

# 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究\*

黄绍文 金继运 杨俐苹 程明芳

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

**摘要** 采用传统统计和地统计相结合的方法, 对面积约 470 km<sup>2</sup> 的玉田县粮田耕层土壤养分进行了空间变异特征与分区管理技术研究。结果表明, 土壤 N、P、K、Mn 和 Zn 普遍缺乏, 不同土壤养分的变异情况各不相同; 土壤主要养分 N、P、K、Mn 和 Zn 含量的最大相关距离分别为 27.1、19.7、27.1、14.4 和 26.4 km, 基本趋于以大块状变异为主, 这一基本趋势对土壤养分分区管理是有利的; 土壤养分速效含量呈现较明显的空间分布格局, 对土壤主要养分 N、P、K、Mn 和 Zn 可分别分成 2、3、3、3 和 2 个养分分区, 因而对这 5 个土壤养分进行分区管理可行; 作物高产优质分区平衡施肥技术在小麦和玉米上使产量分别增加 10.9%~13.1% 和 14.3%~21.7%, 使经济效益分别提高 590~747 和 724~1343 RMB Yuan hm<sup>-2</sup>。

**关键词** 土壤养分, 空间变异, 分区管理

**中图分类号** S158.3

管理好土壤养分, 用好肥料, 尤其是化肥, 是关系到我国农业可持续发展的重大技术问题。这个问题的重要性和紧迫性随着农业生产的发展和化肥施用量的增加而显得越来越突出。从我国整体平衡施肥工作来看, 目前存在如下几个问题: (1) 在我国当前大部分农村农民文化水平低, 耕作经营分散、单元地块面积狭小、专业化程度低的情况下, 平衡施肥技术没有条件深入到一家一户<sup>[1~4]</sup>, 以致于我国测土推荐平衡施肥技术仍未真正实现; (2) 对土壤养分状况及其变异情况缺乏全面系统的了解, 因而尚未形成适合我国小规模分散经营体制下的测土推荐平衡施肥技术; (3) 近年来, 国际上发达国家利用 GIS 等先进技术来研究土壤养分管理已成为土壤科学研究的热点之一<sup>[5,6]</sup>, 国内也有一些研究者应用 GIS 等先进技术从事了较大范围内有关该方面的工作<sup>[7~9]</sup>, 但总的来说, 目前采用 GIS 等先进技术研究较大范围内土壤养分管理方面的报道仍然较少, 尤其是把土壤养分空间变异与推荐施肥结合起来的研究罕见报道, 因而未能充分利用已有的大量研究资料以发挥其作用, 以致于施肥上存在很大盲目性。

目前的研究结果表明, 成土母质<sup>[10,11]</sup>、地形<sup>[12~16]</sup>、人类活动<sup>[17~19]</sup> 等对土壤养分空间变异均有较大影响, 但在特定区域内, 由于气候条件等比较一致, 经过长期比较一致的种植和管理后, 土壤特性空间变异将趋于缓和, 即由于母质差异等引起的空间变异逐渐减小<sup>[20]</sup>, 可形成表面上大致一致的区域。我国虽然经过多年的分散经营, 但对于平原地区的粮食地块而言, 13.3~20.0 hm<sup>2</sup> 小范围内的养分变异是较小的, 可把 13.3~20.0 hm<sup>2</sup> 的地块当作 1 个养分分区来进行管理<sup>(1)</sup>。上述结果说明在较大范围内进行土壤养分分区管理是可行的。

鉴于我国当前土壤养分管理现状, 有必要应用 GIS 等先进技术研究较大范围内(县级区域)土壤养分的空间变异特征, 探讨县级区域土壤养分分区管理的可行性, 为发展适合我国国情的分区平衡施肥技术提供理论基础。

\* 国家“九五”科技攻关项目(96-004-01-14-1)、国家重点基础研究发展规划项目(G1999011811)资助, 在农业部植物营养学重点开放实验室完成

