	3. 736	- 0. 0264	0. 9774
有效锰	1. 633178	2. 667269	58. 71671	0. 845494	指数模型	0. 005421	1. 265	1. 152	0. 01772	0. 9874
有效硼	0. 040962	0. 001678	24. 20457	0. 963902	指数模型	- 0. 002268	0. 03612	0. 03648	- 0. 05754	0. 99

获得连续空间分布数据是进行土壤养分分析的基本要求,而在实际工作中由于各种条件的限制,导致采样点数量是有限的,要得到整个研究区相对连续的数据

就必须根据已有采样点对该区域进行插值<sup>[7]</sup>。Kriging 内插方法在地质、气象、土壤等领域得到广泛应用,对空间分布具有随机性的变量的插值计算具有独特的优点。

已有的研究表明,对土壤数据进行空间插值,采用 Kriging 法插值的空间预测结果较好<sup>[8-12]</sup>。本研究需要根据研究区内 117 个样点的土壤养分数据值推算研究区内其它点的数据值,对采样点所有养分数据利用 Histogram 和 QQPlot 方法进行正态分布检验(初始正态分布系数如表 2 左所列),剔除影响正态分布的可疑点数据,直到符合正态分布状态。运用 Kriging 插值方法,通过各拟合参数的比较和 Cross Validation 交叉验证<sup>[13-16]</sup>,选择合适的 Kriging 插值模型进行内插运算,生成试验区土壤养分栅格图。各种养分对应的插值模型名称及精度参数如表 2 右所示。通过内插计算,在试验区形成栅格尺寸为 1.44 hm<sup>2</sup>(120 m × 120 m),栅格阵列为 500 × 206,其中有效栅格点共 69749 个,基本满足了养分分析的空间分辨率精度的要求<sup>[15,16]</sup>。

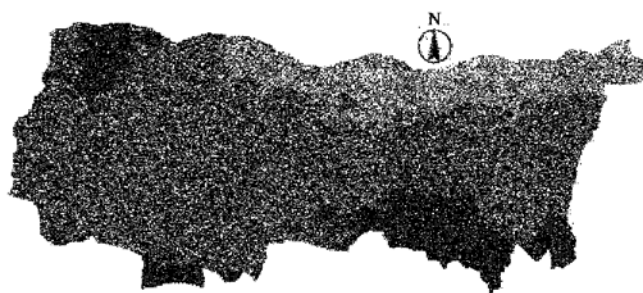
### 2.3 土壤养分的综合评价模型和适宜性等级划分

利用数理统计方法,以采样点的产量数据为目标值,对其与 9 种养分变量的数量关系进行拟合分析,获得最高产量下的各种土壤养分综合评价模型<sup>[17]</sup>。为了获得最佳的产量与肥料之间的关系模型,该模型应用主成份分析方法,通过逐步增加变量个数和主成份个数,依次确定各变量的综合主成份值方程,进而寻求最佳模型。将原始肥料数据代入对应的主成份值方程,进而求得各样点不同肥料影响下的主成份值,对各主成份值逐个与原始产量进行相关分析,相关系数最大的为最优主成份值方程。经计算发现  $E$  方程值与猕猴桃原始产量的相关系数最大,故确定  $E$  方程为猕猴桃果树的土壤养分综合评价模型。

$$E = 2.19Fe + 1.62Zn + 1.58Cu + 0.69P + 0.19K + 1.95B + 1.56Mn + 1.28OM + 0.69N \quad (1)$$

式中  $E$ ——试验区土壤养分综合评价值;  $Fe, Zn, Cu, K, B, Mn, OM, N$ ——分别为土壤有效铁、有效锌、有效铜、有效钾、有效硼、有效锰、有机质和碱解氮的含量,其中有机质含量的单位为 g/kg,其他各养分含量的单位均为 mg/kg。

土壤各养分数据图层按照式(1)土壤养分综合评价模型  $E$  方程进行栅格图层叠加运算,得出周至县猕猴桃适生区内土壤养分综合评价结果,其栅格图形值为土壤养分综合评价计算值。为了便于显示和反映养分等级,对栅格值进行了分级,分级标准采用统计分位数法结合在试验区依据实际产量确定的专家经验值,确立了土壤养分分级评价指标体系。具体的评价结果和分级标准如图 2 所示,其中分级标准数值为各土壤养分利用  $E$  方程计算结果。



图例	分级标准	养分等级	面积/hm <sup>2</sup>	占研究区总面积百分比/%
	≥ 229.546	极高	444.12	0.57
	141.476~229.546	较高	10137.06	13.09
	109.7315~141.476	中上	54171.66	69.95
	90.71988~109.7315	中下	11096.37	14.33
	71.61348~90.71988	较低	991.5	1.28
	<71.61348	极低	600.67	0.78

图 2 土壤养分综合评价图

Fig. 2 Soil nutrient comprehensive evaluation graph

### 3 产量肥料模型的构建及施肥建议分析

施肥模型的构建是以养分综合评价模型  $E$  方程为基础,通过数理统计方法分别得出自然状态下现有产量与肥料关系模型,目标产量(即现有养分条件下的最高产量值)与养分关系模型,以及几种主要养分的施肥建议模型,并应用于试验区。

