精准农业土壤采样栅格划分方法的研究*

王　秀　赵春江　孟志军　叶　涛　马智宏　薛绪掌
(国家农业信息技术研究中心, 北京　100089)

摘　要　针对精准农业技术应用的日益普及, 通过对一个地块土壤养分进行详细栅格采样分析, 利用计算机插值的方法对土壤中各种营养元素和微量元素进行了分析。在采样栅格大小不同的条件下, 随机选择 5 个采样点进行插值, 分析了 5 个采样点在不同栅格采样条件下的插值结果。通过插值计算得到土壤中的全氮、速效氮和速效磷随着采样栅格的加大, 插值点处的插值误差呈现出加大的趋势, 但对于速效钾和其他的微量元素则呈现出与之不同的结论, 采样点在田间的分布将直接影响计算机插值计算的分析结果。

关键词　精准农业; 土壤采样; 插值分析
中图分类号　S2　　文献标识码　A

土壤分析是决定地块肥料投入的重要因素。长期以来大家都采用农田随机土壤采样分析, 从而确定土壤养分的均值, 并利用这些确定的养分均值指导农田养分管理。采用均值代表整个农田的土壤养分状况, 按单一施肥量均匀施肥, 在土壤中有效养分低且化肥价格偏低的前提下, 这种均匀施肥方法可以被接受, 因为养分成本投入不是重点考虑的因素。但从 20 世纪 80 年代后期以来, 农业生产投入成本在逐年增加, 投入报酬递减和过量施用化肥农药对环境的影响越来越明显[1]。随着精准农业技术研究的逐渐深入, 特别是农田定位投入技术的研究和应用, 正在改变传统的农田养分管理策略, 采用按需投入的作物管理模式, 即通过研究作物生长环境的空间变异以及根据这种变异和作物的需要进行变量投入的精准农业思想。这样, 既能提高农产品产量和品质, 又能保护环境、节省资源, 获得较好的经济效益。

肥料的变量投入必须进行土壤采样, 依据土壤采样分析的结果得到可以进行变量施肥的施肥处方图。施肥处方图较好地刻划了地块不同位置土壤养分的变异情况, 它的精度可以通过增加土壤的采样密度得到提高。然而对于农民来说, 施肥处方图的精度提高必须与所得到的经济报酬相一致, 如果在获得变量施肥处方图过程中的投入大于实行变量施肥所获得的报酬, 那么他们对增加土壤采样密度会失去兴趣。

多数研究人员证明采用栅格采样对土壤进行测试分析可以得到精确的变量施肥处方图[2,3]。研究证明, 对于多数作物来说采样间隔为 32 m 时得到的处方图比较理想, 采样间隔最大不应超过 90 m。然而近来的研究证明, 地块中每 m^2 内的土壤养分都存在变异[4], 随着采样间距的增大, 地块中不少地方土壤的养分信息将被忽略掉。土壤中不同养分的空间变异也不相同, 利用统一模式对土壤中不同养分进行管理存在很大缺陷, 因此研究不同土壤养分的采样方式对精准农业技术的推广和普及具有重要意义。

在我国, 精准农业技术已经在发达地区开始应用示范, 在科技界和产业界引起了重视。在一些地方的农田土壤普查也已经开始结合应用 GPS 系统进行采样位置的地理定标, 使用计算机技术结合地理信息管理软件对土壤养分实行定点记录与管理。这样经过多年的应用和实践, 可以对该区域土壤养分的变化借助计算机做出科学合理的评价, 增加农田管理决策的科学性。

本文的研究目标是结合我国精准农业技术的应用与实践, 探索在我国目前条件下土壤养分的采样方法, 为其他地方进行土壤栅格采样提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　田间土壤采样及分析方法

研究在北京小汤山国家精准农业示范基地进

* 国家高技术研究发展计划(863) 项目(2003AA209080) 和上海科技攻关项目(03dz19302) 资助
作者简介: 王　秀(1965~), 男, 河北万全人, 博士, 主要从事精准农业技术的研究工作。E-mail: xiuwang@263.net
收稿日期: 2004-03-19; 收到修改稿日期: 2004-07-20