(1) 杨俐苹. 不同地形及种植条件下土壤养分变异及合理取样研究. 硕士学位论文, 1998

收稿日期: 2000-12-07; 收到修改稿日期: 2001-03-23

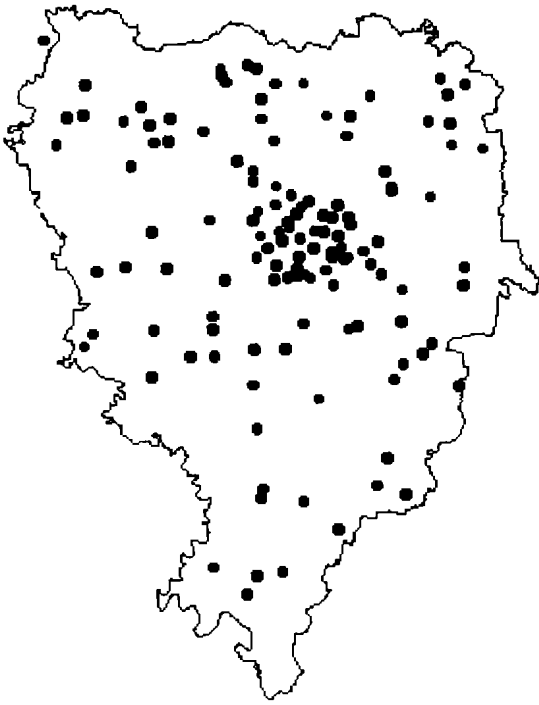


图 1 玉田县土壤样点分布示意图

Fig. 1 A schematic sampling site distribution map of Yutian county

## 1 材料与方法

### 1.1 研究试区的基本情况

在黄淮海平原选择主要农业自然经济类型区河北省玉田县作为本项研究的试区。该县位于东经  $117^{\circ}30'$  至  $117^{\circ}56'$ ，北纬  $39^{\circ}33'$  至  $40^{\circ}$  之间。耕地面积  $729 \text{ km}^2$ ，其中小麦、玉米、水稻种植面积分别为  $286$ 、 $432$ 、 $16 \text{ km}^2$ 。地形地貌类型为洪积、冲积平原，地势东北高、中部平原、西南洼。主要土壤类型为潮土和褐土。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候，四季分明，年平均降水量  $693.1 \text{ mm}$ ，年平均气温  $11.2^{\circ}\text{C}$ ，无霜期  $190 \text{ d}$  左右。主产小麦、玉米、水稻、蔬菜、苹果、葡萄等。

### 1.2 土壤样品采集

本研究采用 GIS 定位技术，对河北省玉田县进行定点取样，样点定在有代表性的地块的中心附近，其分布见图 1。取样深度为  $0\sim 20 \text{ cm}$ ，取样时间是 1999 年 3 月下旬至 4 月上旬。具体作法如下：

从玉田县虹桥镇 38 个村的每个村选择 1 个代表性地块，自每个地块上采取 1 个耕层 ( $0\sim 20 \text{ cm}$ ) 土壤样品；从除虹桥镇外的其他 19 个乡 (镇) 的每个乡 (镇) 选择 3~7 个代表性村，在每个村选择 1 个代表性地块，自每个地块上

采取 1 个耕层土壤样品。

### 1.3 土壤样品分析

本项研究是在“土壤养分综合系统评价法与作物高产高效平衡施肥技术”成果的基础上进行的<sup>[21,22]</sup>。该技术的核心是应用联合浸提剂和系列化操作规程，能快速准确测定和全面评价土壤中各种大、中、微量营养元素状况和供应能力，并在此基础上实现保证各种营养元素均衡供应的平衡施肥技术体系。

土壤养分含量分析应用土壤养分状况系统研究法<sup>[23]</sup>。

P、K、Cu、Fe、Mn、Zn 的联合浸提与测定：浸提剂为  $0.25 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3 - 0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ EDTA} - 0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{F}$ ；P 用钼锑抗比色法测定，K、Cu、Fe、Mn、Zn 用原子吸收分光光度计测定。

$\text{NH}_4^+$ -N、Ca、Mg 的联合浸提与测定：浸提剂为  $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ KCl}$  溶液； $\text{NH}_4^+$ -N 用靛酚蓝比色法测定，Ca、Mg 用原子吸收分光光度计测定。

S 的浸提与测定：浸提剂为  $0.08 \text{ mol L}^{-1} \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  溶液，用  $\text{BaCl}_2$  比浊法测定。

有机质(OM)：浸提剂为  $0.2 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH} - 0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ EDTA} - 2\%$  甲醇，比色测定。

pH：水土比为 2.5 1，复合电极测定。

### 1.4 数据处理

本研究的数据分析采用 Fisher 统计学和地统计学相结合的方法，涉及地统计学的主要包括半方差函数、半方差函数模型和 Kriging 插值<sup>[24]</sup>。

**1.4.1 半方差函数及模型** 半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数，反映了不同距离的观测值之间的变化，所谓半方差函数就是两点间差值的方差的一半，即：

$$r(h) = (1/2) v_{\alpha} [Z(x+h) - Z(x)]$$

式中  $r(h)$  为间距为  $h$  的半方差, 在一定范围内随  $h$  的增加而增大, 当测点间距大于最大相关距离时, 该值趋于稳定。

半方差函数模型有球状(Spherical)、高斯(Gaussian)、指数(Exponential)和线性无基台和有基台值(Linear, Linear to sill)等模型。涉及本研究的模型主要是线性有基台值模型, 其数学表达式如下:

$$r(h) = c_0 + ch/a, 0 \leq h \leq a$$

$$r(h) = c_0 + c, h > a$$

式中  $c_0$  表示基底方差(间距为 0 时的半方差),  $c$  为结构方差,  $c_0 + c$  为基台值(半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值),  $a$  为变程(半方差达到基台值的样本间距)。对于球状和线性模型,  $a$  表示观测点之间的最大相关距离, 而高斯模型的最大相关距离为  $(3)^{1/2}a$ , 指数模型的最大相关距离为  $3a$ 。

**1.4.2 Kriging 插值** Kriging 插值是目前地统计学中应用最广泛的最优内插法, 它是利用已知点的数据去估计未知点( $x_0$ )的数值, 其实质是一个实行局部估计的加权平均值:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)$$