#### 3.1 现有产量与肥料关系模型的构建

将  $E$  值作为自变量,原始产量为因变量,进行线性回归分析,回归方程通过显著性检验(表 3),则该回归方程为最终产量—肥料关系模型,回归方程为

$$Y = (1566.36 + 6.68E) \times 15 \quad (2)$$

式中  $Y$ ——现有肥力下可实现的猕猴桃产量, kg/hm<sup>2</sup>;  $E$ ——土壤养分综合评价值。

表 3 回归方程的显著性检验表

Table 3 Statistical parameters of regression equation					
	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
回归分析	1	3185534	3185534	5.251438	0.031869
残差	22	13345249	606602.2		
总计	23	16530783			

#### 3.2 目标产量与养分关系模型的构建

以理论的目标产量为自变量,统计回归出和现有肥力的线性方程,如下式所示。

$$M = (1879.63 + 17.59Fe + 12.98Zn + 12.71Cu + 5.53P + 1.53K + 15.63B + 12.47Mn + 10.26OM + 5.57N) \times 15 \quad (3)$$

式中  $M$ ——土壤现有肥力状态下提出的目标产量, kg/hm<sup>2</sup>;  $Fe, Zn, Cu, K, B, Mn, OM, N$ ——分别为土壤

有效铁、有效锌、有效铜、有效钾、有效硼、有效锰、有机质、碱解氮的含量, 其中有机质含量的单位为 g/kg, 其他各养分含量的单位均为 mg/kg。

### 3.3 施肥建议模型的构建与应用

#### 1) 施肥建议模型构建

几种主要养分的施肥建议模型如下所示(单位: kg/hm<sup>2</sup>)。

$$\text{纯氮}(N) = \left[ \frac{3 \times M}{100} - \frac{0.5 \times N \times 0.15}{100} \right] \times 3 \quad (4)$$

$$\text{纯五氧化二磷}(P_2O_5) = \left[ \frac{3 \times M}{100} - \frac{0.5 \times N \times 0.15}{100} \right] \times 3 \quad (5)$$

$$\text{纯氧化钾}(K_2O) = \left[ \frac{3 \times M}{100} - \frac{0.5 \times N \times 0.15}{100} \right] \times 3 \quad (6)$$

$$\text{有机肥} = INT \left[ \frac{M}{1000} \right] \times 15000 \quad (7)$$

式中  $M$ ——目标产量模型的计算结果;  $N、P、K$ ——各为栅格点处碱解氮、有效磷、有效钾的已知含量;  $INT$ ——取整函数。

#### 2) 施肥建议模型应用

将上述模型运用到基于 VB 开发的应用系统中, 使用专家系统模型, 可以浏览试验区土壤现有肥力条件下的果实产量图、现有肥力条件下提出的目标产量图以及专家推荐的各种养分施肥量图。图 3 显示为系统中纯氧化钾建议施肥量图, 颜色愈深则施肥量越多, 可以查询到每一个栅格元的具体建议施肥量。同时, 运用该系统的专家模型查询工具, 可以查询某一目标地区土壤现有肥力条件下的果实产量、现有肥力条件下提出的目标产量以及各种养分施肥量。

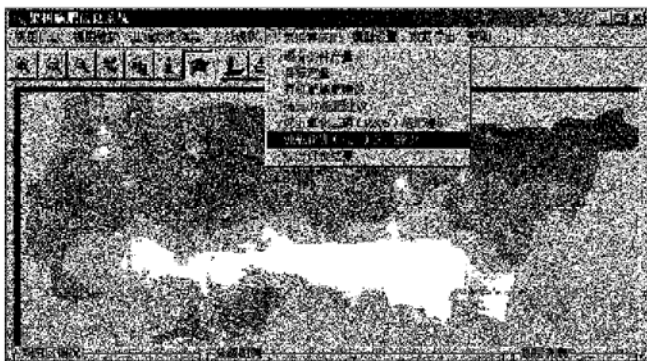


图 3 纯氧化钾施肥建议图

Fig. 3 Suggestion chart of pure potassium oxide application

图 4 所示的查询结果为根据周至县李家村试验区现有土壤肥力进行计算得到的专家估产(图 4 左侧数字)与施肥建议(图 4 右侧数字和下面的文字内容)结

果。将施肥建议模型结果应用于试验区的 20 个样点区, 在 2003~ 2004 年取得了猕猴桃增产的效果, 产量增加近 30%。

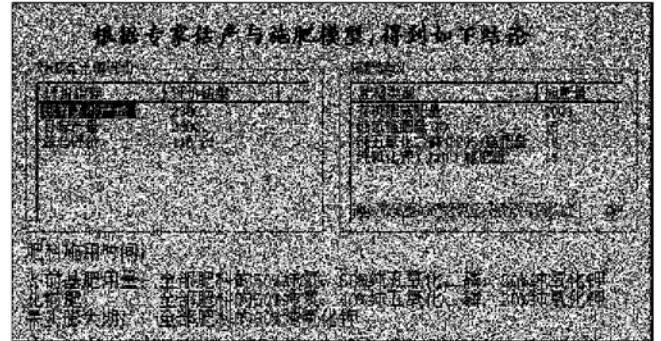


图 4 推荐施肥结论图

Fig. 4 Conclusion chart of recommendation fertilizer application

## 4 结论与讨论

1) 本研究基于 GIS 的栅格内插方法, 利用有限的养分采样点数据, 建立了试验区土壤养分数据的栅格数据模型, 实现了土壤养分数据的 GIS 管理; 利用数理统计的方法, 建立了土壤养分的综合评价模型, 并进行了试验区猕猴桃果树生长的土壤养分综合评价等级划分。