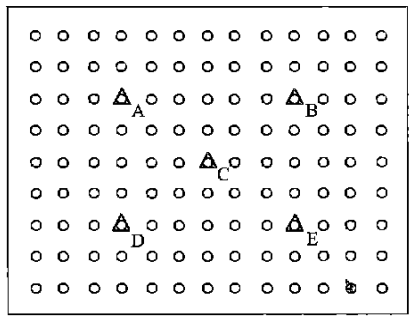
行, 地块面积约 0.06 km^2, 土壤为壤土。土壤采样利用全球卫星差分定位系统(DGPS) 辅助采样, 采样前根据地块已有地理坐标生成 20 m × 20 m 的土壤栅格, 共设计 117(13 × 9) 个采样点, 它们都位于采样栅格的中心, 采样软件帮助采样人员到达预定的采样点, 在采样点处计算机发出报警提示采样人员进行采样。采样深度为 20 cm, 在每个采样点的采样中心及其 2 m 的范围内共计采取 6 个土壤样品, 随后把6 个土壤样品充分混合和样品编号, 作为该点的采样样品, 利用采样导航计算机记录样品编号及位置坐标, 获得的所有采样品自然风干后进行实验室分析。每个土壤样品分析指标包括土壤全氮、速效氮、速效钾、速效磷、铁、锰、铜和锌的含量。

土壤中全氮的测定方法见文献[5]。土壤中硝态氮的测定采用酚二磺酸比色法, 土壤中速效钾的测定是采用原子吸收分光光度法, 处理中首先称风干土样(过 1 mm 筛) 2.00g 于 100 ml 塑料瓶或 150 ml 三角瓶中, 加 1 mol L^{-1} NH_4OAc 溶液 20.0 ml(液土质量比为 10∶1), 用橡皮塞塞紧, 在 20~25 ℃下振荡 30 min 过滤, 滤液即可直接在仪器上测定。土壤中速效磷的测定是采用碳酸氢钠浸提-钼提抗比色法。微量元素铜、锌、锰、铁元素采用原子吸收分光光度法测定, 样品的处理方法是把通过 1 mm 筛孔的土样 20 g 放置于 150 ml 三角瓶中, 加入 DTPA 浸提剂 50.0 ml, 在 20~25 ℃温度下振荡 2 h(180 r min^{-1}) 后, 立即过滤, 通过在原子吸收分光光度计上测定吸收值工作曲线后进行直接测量。

1.2 数据处理

分析得到的各个栅格点处土壤养分数据使用 ArcView 地理信息系统处理软件进行分析, 采样栅格插值分析的尺度分别为 20 m、40 m 和 80 m。在对不同采样尺度分析过程中, 将图 1 中所示 A、B、C、D、E 共5 个点的测试数据都剔除出去, 然后把得到的插值分析数据与该点实际分析数据进行对比。选择上述5 点数据作为对比的原因是过去传统取样时总是把上述5 个点的采样数据平均值作为该地块的土壤养分数据对整个地块进行施肥管理。当对 20 m 采样栅格数据分析时, 112 个采样点数据进行插值分析; 当对 40 m 和 80 m 采样点数据进行分析时, 则是只取栅格 40 m 交点处(35 点) 和 80 m 交点处(9 点) 数据插值分析, 各个点在地块的具体位置见图 1 所示。

数据插值分析采用 ESRI 公司的 ArcView 地理信息系统软件中的距离反比(IDW) 法, 插值栅格的尺度为 2 m。



○采样数据点 Sampling points △数据移出点 Data shiftout points

○采样数据点 Sampling points △数据移出点 Data shiftout points

图 1 土壤养分采集点田间分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling points

2 结果与分析

2.1 整个采样地块的土壤养分分布

整个地块采集得到的 117 个土壤养分数据的统计分析结果见表 1。从表中的数值可以看出土壤中的各种养分的最大值和最小值的差异比较大, 其中速效磷的差异尤为明显, 最大含量值是最小含量值的 5.5 倍, 其他养分含量和微量元素的差异均已超过或接近 100%。因此若按照常规的均匀施肥方式对地块进行均匀施肥, 很容易在养分含量高的地方造成肥料的过量投入, 而若按照养分高的地方施肥又会在养分低的地方造成肥料的投入不足。所以按照变量处方施肥, 在土壤养分高的地方少施肥, 而在土壤养分高的地方多施肥, 就会减少肥料的无效损耗。