式中  $Z(x_0)$  是在未经观测的点  $x_0$  上的内插估计值,  $Z(X_i)$  是在点  $x_0$  附近的若干观测点上获得的实测值。  $\lambda_i$  是考虑了半方差图中表示空间的权重, 所以,  $Z$  值的估计应该是无偏的, 因为:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

估计偏差是最小的, 并可以由下列方程求出:

$$\sigma_{\min}^2 = b^T \begin{vmatrix} \lambda \\ \mu \end{vmatrix}$$

式中  $b$  是被估计点与其他点之间的半方差矩阵,  $b^T$  为矩阵  $b$  的转置矩阵,  $\mu$  为拉格朗日参数。

本研究试区地形东北部高、中部平原、西南洼, 土壤类型处于明显的过渡状态, 它们的变化均是平缓的, 基本符合二阶平稳假设, 可用地统计学方法进行 Kriging 插值等分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粮田土壤养分的变异情况

按照土壤养分综合系统评价法所设定的土壤养分含量临界值指标对土壤养分状况进行了初步评价。表 1 表明, 土壤 N、P、K、Mn 和 Zn 普遍缺乏, 其速效含量低于临界值的土样数占总土样数的百分数分别为 100、75.0、93.6、84.0 和 91.0。此外, 还有 45.1%、20.9%、5.6% 的土样中的 Fe、S 和 Cu 也低于临界值, 对于它们的缺乏也不可忽视。

不同土壤养分的变异情况各不相同, 变异系数在 17.9% ~ 95.7% (表 1)。其中土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、P、Mn、Zn、Fe、S 测试值变异较大, 变异系数在 61.9% ~ 95.7%; OM、Ca、Mg、Cu 次之, 变异系数在 31.1% ~ 50.4%; 土壤 K 测试值变异较小, 变异系数为 17.9%。

土壤氮、磷和钾是目前土壤养分管理中最重要三个元素。粮田区域土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量变异较大, 与施氮量、方法、种类等田间管理措施有关。土壤 P 含量变异较大, 而土壤 K 含量变异较小, 可能有两方面的原因。一是与 P 和 K 在土壤中的化学行为及目前磷和钾肥施用状况有关, 施入土壤中的磷, 因其移动性小、当季利用率低、土壤磷收支平衡一般为盈余等而使磷肥在土壤中残留较多, 导致土壤中 P 分布不均; 而施入土壤中的钾, 因其移动性相对较大、当季利用率较高、土壤钾收支平衡一般为亏缺等而使钾肥在土壤中残留较少(局部地区可能有残留), 致使土壤中钾相对于土壤磷要均匀些。二是与整个粮田区域中不同部位的地形、土壤类型、质地等的地带性特征有关。

由于土壤养分的传统统计分析只能概括土壤养分变化的全貌, 不能反映其局部的变化特征, 即只能在一定程度上反映样本总体, 而不能定量地刻画土壤养分的随机性和结构性、独立性与相关性。为了解决这些问题, 必须进一步采用地统计学方法进行土壤养分空间变异结构的分析和探讨。

表1 粮田土壤速效养分含量( $\text{mg L}^{-1}$ )和OM含量(%)及pH值的统计特征值

Table 1 Statistical feature values of soil properties in the grain crop region

养分项目 Item	含量 Content			变异系数 (%) C. V.	低于临界值 <sup>1)</sup> 的土样数占 总土样数的百分数(%) The percentage of soil samples below the critical value
	范围 Range	均值 Mean	标准差 S.D.		
OM	0.2~ 2.3	1.2	0.4	36.9	
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.0~ 44.1	9.9	6.1	61.9	100
P	1.1~ 61.7	10.3	8.8	85.3	75.0
K	39.1~ 117.3	61.9	11.1	17.9	93.6
Mn	1.0~ 18.4	3.5	2.5	72.8	84.0
Zn	0.4~ 14.8	1.3	1.2	91.2	91.0
Fe	3.3~ 91.2	16.6	14.2	85.8	45.1
S	0.0~ 248.4	36.0	34.5	95.7	20.9
Ca	1302.6~ 8056.1	4515.7	1404.5	31.1	0.0
Mg	258.8~ 1705.9	740.4	337.8	45.6	0.0
Cu	0.7~ 7.7	1.7	0.9	50.4	5.6
pH	5.2~ 8.4	7.6	0.5	7.2	

1) 临界值( $\text{mg L}^{-1}$ ): N为50, P为12, K为78, Mn为5, Zn为2, Fe为10, S为12, Ca为401, Mg为122, Cu为1

## 2.2 粮田土壤养分的空间变异结构

应用地统计学方法,对采用GPS定位技术确定的粮田取样点的土壤速效养分含量及其他属性进行了分析(表2,3)。

表2 不同半方差函数模型的粮田土壤养分空间变异参数比较

Table 2 Parameter values of soil nutrients in the grain crop region in different semi-variogram model

