

现代农业与肥料系列丛书
Modern Agriculture and Fertilizers

精准农业译文集

加拿大钾磷研究所北京办事处 主编

1999 年 12 月

目录

一. 精准管理对磷钾使用和生产率的影响	(Paul E. Fixen)	1
二. 网格法采取土壤样品	(N.C. Wollenhaupt and R.P. Wolkowski)	4
三. 磷、钾肥变量施用的费用	(N.C. Wollenhaupt and R.P. Wolkowski)	6
四. 密集采样及变量施肥情况下的养分管理	(D.G. Bullock, R.G. Hoeft Paul Dorman, Ted Macy and Ron Olsen)	8
五. 田间尺度的推荐施肥和土壤测试值的空间变异	(R. Gary Kachanoski and Gordon L. Fairchild)	12
六. 习惯施肥和变量施肥管理中磷、钾利用的比较	(Max W. Hammond)	15
七. 明尼苏达南部土壤测试值的变异性	(Tom McGraw)	17
八. 红河谷地区甜菜的精准施肥	(Dave Hilde)	19
九. 取得详尽的土壤测试结果	(Bob Deutsch and John Lee)	21
十. 精准农业对社会有益吗? ——一个经济学家的观点	(Luther Tweeten)	23
十一. 精准氮素管理下玉米产量变异及潜在效益	(Gary L. Malzer)	25
十二. 养分精准管理系统的维持与提高	(H. F. Reetz)	28
十三. 田间土壤养分供应状况图的制作	(Jeff Schoenau and Ken Greer)	30
十四. 精准农业中的取样: 地形地貌与养分状况的关系	(D. W. Franzen, V. L. Hofman, A. D. Halvorson L. J. Cihacek)	32
十五. 协助土壤取样的航片技术	(Tracy M. Blackmer James S. Schepers)	35
十六. 应用产量差绘制氮肥需求图	(R.G. Kachanoski I.P. O'Halloran D. Aspinall P. Von Bertoldi)	37
十七. 利用精准管理技术评价水稻产量与土壤肥力	(W.H. Baker and S.D. Carroll)	40
十八. 在土壤肥力图中解释相似值分组时的注意事项	(Linda Anderson Don Bullock)	42
十九. 网格取样与变量施肥对甜菜生产的效益分析	(Larry J. Smith and Doug Rains)	45
二十. 采用计算机技术处理航片	(Mike Porter)	47
二十一. 绘制盐渍度图的高技术工具-全球定位系统和电磁感应仪	(Colin Mckenzie)	49
二十二. 土壤变异性高导致施肥量偏低	(Doug Penney, Tom Goddard, Terry L. Roberts)	52

123, 1273

一. 精准管理对磷钾使用和生产率的影响

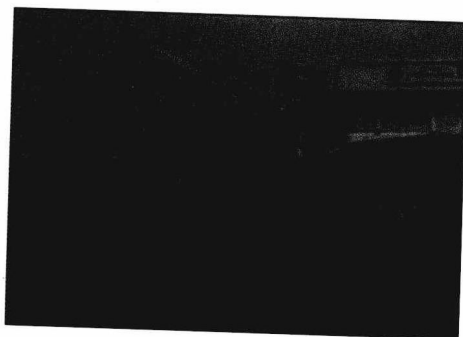
(Paul E. Fixen)

土壤变异性能减少作物产量和效益。更密集的土壤取样，并结合应用现代技术，具有改善肥料推荐、提高养分利用效率、增加产量，提高收益和保护环境的潜力。

有些地块的变异性是很明显的，有些地块的变异性可能比较一致。密集的土壤取样常常能揭示减少农业产量和效益的土壤潜在变异性。多种限制因素经常大幅度减少一些地块的产量，且这些地块的磷、钾和其它的营养元素的平均测试值是高或很高的。从本书中“明尼苏达州南部土壤测试值的变异性”一文中可以看到这一点。

现代技术有挖掘潜在产量的潜能，这就是只对那些需要养分的地块提供养分。

网格取样 (grid soil sampling, 下同) 是揭示潜在产量的关键。该方法把一个地块分成较小而更一致的若干个网格，然后在一个网格内将采取的几个点的土样收集起来。网格点的间隔是可变的，它取决于地块的变异性和其它的因素，但经常是在 200 到 440 英尺范围内。