2.2 取样栅格 20 m 时插值结果分析

表 2 列出了土壤中不同养分和微量元素在数据移出点处的分析数值。在这些点处的土壤全氮的数量值差异不大, 最大值较最小值高 15.4%, 在 B、E 两点处土壤的全氮高于整个地块养分的平均值, 而有另外三点处的值要等于或低于该平均值。表 3 列出了取样栅格为 20 m 时数据移出点处计算机插值得到的该点土壤养分值。从表中的数值可以看出, 全氮除样点 B 和样点 E 处的数值降低外其他三点插值得到的养分值均高于实际测定值。养分变化误差最大的点是数据点 C, 其值为 5.4%。误差最小点为 B, 其误差仅为 1%。其他三点的误差均小于 3%。造成这种现象的原因是 B 点和 E 点处的养分值较高, 而 B 点下部的养分值和 D 点上部土壤的养分值均要低, 因此通过计算机插值时这些点处的插

表 1　土壤栅格采样养分结果统计分析

Table 1　Statistics of nutrition at sampling points

项目 Items	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
平均值 Mean	0.97	85.32	11.71	93.88	10.95	7.47	2.05	1.19
标准差 Std.	0.068	9.29	4.19	15.63	1.35	1.67	0.27	0.27
最大值 Max.	1.14	106.9	28.8	141.6	15.21	13.88	2.94	1.92
最小值 Min.	0.79	63.82	5.18	50.80	8.70	4.23	1.49	0.65
变异系数 C.V.(%)	7.01	10.89	35.78	16.65	12.33	22.36	13.17	22.69

表 2　插值点处取样分析结果

Table 2　Analytical values of nutrients in soils at the interpolation points

样点 Point	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
A	0.88	77.53	8.02	84.80	11.26	8.00	2.05	0.97
B	0.99	86.03	12.61	84.22	10.55	8.23	2.28	1.55
C	0.92	93.05	6.27	85.55	9.99	5.90	1.98	1.07
D	0.97	95.56	8.39	96.85	12.75	9.38	2.34	1.17
E	1.04	93.99	14.36	105.8	11.85	2.34	2.16	1.43

表 3　插值栅格为 **20 m** 时的插值结果

Table 3　Interpolation results of 20-meter grids

样点 Point	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
A	0.90	78.46	9.57	88.24	10.98	6.65	1.09	0.97
B	0.98	88.81	12.44	89.89	11.14	7.45	2.03	1.19
C	0.97	80.93	9.17	102.7	10.77	6.26	1.98	1.02
D	0.99	91.05	12.52	87.10	12.52	7.91	2.19	1.38
E	1.01	91.70	12.26	87.90	11.07	8.07	2.15	1.23

值结果低于其实际测试结果。

在所有插值的有关土壤养分中, 误差最大的点是土壤在 D 点处的速效磷的含量, 误差达到 49%, 这是因为在 D 点处土壤速效磷的含量要明显低于整个地块速效磷含量的平均值, 因此在插值过程中附近速效磷含量高的点通过加权处理后要明显地提高该点处的速效磷含量值。

2.3　取样栅格 40 m 时插值结果分析

表 4 列出了取样栅格为 40 m 时数据取出点各点处的计算机插值结果。从表 4 的数值可以看出, 在各个插值点处的全氮插值结果和这些点处实际的土壤分析结果相差不大; 速效氮的插值误差呈现出增大的趋势, 误差最大点在点 C 处, 误差约 15%。从插值后的土壤分布图 2 可以看出, 在该点处土壤的养分含量值要明显低于左侧土壤的养分含量值, 这样数据经过计算机插值后, 插值的结果会大于实际的土壤分析值。在所有的插值结果中误差最大值是点 C 处速效磷的含量值, 误差达 70.3%, 在该点处土壤速效磷的含量要明显低于周围其他邻近点处的土壤速效磷含量值。