养分 项目 Item	基底方差( $c_0$ ) Nugget variance	基台值 ( $c + c_0$ ) Sill	基底方差/基台值 $c_0/(c + c_0)$ The proportion of nugget variance ( $c_0$ ) to sill	最大相关距离 (km) The limit distance of spatial correlation	模型 Model	模型的检验 F test	
						$R^2$	F
P	10.6	100.0	0.106	25.3	球状	0.849	39.36**
	14.4	99.3	0.145	19.7	线性有基台	0.844	37.87**
Mn	0.01	14.77	0.001	46.2	指数	0.822	32.33**
	0.01	10.81	0.001	14.4	线性有基台	0.811	30.04**
Zn	0.001	2.408	0.000	26.4	线性有基台	0.692	15.73**
	0.001	0.872	0.001	9.6	线性无基台	0.690	15.58**
S	9.0	3128.0	0.003	69.5	高斯	0.908	69.09**
	1.0	2214.0	0.000	27.1	线性有基台	0.869	46.44**

$F_{0.05} = 5.59$ ,  $F_{0.01} = 12.25$

表 2 和表 3 中的最大相关距离表示某土壤养分观测值之间的距离大于该值时, 则说明它们之间是相互独立的; 若小于该值时, 则说明它们之间存在一定的空间相关性。基底方差/基台值( $c_0/(c+c_0)$ )表示空间变异性程度<sup>[24, 25]</sup>, 如果该比值较高, 说明由随机部分引起的空间变异性程度较大; 相反, 则由空间自相关部分引起的空间变异性程度较大; 如果该比值接近 1, 则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异。

**2.2.1 半方差函数模型的选择** 对于同一种土壤养分, 采用不同半方差函数模型分析其空间变异结构, 在决定系数基本相同(模型的拟合度均较高)的情况下, 所获得的土壤养分含量的最大相关距离有较大差异(见表 2), 说明比较不同土壤养分的空间变异结构特征时, 宜采用相同的半方差函数模型。选择半方差函数模型的具体作法是: 对同一土壤养分, 在不同半方差函数模型的决定系数均较大且差异不太大时, 选用有基台线性模型; 在不同半方差函数模型的决定系数均较小时, 也选用有基台线性模型; 而在不同半方差函数模型的决定系数差异较大且有基台线性模型的决定系数又较小时, 选用决定系数较大的模型。本文优先采用有基台线性模型分析土壤养分空间变异结构特征。

**2.2.2 土壤养分的空间变异结构** 表 3 表明, 玉田县粮田区域不同土壤养分速效含量及其他属性的空间变异结构存在较大差异。土壤 OM 的空间变异结构差, 而其他主要土壤养分 N、P、K、Mn、Zn、Fe、S 等的空间变异结构明显, 其最大相关距离在 12km 以上。

表 3 粮田土壤养分及其他属性空间变异参数

Table 3 Parameter values of soil properties in the grain crop region

养分项目 Item	基底方差( $c_0$ ) Nugget variance	基台值 ( $c+c_0$ ) Sill	基底方差/基台值	最大相关距离( $a$ ) (km) The limit distance of spatial correlation	模型的检验 F test		
			$c_0/(c+c_0)$ The proportion of nugget variance ( $c_0$ ) to sill			模型 Model	$R^2$
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	12.840	23.678	0.542	27.1	线性无基台	0.815	30.84**
OM	0.0339	0.1758	0.193	2.7	线性有基台	0.195	1.70
P	14.4	99.3	0.145	19.7	线性有基台	0.844	37.87**
K	39.2	149.8	0.262	27.1	线性有基台	0.936	102.38**
Mn	0.01	10.81	0.001	14.4	线性有基台	0.811	30.04**
Zn	0.001	2.408	0.000	26.4	线性有基台	0.692	15.73**
Fe	8.0	335.1	0.024	12.5	线性有基台	0.788	26.02**
S	1.0	2214.0	0.000	27.1	线性有基台	0.869	46.44**
Ca	165000.0	2167000.0	0.076	9.6	线性有基台	0.936	102.38**
Mg	14800.0	212600.0	0.070	27.1	线性有基台	0.984	430.50**
Cu	0.001	0.578	0.002	6.6	线性有基台	0.525	7.74*
pH	0.001	0.475	0.002	13.2	线性有基台	0.793	26.82**

$F_{0.05} = 5.59$ ,  $F_{0.01} = 12.25$

土壤有机质含量的半方差函数模型的决定系数较小, 模型的拟合度较低, 说明土壤有机质含量基本趋于以小块状变异为主, 虽其在整个粮田区域的变异相对较小, 但土壤有机质含量的渐变性分布规律差, 在小范围内忽高忽低。

土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量的最大相关距离较大, 其半方差函数理论模型可用无基台线性模型去拟合, 决定系数较大, 模型的拟合度较高, 表明土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量基本趋于以大块状变异为主, 虽其在整个粮田区域的变异相对较大, 但土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量在整个粮田区域具有较强的渐变性分布规律。