图片 1: 固体和液体肥料施肥机械能根据网格图和其它因素改变施肥量

1. 精准管理对推荐施肥的影响

在不同地区，网格取样对磷、钾总量推荐的影响可能是不相同的。总之，来自明尼苏达州和加拿大蒙特利州的结果指出：在变异性大的地块网格法将增加的磷、钾推荐总量（按这种地块的土壤测试平均值，其推荐量接近 0）。为了说明网格取样对磷推荐总量的影响，在明尼苏达州西部 140 个已采样的网格地块上进行了一个模拟试验，磷的推荐量是根据模拟习惯土壤取样方法的地块平均测试值计算的。然后，此推荐量与同一地块内所有不同网格的平均推荐量比较，在同一块地上，网格式取样对磷的推荐量增加了 51%。表 1 表明，地块平均土壤测试值及其变异性是如何影响这些土壤取样方法差异的大小的。从这 140 个地块可见：

- 网格式取样决不会减少磷的推荐量。
- 增加最多的发生在那些用地块平均土壤测试值进行推荐的推荐量为 0 时的地块（在高和很高之间）。
- 在田间变异性较大时，随网格数量的增加，磷的推荐量亦增加。

表 1 地块平均土壤测试值及变异性对网格格式取样增加磷推荐量的影响

土壤测试值等级 ¹ Olsen P, ppm	地块土壤测试值的变异性 ²		
	低 (<6)	中 (6-10)	高 (>10)
	增加, 磅 P ₂ O ₅ /英亩		
<12 (低, 中)	1	6	17
12-19 (高, 很高)	5	14	25
>19 (很高)	0	3	16

以明尼苏达-北达科地-南达科地 3 个州立大学对 140 蒲式耳/英亩玉米产量的施肥推荐标准为基础, 该推荐标准在 16PPM 时推荐施肥量为 0。数据来源: Agvise 实验室。1 低、中、高和很高; 2 括号内的数值是标准偏差 (ppm)

加拿大蒙特利州的研究指出, 对钾而言, 传统推荐量与网格法较为一致。他们的研究表明, 与由一致的小区校验试验得出的标准推荐量相比, 地块变异性增加了钾的最佳推荐量。随地块变异性增加及传统推荐量接近 0 时的土壤钾水平, 钾用量增加更多。

2. 网格取样与产量潜力

网格格式取样是怎样揭示土壤潜在产量潜力的? 表 2 显示了爱荷华州中部一个已采用土壤网格取样地块的结果, 其数据是按照土壤制图单元总结的。虽然土壤制图单元中过去的产量变化很小, 但土壤测试值变化是很大的。土壤 pH、P 和 K 的测试校正数据指出, 有些土壤的产量只达到了它们潜力的 73%, 从总的情况来看, 也只达到了其潜力的 88%。如果没有以网格格式取样为基础的精准管理方法, 这些限制因子是发现不了的。

表 2 爱荷华州中部玉米地土壤测试值和相对产量

土壤	现在的值			相对产量 (%)
	pH	P (ppm)	K (ppm)	
Clarion	5.5	16	95	78
Nicollet	5.2	22	91	73
Canisteo	7.4	17	168	97
Webster	6.3	37	134	98
地块平均	6.5	20	134	88

USDA 土壤耕作实验室

表 2 的底部显示了按习惯方法取样地块土壤的平均测试值。以这些平均土壤测试值计算的地块产量潜力指出, 现在的地块产量达到了其潜力的 96%, 而不是表 2 显示的

88%。这种意识不到的产量潜力就会被传统的土壤取样方法所掩盖。

根据土壤类型收集的产量记录，结合表 2 的相对产量，得到表 3，表 3 显示了田间真实产量潜力的估计值。如果 pH、P 和 K 作为限制因素被消除后，在实行精准管理技术的情况下，田间产量潜力估计可达到 173 蒲式耳/英亩。这表明它比以地块平均土壤测试值为基础的习惯方法增加了 16 蒲式耳/英亩 ($151/0.96=157$, $173-157=16$)。

土壤肥力的变化通常比预期的要大。例如，一个私人咨询公司在“明尼苏达州南部土壤测试值的变异性”一文中报告，在明尼苏达州南部近 400 个已采用网格取样的地块中，86%的地块有 4 或 5 级土壤磷测试值出现，61%的地块有 4 或 5 级土壤钾测试值出现（级别分为很低、低、中、高、很高）。因此，在管理过程中意识到这种变异性的经济效益是非常重要的。