表 4 插值栅格为 40 m 时的插值结果

Table 4 Interpolation results of 40-meter grids

样点 Point	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
A	0.92	76.12	9.12	94.80	10.41	5.73	1.83	0.96
B	0.91	80.07	10.59	94.90	11.98	7.85	1.87	1.05
C	0.94	79.21	10.68	84.28	11.17	6.75	1.97	1.03
D	0.98	88.81	12.26	85.91	11.17	7.73	2.15	1.32
E	1.03	89.03	14.98	90.43	11.27	7.53	2.18	1.15

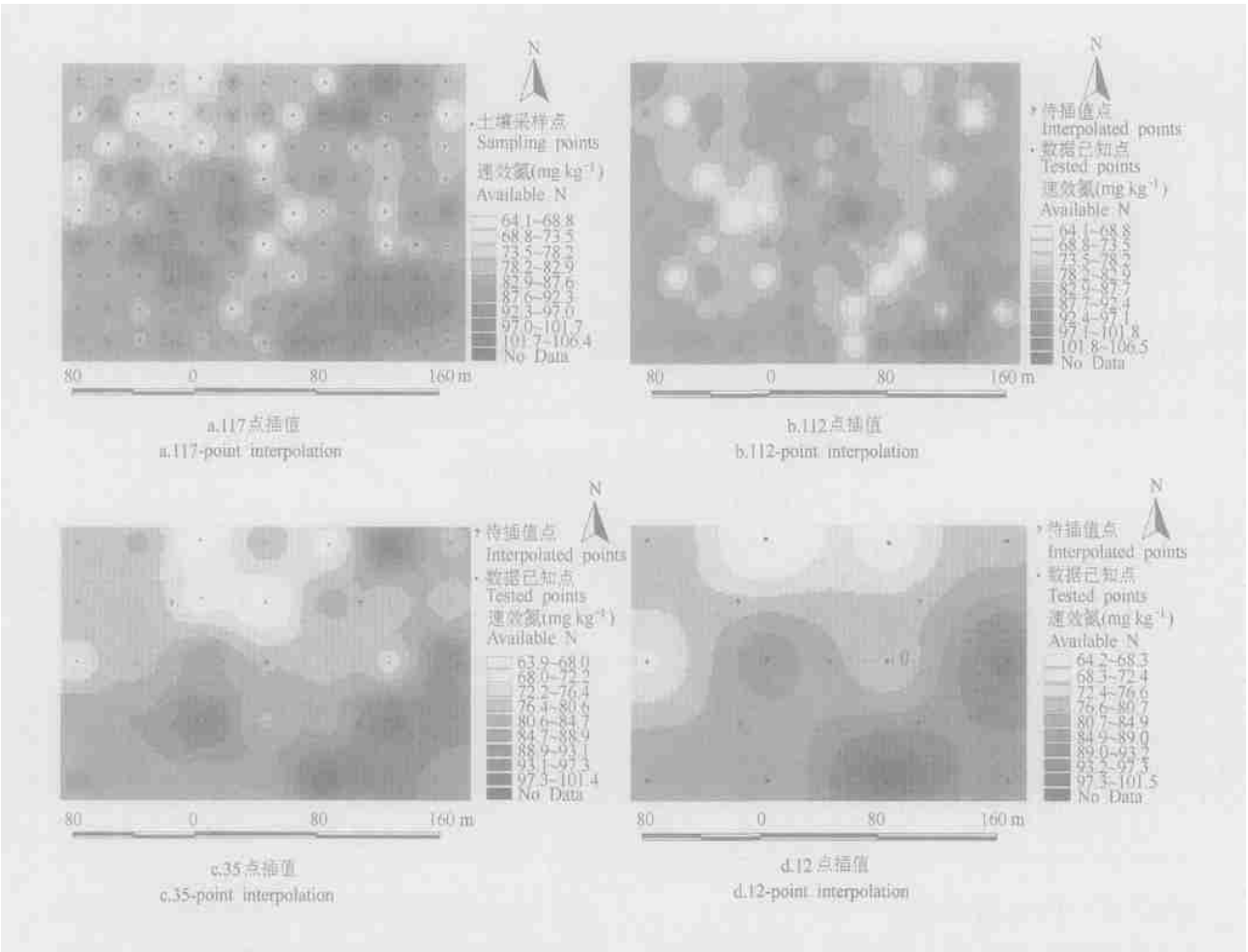


图 2 不同栅格尺度土壤速效氮插值图

Fig. 2 Interpolation of plant available nitrogen by grids different in scales

2.4 取样栅格 80 m 时插值结果分析

表 5 列出了取样栅格为 80 m 时数据取出点各处的计算机插值结果。从表 5 的数据可以看出, C 点速效磷的插值误差进步加大, 与土壤分析结果相比误差达到 81%。在这些所有的插值点中, 与取样栅格为 20 m 相比, 在所有插值结果中共有 27 个养分插值结果要大于采样栅格为 20 m 时的插值结果值; 若与采样栅格为 40 m 的采样栅格相比, 仍有 20 个点的养分插值结果要大于 40 m 时的插值结果, 总体的趋势是养分插值的误差呈现出增大的趋势。