土壤 P、K、Mn 和 Zn 含量的最大相关距离均较大, 其半方差函数理论模型均可用有基台线性模型去

拟合, 决定系数在 0.692~0.936 之间, 模型的拟合度均较高, 表明这 4 个主要土壤养分含量基本趋于以大块状变异为主, 其含量具有较强的渐变性分布规律, 这可能与整个粮田区域地形(东北部高、中部平原、西南部洼)、土壤类型(褐土、淋溶褐土、潮褐土、潮土、盐化潮土、沼泽化潮土)等的地带性分布规律有关。其中土壤 K 含量的最大相关距离较土壤 P 的高, 可能是因为, 土壤 K 含量不仅在整体粮田区域的变异较小(表 1), 而且在小范围内的变异亦较小; 而土壤 P 含量无论在整体粮田区域, 还是在小范围的变异均较大。土壤 Mn 的最大相关距离小于 Zn, 可能的原因是, Mn 易于氧化还原, 受微地形等的影响较大。

表 3 还表明, 土壤 N、P、K、Mn 和 Zn 养分的空间变异性程度有明显的不同。土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的  $c_0/(c_+ + c_0)$  之比较大, 为 54.2%, 说明其在研究区域上由施肥、作物、管理水平等随机因素引起的空间变异性占较大比重; 而土壤 P、K、Mn、Zn 等养分速效含量的  $c_0/(c_+ + c_0)$  之比较小, 在 0.0%~26.2% 之间, 表明其空间变异主要是由土壤母质、地形、气候等非人为的区域因素(空间自相关部分)引起的。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准<sup>[25]</sup>( $c_0/(c_+ + c_0)$  的比例 < 25%, 变量具有强烈的空间相关性; 在 25%~75% 之间, 变量具有中等的空间相关性; > 75% 时, 变量空间相关性很弱), 在玉田县全县粮田区域上土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 K 具有中等的空间相关性(土壤 K 近似具有强烈的空间相关性), 土壤 P、Mn、Zn 等养分具有强烈的空间相关性。

值得指出的是, 应用地统计学方法对较大空间尺度范围(县级区域)进行土壤养分空间结构分析还是一种尝试, 对于不同空间尺度的取样范围, 可能得到不同的结论。此外, 土壤养分的空间变异通常是有方向性的, 本文所描述的土壤养分变异是各个方向上的平均效果。尽管如此, 但本研究的结论从宏观上是能反映实际情况的, 即主要土壤养分 P、K、Mn、Zn 等含量基本趋于以大块状变异为主, 这与它们的含量分布具有较明显的地带性规律是基本一致的(图 2)。

### 2.3 粮田土壤养分的空间分布

为弄清玉田县粮田区域内不同土壤养分速效含量空间分布特征, 按照土壤养分综合评价法的土壤养分含量分级标准, 应用 Kriging 最优内插法绘制了不同土壤养分速效含量的等值线图。结果表明, 土壤养分速效含量呈现较明显的空间分布格局, 对主要土壤养分 N、P、K、Mn 和 Zn 可分别分成 2、3、3、3 和 2 个养分分区, 因而对这 5 个土壤养分进行分区管理可行(如图 2)。

**2.3.1 N、P、K** N、P、K 是对养分管理影响最大的 3 个营养元素。速效 N、P、K 含量有一定的空间分布规律, 其中以 P、K 含量分布规律更明显。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的含量, 在整个粮田区域均为较低水平。OM 的含量, 大多为中等水平。在推荐氮肥用量时, 主要考虑 OM 的含量, 并结合考虑  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的含量。因此, 按 OM 含量, 整个粮田区域基本可分成 2 个连片的养分分区, 其中 1 个养分分区为中西部片, 占整个粮田区域的大部分, 该区域 OM 含量中等; 另 1 个养分分区为 OM 含量较低区域。

速效 P 的含量, 在整个粮田区域有一定的变幅, 大部分区域的含量低于临界值, 近 1/3 区域的含量高于临界值。整个粮田区域基本可分成 3 个连片的养分分区, 其中 1 个养分分区为西南部片, 属极缺磷区域; 另 1 个养分分区为中北部片, 为一般缺磷区域; 剩下的是东部的 1 片, 属含量较高区域。

速效 K 的含量, 在整个粮田区域均为较低水平。整个粮田区域可分成 3 个连片的养分分区, 其中 1 个养分分区为西北部的 1 片, 为含量较低区域; 另 1 个养分分区为东北部的 1 片, 也为含量较低区域; 再 1 个养分分区是南部的 1 大片, 为一般缺钾区域。

**2.3.2 Mn、Zn** 目前 Mn、Zn 的缺乏很普遍, 但在生产上的应用面积较小, 是对养分管理影响较大的 2 个营养元素, 应予以足够重视。速效 Mn 的含量, 在整个粮田的大部分区域为较低水平。整个粮田区域基本可分成 3 个连片的养分分区, 其中 1 个养分分区为中部的一片, 属极缺锰区域; 另 1 个养分分区为东北部的 1 片, 属含量较高区域; 剩下的 1 大片为一般缺锰区域。

速效 Zn 的含量, 在整个粮田的绝大部分区域为较低水平。整个粮田大致可分成 2 个连片的养分分区, 其中 1 个养分分区是中西部的一片, 属极缺锌区域; 另 1 个养分分区为一般缺锌区域。