表 3 土壤测试值经校正后估计的玉米产量潜力

土壤	过去的产量 (蒲式耳/英亩)	相对产量 (%)	产量潜力 (蒲式耳/英亩)
Clarion	145	78	187
Nicollet	151	73	208
Canisteo	154	97	159
Webster	147	98	151
地块	151	88	173

USDA 土壤耕作实验室

2. 对磷、钾实行精准管理的效益

对磷、钾实行适宜的精准管理方法是容易做到的。显然，对一些景观和作物轮作方面的益处将比其他一些要大，然而，关于怎样获得最佳效益的所有问题还未得到解决。总之，这种新型的管理方法给将来的作物生产的改善带来了广阔的前景。

农民的效益是较高的利润和有效改善投入的效益。正确地管理变异性而不忽视它就意味着更多的效益。低肥力情况施用肥料和高肥力情况下减少投入都是潜在的效益。地块的变异越大，增加的效益越多。

肥料商人的效益是市场周到的服务或销售更多的肥料。

乡村社区的效益是追加资金的流通和这种集约型作物管理产生了新的工作机会。

一般的公众的效益是高效食物生产系统相对减少了对地表和地下水的影响。

(黄绍文 译)

二. 网格法采取土壤样品

(N. C. Wollenhaupt and R. P. Wolkowski)

养分的精确管理依赖于可靠的土壤有效养分含量档案。这里提出一个可操作的网格法采取土壤样品的程序，以便进行更精细的养分管理。

作物生产中养分的精确管理从建立田间土壤有效养分档案开始。肥料推荐量则以肥料效应的预测值为基础，后者是土壤测试的函数。精确施肥即以土壤养分图为基础进行肥料推荐。当田块被分成更小的取样单位时，通常精度会提高。

系统地采取土样常用的方法是在田间地图或照片上放一个方形或长方形网格（图1），取网格中心部分的土样，在该中心的一小半径范围内采取多个样品，在测试实验室，将其混合作为一个样品。混合这些土样的目的是得到平均的或消除小距离范围内的土壤变异。

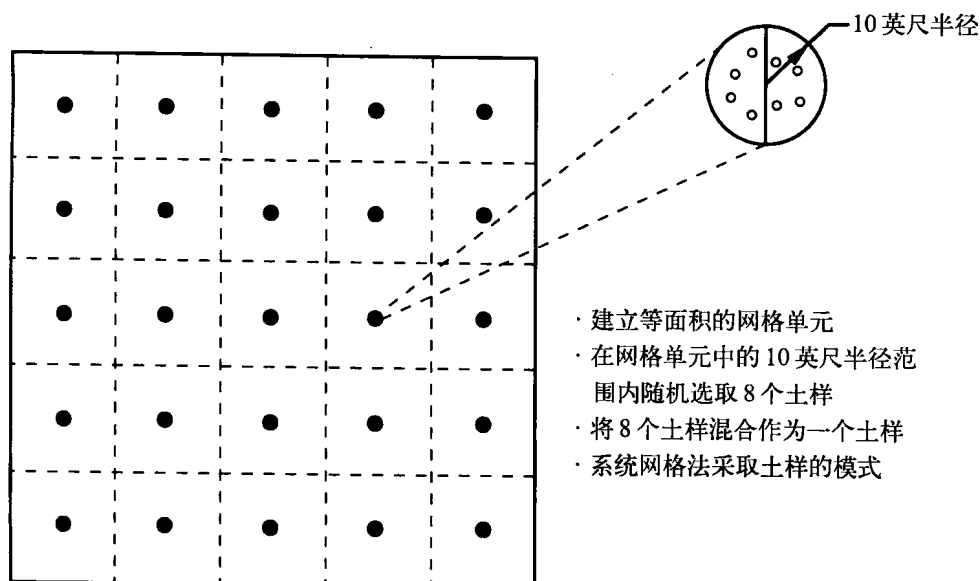


图1 方形网格取样单元及取样位置示意图。

通过计算作物行数及采用距离测试装置定位，网格单元取样可有效进行。虽然该方法在田间易于操作，但也能产生偏差。耕作、施肥、排水，老地界及不同的种植方式经常穿越田间，如果采用其它模式取样，则土壤样品不能正确反映田间土壤养分状况变化。

取样偏差可通过将取样位置向单元中心的左右偏移，使同一行的取样点不在一条直线上（即改变了行的走向），结果取样单元呈菱形分布（图2），该取样方法可通过对行数计数及测定距离定位来实施。