随着采样栅格距离的加大, 土壤中养分含量高的点被相继地忽略掉见图3, 该土壤速效钾的分布

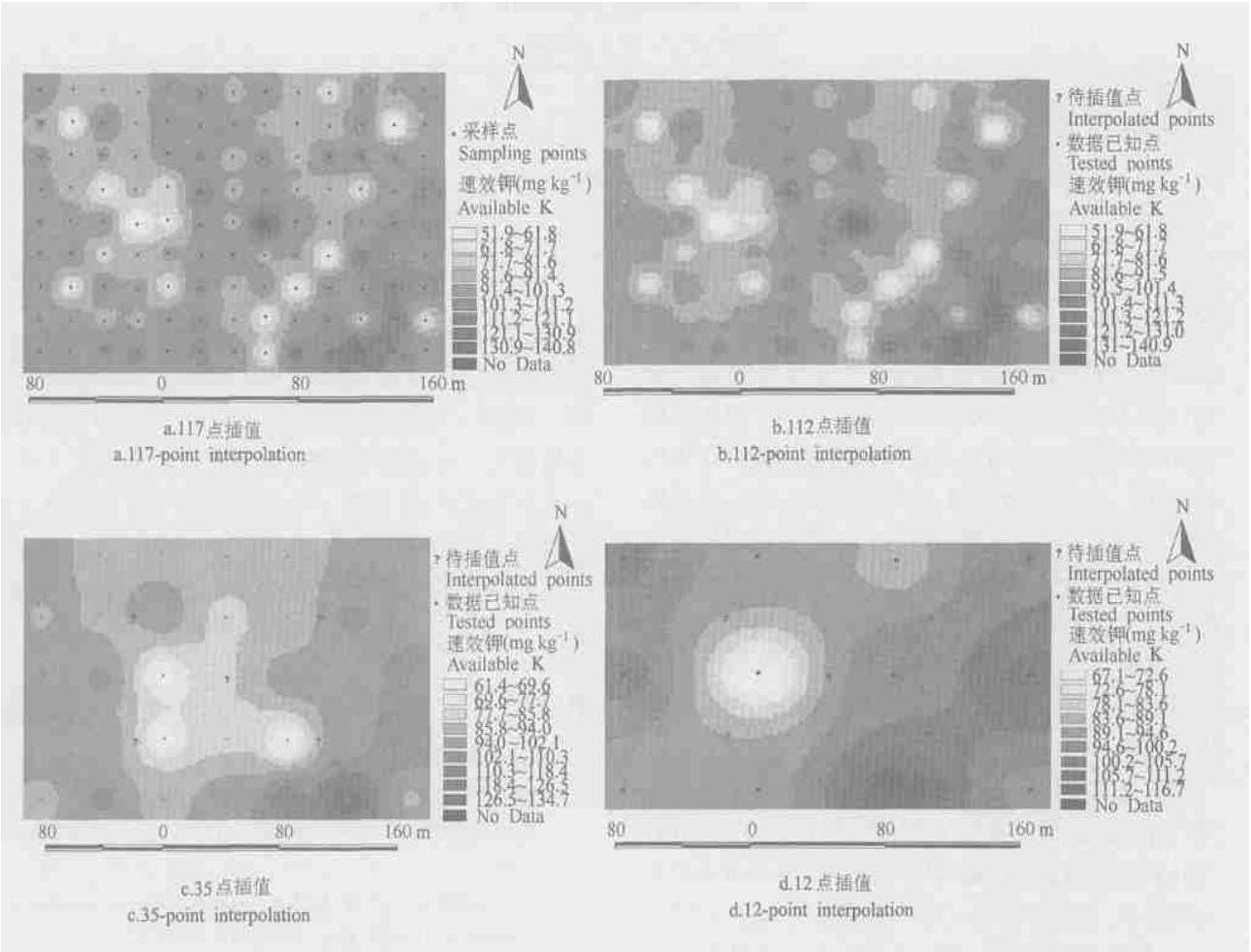


图 3　不同栅格尺度土壤速效钾插值图

Fig. 3　Interpolation of plant available potassium by grids different in scales

当采样栅格从 20 m 至 80 m 变化时, 图中左下部养分高的信息被逐渐地忽略掉, 整个地块的土壤插值误差随着采样栅格距离的增大呈现出加大的趋势。

2.5　采样栅格大小发生变化插值误差对比

表6 列出了土壤中每种养分及微量元素在各点的插值误差, 从表中数值可以看出对于全氮、速效氮和速效磷来说随着采样栅格距离的加大, 插值点处的误差也加大, 而对于速效钾及其他微量元素来说则并没有呈现出与之相似的规律, 采样栅格从 20 m 变化为 40 m 时, 5 个插值点处的插值误差的平均值增加, 而当采样栅格从 40 m 增加到 80 m 时, 插值误差却减小。这些变化可以从图2a~ d的分析可以

表 **5**　插值栅格为 **80m** 时的插值结果

Table 5　Interpolation results of 80-meter grids

样点 Point	全氮 Total N (g kg⁻¹)	速效氮 Available N (mg kg⁻¹)	速效磷 Available P (mg kg⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg⁻¹)	Fe (mg kg⁻¹)	Mn (mg kg⁻¹)	Cu (mg kg⁻¹)	Zn (mg kg⁻¹)