### 2.4 分区平衡施肥技术的应用效果

**2.4.1 分区平衡施肥技术的形成** 在上述形成土壤养分分区图的基础上, 利用作物高产优质推荐施

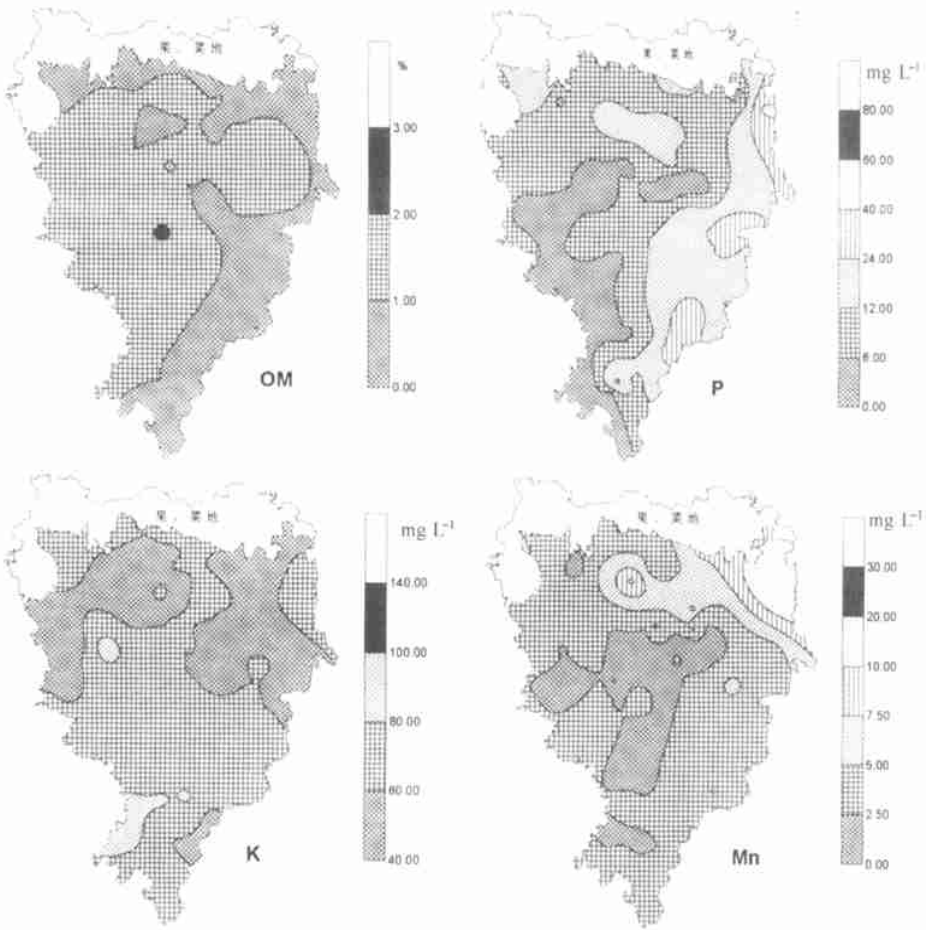


图 2 粮田土壤养分和有机质含量分布等值线图

Fig. 2 Spatial distribution of soil nutrient and OM content in the grain crop region

肥咨询服务系统, 制订试区中不同区域(不同养分分区)的作物高产优质分区平衡施肥技术, 作出作物高产优质分区平衡施肥 GIS 图层。具体作法是根据土壤养分分区图与边界矢量图的叠加图中每个养分分区所包括的村和乡(镇)的具体分布情况, 按照不打破村界(指虹桥镇所属各村)和乡(镇)界(指其他 19 个乡(镇))的原则确定某个村或乡(镇)所在的养分分区, 即某个村或某个乡(镇)的大部分地区在某个养分分区内, 则认为这个村或乡(镇)属于该养分分区(本研究采用的方法是面积优先法, 可供选择的方法还有加权平均法、最小施肥量法等)。然后, 制订每个养分分区的平衡施肥量, 作出分区平衡施肥 GIS 图层。在有条件的地方, 可按不打破村界的原则作出乡(镇)级分区平衡施肥 GIS 图层(如图 3 中虹桥镇区域); 在我国大部分地区, 由于经济条件等的限制, 可按不打破乡(镇)的原则作出县级分区平衡施肥 GIS 图层(如玉田县试区小麦分区平衡施肥图层, 图 3)。

根据所作的分区平衡施肥图层, 可提出研究试区中不同区域主要作物的专用肥生产配方, 供有关厂家生产出主要作物专用肥。以专用肥的形式把以作物高产优质分区平衡施肥技术为核心的科学技术和物资同时提供给农民, 通过大、中、微量各种营养元素肥料的平衡施用, 提高产量和效益, 同时防止过量施用氮肥对产品质量及环境造成的不良影响。

**2.4.2 分区平衡施肥技术的应用效果** 分区平衡施肥能大幅度增加作物产量和显著提高经济效益(表 4)。分区平衡施肥与习惯施肥比较, 小麦产量增加 607~738 kg hm<sup>-2</sup>, 增产 10.9%~13.1%, 增收