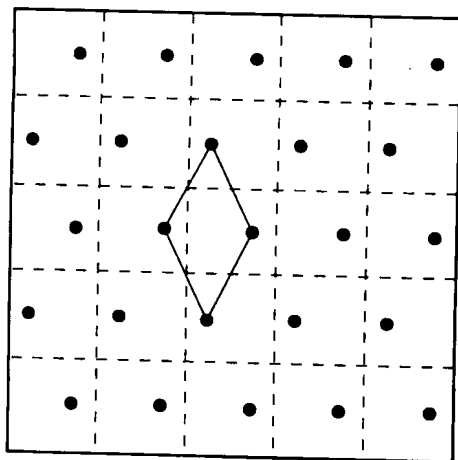


图 2 改变的方形网格，取样点定在网格单元中心至边缘距离的一半的点系统的网格法取样—菱形取样模型

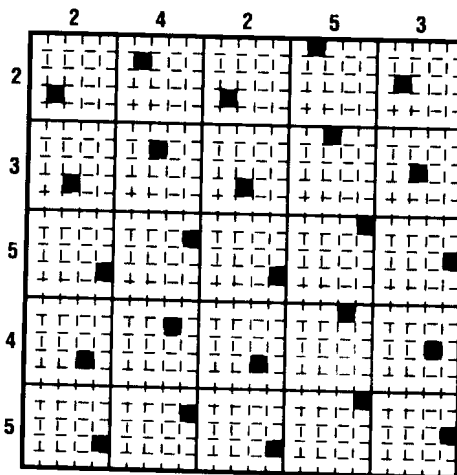


图 3 系统非齐网格法取样示意图。X、Y 轴坐标采用随机数表来确定

随着全球定位系统的发展，我们现在能够做到不用数行数或人工测量距离就可到达田块的指定位置。随着适于农场的全球定位系统硬件和软件的发展，我们推荐采用一种系统非齐取样的方法，该方法综合了系统取样与随机取样的优点。

系统的不对齐采取土样的方法（见图 3）可按下述步骤进行（引自 R. Webster 和 M.A. Oliver 的《土壤及土地资源调查的统计方法》一书，牛津大学出版社，1990 年，46—47 页）。

- 将田块分粗略地分成大网格取样单元，方形的单元只是取样推荐而不是教条。
- 在粗略的大网格中设置精细的小网格，如大网格有 5 行 5 列，则可将大网格分成 25 个单元。
- 选取大网格的一角如左上角，随机选择一个参照单元，在此例中可选 25 个小单元中的一个。
- 保持 X 轴不变，重新随机选一 Y 座标，在顶行将取样点向相邻的网格水平移动。
- 在顶行所有大网格上，重复上述取样过程。
- 返回顶行左角，沿第一列向下重复该取样过程，保持 Y 轴不变，仅是沿相邻大网格向下的取样移动 X 轴。
- 其余大网格单元取样位置由左边方格中 X 轴和最顶行 Y 轴相应取样位置决定。
- 应用该步骤，在行和列上不用排列就能形成一定的间隔。关于取样及估测更完整的讨论可参照前文引用的 R. Webster 和 M.A. Oliver 著作的第 7 页。

（周卫译）

三. 磷、钾肥变量施用的费用

(N.C. Wollenhaupt and R.P. Wolkowski)

土壤取样、肥料施用和数据管理的费用是与磷、钾肥的变量施用联系在一起的。为了评估变量施肥的效益，这些费用必须从总费中扣去，剩下的才是变量施肥的费用。

前期的网格化土壤取样（grid soil sampling, 下同）是与精准肥料管理有关的实际费用。在威斯康辛州开展的网格化土壤取样的研究表明，以土壤测试结果制图的准确性取决于取样方法和取样密度。在系统网格取样过程中，增加网格内的取样点数比增加网格单元面积更能提高制图准确度，而且增加取样点的数量也提高制图的精确性。

表 1 变量土壤取样、肥料施用和数据管理的费用¹

	网格间距			
	450 英尺 =5 英亩	300 英尺 =2 英亩	200 英尺=1 英亩	100 英尺 =0.25 英亩
	美元/英亩			
取样	1.70	—	—	—
2 小时（20 个样品）	—	4.29	—	—
5.7 小时（48 个样品）	—	—	9.09	—
10.9 小时（106 个样品）	—	—	—	35.16
36 小时（436 个样品）				
数据汇总和制图	2.00	2.00	2.00	2.00
肥料施用 (追加变量施肥的费用)	1.50	1.50	1.50	1.50
总费用	5.20	7.79	12.59	38.66