A	0.93	77.89	11.76	88.77	10.63	6.22	2.15	1.05
B	0.96	78.95	11.11	95.17	11.51	8.02	2.03	1.07
C	0.95	82.19	11.35	90.57	11.11	7.08	2.15	1.05
D	0.95	82.90	13.10	83.95	10.98	6.17	2.41	1.14
E	0.99	87.57	13.05	102.0	11.79	8.20	2.06	1.20

表6 不同栅格插值结果误差平均对比

Table 6 Mean error of interpolation (%)

插值栅格 Grids scale	全氮 Total N	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	Fe	Mn	Cu	Zn
20 m	2.7	4.5	26.2	11.6	4.9	13.5	5.0	11.9
40 m	3.4	7.2	29.5	10.4	10.0	20.0	7.7	13.9
80 m	3.8	8.1	41.0	7.0	8.1	19.4	6.4	12.0

看出产生这种情况的具体原因。在图2a和图2b的中部从上至下有一条土壤速效钾含量比较高的地带,当采样插值栅格从20 m变为40 m时,中间这条养分比较高的地带通过从周围附近养分较低点进行插值计算;速效钾含量较高的地带通过插值,插值得到的结果值与实际分析得到的数值产生了较大的误差。当采样栅格由40 m变化为80 m时由于插值点附近的速效钾含量较高,这样附近点对插值点插值结果的提高产生了帮助,因而插值的误差要较40 m时产生的误差小。对于微量元素锰、铁、铜和锌呈现出与之相同的规律。