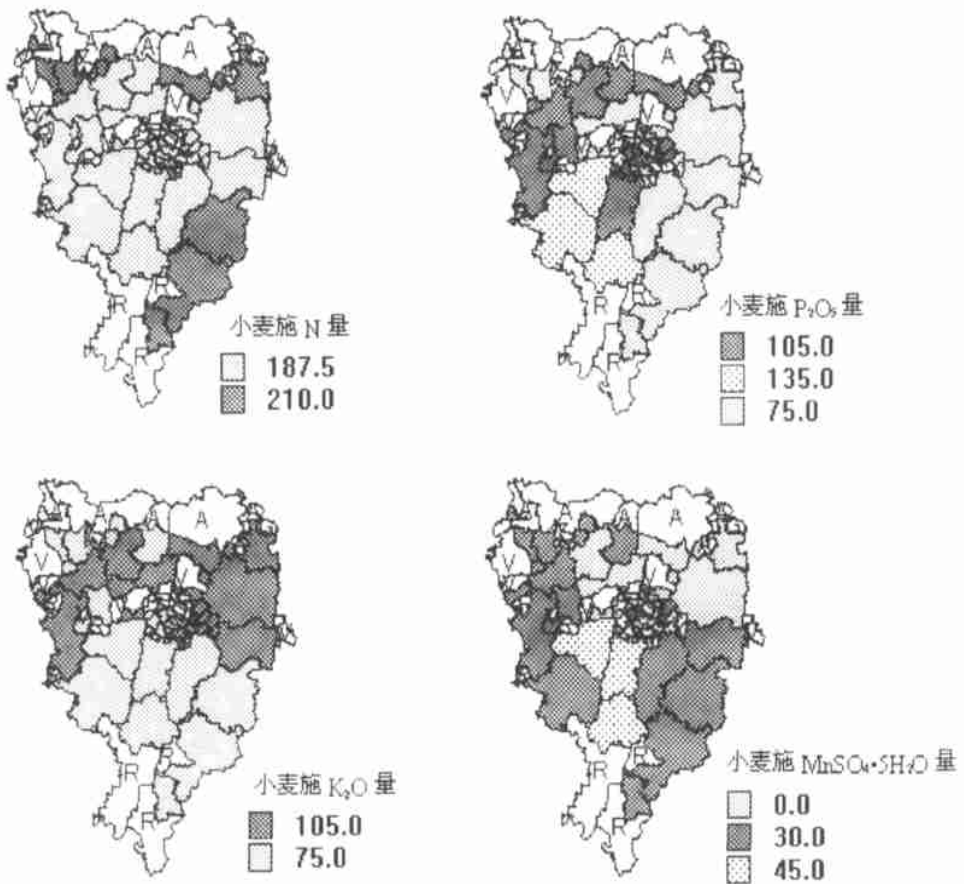


图3 玉田县粮田分区平衡施肥图( $\text{kg hm}^{-2}$ ) (图中A、G、V、Z、R分别为苹果、葡萄、蔬菜、枣和水稻种植区,其余部分为小麦—玉米轮作区)

Fig. 3 Map of regionalized balance fertilization in the grain crop region in Yutian county

590~747 RMB Yuan  $\text{hm}^{-2}$ ; 玉米产量增加 899~1261  $\text{kg hm}^{-2}$ , 增产 14.3%~21.7%, 增收 724~1343 RMB Yuan  $\text{hm}^{-2}$ 。

表4 作物分区平衡施肥的增产增收效果

Table 4 Responses to regionalized balance fertilization of crops

年份 Year	试验点数 (个) No. of trials	作物 Crop	平衡施肥产量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ ) Yield of balanced fertilization	习惯施肥产量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ ) Yield of conventional fertilization	平衡施肥增产 Yield increase of balanced fertilization		平衡施肥增收 (RMB Yuan $\text{hm}^{-2}$ ) Income increase of balanced fertilization
					$\text{kg hm}^{-2}$	%	
1998	8	小麦	6235	5589	646	11.6	747
1999	6		6188	5581	607	10.9	590
2000	10		6354	5615	738	13.1	635
1998	3	玉米	7070	5809	1261	21.7	1343
1999	9		7201	6302	899	14.3	724
2000	10		6699	5703	996	17.6	1027



### 3 小 结

1. 玉田县粮田耕层土壤 N、P、K、Mn 和 Zn 普遍缺乏, 是目前土壤养分管理的重点, 而 Fe 和 S 也有一定程度的缺乏, 对它们的管理不可忽视。

2. 粮田不同土壤养分的变异情况存在较大差异, 其中土壤  $\text{NH}_4^+$  - N、P、Mn、Zn、Fe 和 S 测试值变异较大, 而土壤 K 的测试值变异较小。

3. 粮田不同土壤养分的空间变异结构存在较大差异。土壤 OM 的空间变异结构差, 其含量基本趋于以小块状变异为主, 渐变性分布的规律差; 而土壤 N、P、K、Mn 和 Zn 具有明显的空间变异结构, 其含量基本趋于以大块状变异为主, 具有较强的渐变性分布规律。