¹100 英亩地块，工资以 25 美元/小时，土壤测试费用以 6 美元/个计算。

表 1 的费用主要来源于作者的经验和肥料及肥料设备商提供的有限数据。工资以 25 美元/小时，土壤测试费用以 6 美元/个计算，目的是要估计对包括肥料商、作物咨询和土壤测试实验室各自得到的利润。需注意的是，肥料施用费用是一年一次的，并且变量施肥较均一施肥费用有所增加。

磷、钾肥变量施用的费用在网格间距小于 200 英尺时快速增加（图 1）。假如此费用分摊在 4 年或更长时间，那么此费用是容易接受的。我们推测，为了维持养分平衡，只有土壤测试信息、肥料施用和作物产量需要地理属性时，昂贵的网格采样才是必要的。在以后的时间里，当一般的肥料效应方程对所有土壤类型不能很好适应时，有必要在田间参照土壤类型进行补充采样以了解土壤测试值的变化。

基于土壤随机取样而导致肥料滥用费用未列出来，因为随机取样可能会形成一个不正确的土壤测试值变异图。我们观察到当把土壤归为不必施肥的类别而实际上这些土壤是缺乏养分时，作物产量和收入都会损失。变量施肥收益的任何评估都必须包括土壤测试图的准确性的评价。

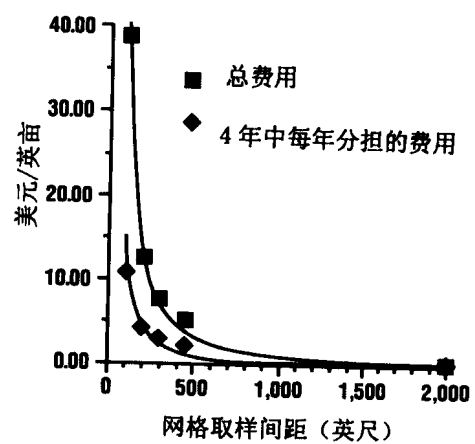


图 1 磷、钾变量施用的费用。随网格间距的缩小，土壤取样和测试的费用增加。

四. 密集采样及变量施肥情况下的养分管理

(D. G. Bullock, R. G. Hoef, Paul Dorman, Ted Macy and Ron Olsen)

由于对施肥产生的水资源污染等环境问题以及施肥经济效益的关心,人们对能否设计一种新的施肥设备,使其在行进中能随时调节施肥数量,以达到在同一地块内进行不同的养分管理的研究很感兴趣。

农民大都知道,在同一地块内,土壤的质地、颜色和/或生产力存在着差异。土壤类型的差异会影响到作物的产量及土壤养分移走量。除了土壤肥力的这种天然差异外由于有机肥往往只是局部施用或集中施用,使得地块内土壤养分也存在着差异。另外,地块的形状,包括地块的坡度和不能穿越的水渠,都会使得施肥很难做到均匀一致。

伊利诺斯土壤测试取样规程中,要求每个土壤样品所代表的面积不得大于 2.5 英亩,并建议若在同一地块内有不同的土壤类型或不同的施肥历史,则还要单独取样。但是,最终还是把一块或相似的几个田块的测试结果进行平均,以确定同一个施肥量。这样做的结果,使得田块中的某些区域所得到的养分多于作物最适产量所需的养分,而某些区域可能仍限制着作物产量。这两种情况都是既不经济同时对环境保护也不利。

从事土壤制图工作的科学家们很早就认识到,在某一地貌景观内的土壤存在着空间差异。但是直到最近,由于一个新兴的研究领域即地质统计学的应用,才有可能把这些空间差异进行量化描述。问题是我们如何能使利用地质统计学所形成的土壤有效养分图,准确无疑地代表田间的实际情况。为此,我们首先需要了解哪些地质统计学的程序最适用于养分管理图的制作,其次还需对田块的养分管理是否经济有效以及是否对环境保护有利作出评价。

1. 伊利诺斯的研究

在玉米—大豆轮作区中选取 8 个点进行研究。每个点分别按每 2.5 英亩和 0.6 英亩一个样进行固定网格取样。在网格交叉点上,取 8 个以 10 英尺为半径的采样区以代表该样点。不管是 2.5 英亩,或是 0.6 英亩,还是二者组合取样,均采用克立格法。每个土壤样品的测试项目包括 P、K、pH 和有机质。