2) 基于试验区的土壤养分、现有果实产量和预期的目标产量数据, 分别建立了现有产量与肥料关系模型、目标产量(即现有养分条件下的最大产量值)与养分关系模型, 以及几种主要养分的施肥建议模型。应用施肥建议模型提高了试验区的猕猴桃产量, 证明模型具有一定的科学性。

3) 猕猴桃果树施肥系统可实现土壤养分数据的一体化管理, 自动完成试验区综合土壤养分等级的划分, 该系统的土壤养分空间差异性分析、专家施肥建议的基本功能(作物估产与施肥建议), 把 GIS 技术应用到农事操作中, 为地方上的农作计划提供科学的依据。同时, 本系统可提高基层农村的农业管理水平, 推广测土配方施肥等先进技术, 具有良好的推广前景, 并将对“数字农业”研究起到积极的推动作用。

4) 在进一步研究中, 需完善猕猴桃种植生产的自然属性数据(如气象、水文等条件数据), 提高施肥精度; 补充相应的社会属性数据, 使经济分析更合理, 达到更好的增产效果。同时注重该方法和系统的普适性研究, 推广到其他果树和农作物的增产实践中。

### [参 考 文 献]

[1] 宋聚省, 吴军彩, 高云峰, 等. 测土施肥势在必行[J]. 农村科技开发, 2000, (6): 21.

- [2] 汤国安, 赵牡丹. 地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 10- 12.
- [3] 华 孟, 王 坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 214- 243.
- [4] 张书慧, 马成林, 吴才聪, 等. 地理信息系统在精确农业变量施肥中的应用[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 92- 95.
- [5] 盛建东, 蒋平安. 基于 GIS 的区域土壤养分管理与作物推荐施肥信息系统研究[J]. 土壤, 2002, (4): 77- 81.
- [6] 党安荣, 贾海峰, 易善楨, 等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurements[J]. Soil Sic, 1998, 163(2): 155- 165.
- [8] 王 珂, 许红卫, 史 舟, 等. 土壤钾素空间变异性和空间插值方法的比较研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(3): 318- 322.
- [9] 庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 605- 614.
- [10] 朱益玲, 刘洪斌, 江希流. 江津市紫色土中 N、P 养分元素区域空间变异性研究[J]. 环境科学, 2004, 25(1): 138- 143.
- [11] 杨俐苹, 金继运, 自由路, 等. 土壤养分综合评价法和平衡施肥技术及其产业化[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(4): 61- 63.
- [12] 石小华, 杨联安, 张 蕾. 土壤速效钾养分含量空间差值方法比较研究[J]. 水土保持学报, 2006, 16(2): 68- 72.
- [13] Caruso C, Quarta F. Interpolation methods comparison [J]. Computers Math, 1998, 35(12): 109- 126.
- [14] Lam N S. Spatial interpolation methods: A review [J]. The American Cartographer, 1983, 10(2): 129- 149.
- [15] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与 Kriging 插值分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 555- 566.
- [16] 李小昱, 雷廷武, 王 为. 农田土壤特性的空间变异性及 Kriging 估值法[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 30- 35.
- [17] 王兴仁. 施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 67- 72.

## Soil nutrient evaluation and recommended model for Chinese gooseberry fertilization based on GIS

Zhu Hongchun<sup>1,2</sup>, Zhang Lei<sup>1</sup>, Liu Haiying<sup>3</sup>, Zhang Jixian<sup>2</sup>

(1. Geo-information Science and Engineering College, Shandong University of Science and Technology,

Qingdao 266510, China; 2. Chinese Academy of Survey and Technology, Beijing 100039, China;

3. College of Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** Based on GIS management of soil nutrient in Zhouzhi County of Shaanxi Province, the distribution model and suitable rank division were obtained by computation. In view of the Chinese gooseberry characteristics, the demanding model has been established. Thus in view of the soil nutrient spatial distribution character the suggestion on the policy-making instruction significance to apply fertilizer was put forward to improve the quality and output of the Chinese gooseberry. On the basis of the model of the fertilizer suggestion, fruit tree fertilization information system was established. This method has realized spatial, visible and systemic management of soil nutrient data under the GIS support, in the greatest degree of realizing continuous nutrient distribution model construction. Visualized output of fertilizer applying suggestion for the different regions can be realized. This method is a beneficial exploration to realize "digital agriculture" and "precision fertilization", which has the certain theory and the practice significance.

**Key words:** GIS; soil nutrient; fertilization; Chinese gooseberry