4. 粮田土壤养分速效含量有较强的空间分布规律, 对主要土壤养分 N、P、K、Mn 和 Zn 可分别分成 2、3、3、3 和 2 个养分分区, 这一结果对土壤养分分区管理是十分有利的。对于每个养分分区, 是否可当作 1 个养分管理区(或 1 个平衡施肥分区), 取决于每个养分分区内土壤质地、土壤类型等是否有明显差异, 并且在肥料效应上是否表现出较显著的差异, 这一工作有待于进一步探讨。

5. 作物高产优质分区平衡施肥技术能大幅度增加作物产量和显著提高经济效益。

### 参考文献

1. 农牧渔业部农业局. 配方施肥技术工作要点. 土壤肥料, 1987, (1): 6~ 12
2. 黄德明. 土壤测试推荐施肥技术中几个问题的探讨. 土壤肥料, 1990, (2): 11~ 13
3. 吕殿青. 平衡施肥科学体系的研究进展与今后展望. 李生秀主编. 土壤—植物营养研究文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 1999. 44~ 56
4. 陈新平, 李志宏, 王兴仁, 等. 土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用. 土壤肥料, 1999, (2): 6~ 10
5. 金继运. “精确农业”及其在我国的应用前景. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 1~ 7
6. 石元春. 土壤学的数字化和信息化革命. 土壤学报, 2000, 37(3): 289~ 295
7. 周慧珍, 龚子同, Lamp J. 土壤空间变异性研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 232~ 241
8. 张有山, 林启美, 秦耀东, 等. 大比例尺区域土壤养分空间变异定量分析. 华北农学报, 1998, 13(1): 122~ 128
9. 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557~ 563
10. Wild A. The potassium status of soils in the savanna zone of Nigeria. Expl. Agric., 1971, 7: 257~ 270
11. Tening A S, Omueti J I. Potassium status of some selected soils under different land use systems in the subhumid zone of Nigeria. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26(3&6): 657~ 672
12. Ovalles F A, Collins M E. Soil landscape relationships and soil variability in north central Florida. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, 50: 401~ 408
13. Miller P M, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52: 1133~ 1141
14. Bhatti A U, Mulla D J, Frasier B E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. Remote Sens. Environ., 1991, 37: 181~ 191
15. Mulla D J. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In: Robert P C, Rust R H, Larson W E. eds. Soil Specific Crop Management. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI., 1993. 15~ 26
16. Franzen D W, Chacek L J, Hofman V L. Variability of soil nitrate and phosphate under different landscapes. In: Robert P C, et al. ed. Proceedings of the 3th International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis, Minnesota, ASA, CSSA, SSSA, 1996. 521~ 529
17. Beckett P H T, Webster R. Soil variability: A review. Soils and Fertilizers, 1971, 34: 1~ 15
18. Warrick A W, Nielsen D R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D. ed. Applications of Soil Physics. London: Academic Press, 1980. 319~ 344
19. Scott H D, et al. Temporal variability of selected properties of Loessial soil as affected by cropping. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 1531~ 1538
20. Itau Okuda, Masanori Okazaki, Takusei Hashitani. Spatial and temporal variations in the chemical weathering of Basaltic Pyroclastic materials. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59: 887~ 894

21. 金继运. 土壤养分状况系统研究法及其应用初报. 土壤学报, 1995, 32(1): 84~ 90
22. 金继运, 张宁, 梁鸣早, 等. 土壤养分状况系统研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 8~ 15
23. 加拿大钾磷研究所北京办事处编. 土壤养分状况系统研究法. 北京: 中国农业科技出版社, 1992
24. 王政权编著. 地质统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999
25. Robertson G P, *et al.* Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications*, 1997, 7: 158~ 170
26. Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58: 1 501~ 1 511

## SPATIAL VARIABILITY AND REGIONALIZED MANAGEMENT OF SOIL NUTRIENTS IN THE GRAIN CROP REGION IN YUTIAN COUNTY

Huang Shaowen Jin Ji yun Yang Li ping Cheng Mingfang

*(Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing 100081, China)*

### Summary

Spatial variability and regionalized management technology of soil nutrients in a grain crop region with an area of 470 km<sup>2</sup> was studied using geo statistics. The results showed that the grain crop region was widely deficient in N, P, K, Mn and Zn. Variation of the soil nutrients differed remarkably. The maximum correlative distance of major soil N, P, K, Mn and Zn in content was 27.1, 19.7, 27.1, 14.4 and 26.4 km, respectively. It revealed that their variation in content developed in large block scale, which is useful to regionalized management of soil nutrients. There was a notable tendency of soil readily available nutrients in spatial distribution in the grain crop region. The grain crop region could be regionalized into 2 to 3 management units, and each unit consisted of connected fields. The number of management units in the grain crop region were 2 for N, 3 for P, 3 for K, 3 for Mn, 2 for Zn. With regionalized balance fertilization technology on wheat and corn, yield increased by 10.9% to 13.1% and 14.3% to 21.7%, respectively, economic profit by 590 to 747 and 724 to 1343 RMB Yuan hm<sup>-2</sup>.

**Key words** Soil nutrient, Spatial variability, Regionalized management