将土壤分析结果绘制成单养分图,并根据各养分的分布情况,绘制每种养分的肥料管理图,每一合作农户都配备有产量监测装置。每一研究点的详细产量情况都绘制成图。

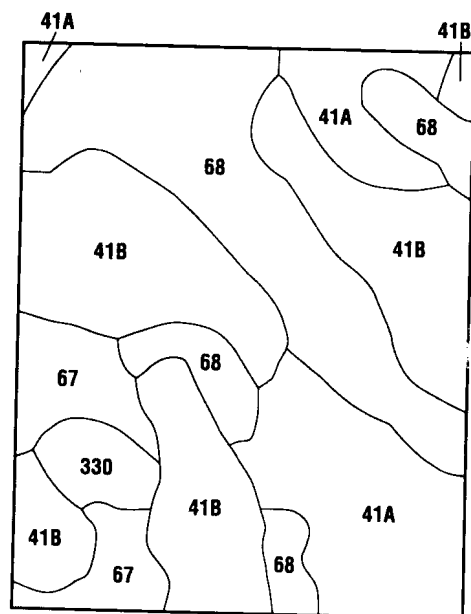
2. 结果

研究表明:网格的大小对土壤测试结果影响很大,只有个别情况例外。图 1 所示是其中一个研究点的情况,该研究点占地 32 英亩,由以下几个部分构成: Muscatine 砂壤土,面积 6.6 英亩,坡度 0—2%; Muscatine 砂壤土,面积 12.1 英亩,坡度 2—4%; Harpster 砂质粘壤土,面积 2.6 英亩; Sable 砂质粘壤土,面积 9.7 英亩; Peotone 砂质粘壤土,面积 1.0 英亩。

3. 土壤 pH

图 2 表示分别以 0.6 英亩和 2.5 英亩网格取样测定的土壤 pH 结果。在大多数情况下,四个 0.6 英亩网格土样 pH 的平均值和 2.5 英亩网格土样的 pH 都大致相当。但也有例外,例如 5[#]网格,以 2.5 英亩网格取样土壤的 pH 值为 5.9;而四个以 0.6 英亩网格取样的 pH 从 6.0 到 7.4 不等, pH 平均值为 6.7。认识并绘制小尺度的土壤变异图,通过精准施肥,就可以发挥土地生产潜力,获取更大利润。有趣的是,两种取样方法测得整个田间的土壤 pH 的加权平均数十分相似(6.3 和 6.4),即把整个田间作为一个取样单元时,加大取

样密度并不会改变石灰的推荐施用量。



	土壤类型	面积	产量(蒲式耳)	
			玉米	大豆
41A	Muscatin e 砂壤土, 坡度 0-2%	6.6	167	51
41B	Muscatin e 砂壤土, 坡度 2-4%	12.1	165	50
67	Harpster 砂质粘壤土	2.6	136	44
68	Sable 砂质粘壤土	9.7	156	51
330	Peotone	1.0	123	42
			159	50