因此土壤中的各种营养元素含量通过栅格采样进行计算机插值分析的方法,插值结果并不是所有的元素都是随着插值栅格距离的加大呈现出误差加大的趋势,各种元素在土壤中的分布规律也不完全相同,因此对于各种元素应针对实际应用条件进行具体问题具体分析,确定最佳的土壤采样方法。

3 结 论

从上面的分析可以看出利用栅格采样方法对土壤进行采样,通常来说采样栅格距离越小,插值得到的地块养分分布图越精准,但对于一些特定的采样点来说并不是完全随着采样栅格的距离加大,而得到的采样误差越大,这必须考虑到整个地块大致的土壤养分分布情况,根据整个地块的土壤养分分布情况科学设计采样点,这样插值得到的整个地块的养分分布图才可以更加准确地反映整个地块的土壤养分情况。

在现实生产中不可能像进行科学研究一样对整个地块进行详细的土壤采样,得到整个地块的土壤养分分布图。因此随着精准农业有关配套技术的发展,在进行具体的土壤采样方案制定时,可以结合联合收割机计产数据记录系统收集的粮食产量图数据,通过对产量图数据的分析,对整个地块的养分分布情况有一个大致的了解,从而在地块内确定合适的采样数据点,然后通过计算机插值分析得到整个地块的土壤养分分布图,利用该图对整个地块进行土壤养分管理,提高土壤养分的管理精度和管理效率。

参 考 文 献

[1] 朱海舟,陈培森. 土壤测试技术与配方施肥. 北京:科学出版社,1993. Zhu H Z, Chen P S. Soil Test Techniques and Prescription Fertilizer Application (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993

[2] Franzen D W, Peck T R. Field soil sampling density for variable rate fertilization. J. Prod. Agric., 1995, 8: 568~574

[3] Wollennhaupt N C, Wolkowski R P, Clayton M K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable rate fertilizer application. J. Prod. Agric., 1994, 7: 441~448

[4] William R R., Gorden V J. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J., 1999, 91: 357~363

[5] 中国标准出版社编著. 中国农业标准汇编. 土壤肥料卷. 中国标准出版社,1998. Collection of China Agricultural Standards. Soil Fertilizer Volume (In Chinese). China Standard Press, 1998

[6] 周慧珍,龚子同,Lamp L. 土壤空间变异性研究. 土壤学报,1996, 33(3): 232~241. Zhou H Z, Gong Z T, Lamp L. Study on soil spatial variability (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 232~241

[7] 刘付程,史学正,于东升,等. 基于地统计学和GIS的太湖典型地区土壤属性制图研究——以土壤全氮制图为例. 土壤学报,2004, 41(1): 20~27. Liu F C, Shi X Z, Yu D S, *et al*. Mapping soil properties of the typical area of Taihu Lake watershed by geostatistics and geographic information systems-A case study of total nitrogen in topsoil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1): 20~27

FIELD SOIL SAMPLING GRIDS FOR PRECISION AGRICULTURE

Wang Xiu　Zhao Chunjiang　Meng Zhijun　Ye Tao　Ma Zhihong　Xue Xuzhang

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing　100089, China)

Abstract　The technique of Precision Agriculture (PA) has widely been extended at present. Soil sampling by grids is a very important way for nutrient management in PA. The methods of computer-based interpolation was used for analysis of soil nutrients and performanced at five randomly selected soil sampling points. Results were compared between interpolation and actual measurement by grids difference in scales. The interpolation errors of total nitrogen, plant available nitrogen, and plant available phosphorus increased with the size of sampling grids. But those of potassium and other micronutrients showed a reserve trend. The distribution of soil sampling points had a direct effect on interpolation results.

Key words　Precision agriculture; Soil sampling; Interpolation