图 1 为伊利诺斯的 Lasalle 县, 研究点面积 32 英亩, 比例尺: 300 英尺/英寸。
土壤概况

图 1 某一研究点的土壤图

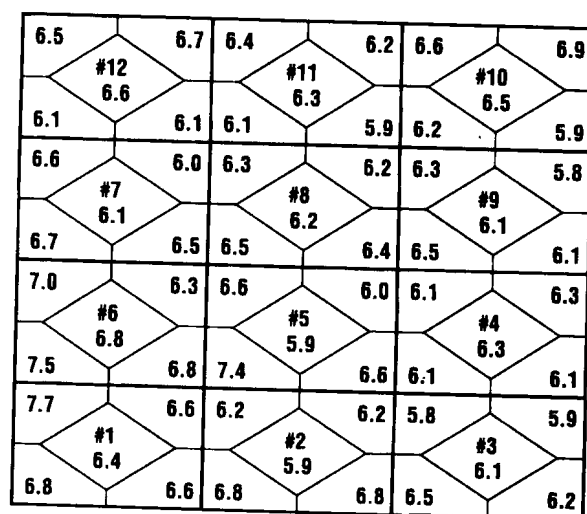


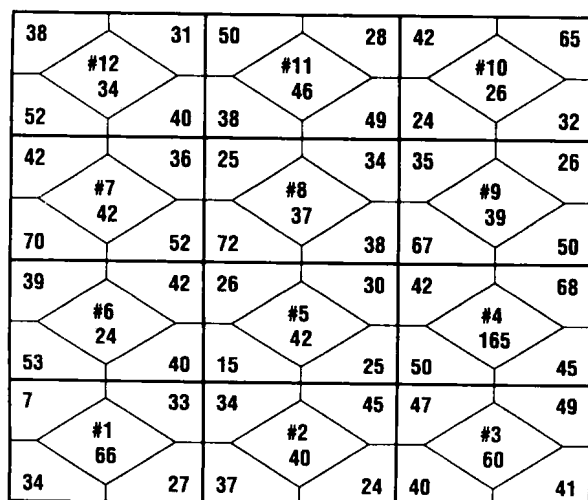
图 2 2.5 和 0.6 英亩上土样 pH 分布。较大的长方形区域代表 2.5 英亩, 中间的数字为编号和土壤测试值。其它的 4 个数值代表 0.6 英亩网格的土样测试值

图 2 以 2.5 英亩为单位, 网格式取样土壤 pH 的加权平均值为 6.3

以 0.6 英亩为单位, 网格式取样土壤 pH 的加权平均值为 6.4

推荐施肥	2.5 英亩网格取样	0.6 英亩网格取样
>6.7 不能施石灰	2.7 英亩	5.9 英亩
6.3-6.7 不用施石灰	13.2 英亩	12.6 英亩
5.9-6.2 2 吨石灰/英亩	16.1 英亩	12.1 英亩
5.6-5.8 3 吨石灰/英亩	0.0 英亩	1.3 英亩

土壤 P: 和土壤 pH 相似, 两种取样方法得到的土壤 P 的测定结果也存在着局部的差异, 而且这些差异比 pH 要大一些。例如 1[#]网格, 2.5 英亩网格取样 P 的测定值为 66, 而其中的四个 0.6 英亩网格土样的 P 测定值分别为 34, 27, 7 和 33。4[#]网格更为明显, 2.5 英亩网格取样测定的 P 为 165, 是 0.6 英亩网格取样测定 P 结果的 2—3 倍, 两种取样法得到的该田块 P 测试结果亦不同, 分别为 52 和 40, 差异如此之大主要是由于 4[#]网格 2.5 英亩网格取样的测定值过高(165), 如果去掉这一结果, 则 2.5 英亩网格取样所得到的结果加权平均值就和 0.6 英亩网格取样的加权平均值十分接近(41 和 40)。

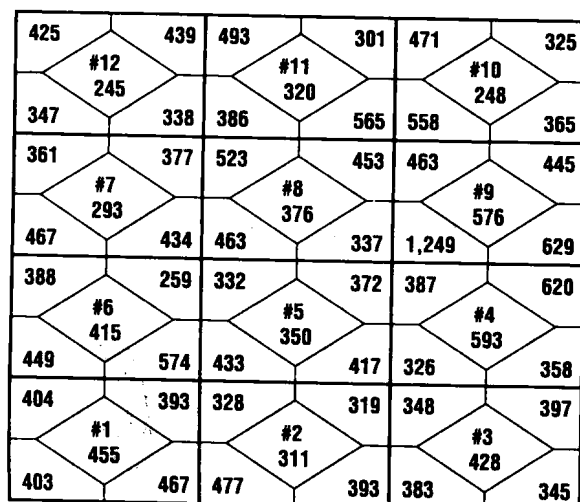


推荐施肥	2.5 英亩网格取样法	0.6 英亩网格取样法
>99 过量	2.7 英亩	0.1 英亩
60-99 只需维持土壤 P 素平衡	5.3 英亩	3.3 英亩
36-59 需提高土壤 P 素积累	16.5 英亩	16.7 英亩
<36 低	7.9 英亩	12.0 英亩

图 3 2.5 和 0.6 英亩网格取样土壤 P 分布

图 3 2.5 和 0.6 英亩网格法取样的加权平均值分别为 52 和 40

土壤 K: 土壤 K 的分析结果表明也存在着小尺度的变异, 并且 0.6 英亩网格取样比 2.5 英亩网格取样测定结果的加权平均值要大, 分别为 433 和 385 (见图 4)。



推荐施肥	2.5 英亩网格取样法	0.6 英亩网格取样法
>499 过量	5.4 英亩	4.7 英亩
400-499 只需维持土壤 K 素平衡	7.9 英亩	11.2 英亩
240-399 需提高土壤 K 素积累	18.6 英亩	16.1 英亩
<240 低	0.0 亩	0.0 英亩

图 4 2.5 英亩和 0.6 英亩网格取样土壤 K 分布

2.5 英亩和 0.6 英亩网格取样土壤 K 的加权平均值分别为 385 和 433

如此大的差异主要是其中的一个 0.6 英亩网格的 K 测定值异常地高(1249)所引起的。这一测定值比该田块的任何一 0.6 英亩网格 K 的测定值高出至少一倍，而且比来自同一取样区域的 9[#]网格以 2.5 英亩网格的测定值要高一倍以上。如果把这一较高的测定值剔除，虽然其加权平均值仍落在不同的推荐施肥档次上，但差异已小了许多(385 和 416)。从 2.5 英亩网格取样得到的土壤 K 的平均值为 385，在推荐施肥上属于“需提高土壤 K 素积累”的档次，而从 0.6 英亩网格取样得到的土壤 K 的平均值为 416，在推荐施肥上属于“只需维持土壤 K 素平衡”的档次。

4. 结语

以上的结果并不是说现行的土样取样技术已经过时，但确实表明，加大田间取样密度，和传统的取样规程相比，可能会得到不同的结果。尽管在如何应用更密集的网格取样以更有效地反映土壤的状况、改善推荐施肥以获取更大利润等方面，仍然有许多工作要做，但这方面的潜力是很大的，并且也是合理的。

(梁国庆 译)

五. 田间尺度的推荐施肥和土壤测试值的空间变异 (R. Gary Kachanoski and Gordon L. Fairchild)

农民和作物栽培顾问大都知道, 获取最大经济效益的施肥量往往要比由土壤测试值所得到的最佳施肥量要高。安大略的研究者们在本文解释了为什么会出现这种情况。

众所周知, 在许多田块内, 土壤肥力往往存在着很大的空间变异。这就是变量施肥技术的理论基础。然而, 目前在大多数田块内仍是采用均量施肥, 即使不同田块有时也用同一个施肥量。根据田间土壤混合样品的测试结果, 由土壤测试校验关系 (即推荐施肥量与土壤测试值的关系) 获得田间推荐施肥量。

研究结果已证实, 作物产量, 施肥量和土壤测试值之间存在着高度的非线性关系。换句话说, 也就是随着土壤肥力提高, 作物产量也随之增加, 但提高到某个水平后, 作物产量便保持平稳。但遗憾的是, 目前在评价这些非线性关系的空间平均值时, 存在着严重的问题。

1. 空间变异及效应

假设有两块地 (田块 1 和田块 2), 如表 1 所示。两块地的土壤测试平均值都是 23, 但每一田块的三个部分土壤的测试值不同。需要指出的是, 两块地唯一不同之处是每块地中土壤测试值不同的三个部分的土壤的面积不同。土壤测试的平均值是由这三部分不同区域的土壤测试值乘上它们所占该田块面积的比例之和而求得的。这样求得的土壤测试平均值理应与从田间采混合样所得到的测试值相同。

假设已知施肥的最高产量和土壤测试值之间存在着某种关系, 又假设当土壤测试值大于 30 时, 施肥再无增产效应; 同时假设土壤测试值为 20 和 10 时, 施肥的增产效应分别为 16 蒲式耳/英亩和 48 蒲式耳/英亩。平均最高增产量便可以由土壤测试值不同的三个部分所获得的最高增产量乘上各自所占该田块的比例计算出来。这样得到的平均增产量应与整块地实际收获 (机械收割) 的增产量相同。

表 1 空间评估问题的研究实例

田块组成	田块 1			田块 2		
	占田块比例 (%)	土壤测试值 (ppm)	增产效应 (蒲式耳/英亩)	占田块比例 (%)	土壤测试值 (ppm)	增产效应 (蒲式耳/英亩)
1	50	30	0	20	60	0
2	30	20	16	30	20	16
3	20	10	48	50	10	48
平均		23	14 ²		23 ³	28 ⁴

备注: 1 $(0.5 \times 30) + (0.3 \times 20) + (0.2 \times 30) = 23$; 2 $(0.5 \times 0) + (0.3 \times 16) + (0.2 \times 48) = 14$

3 $(0.2 \times 60) + (0.3 \times 20) + (0.5 \times 10) = 23$; 4 $(0.2 \times 0) + (0.3 \times 16) + (0.5 \times 48) = 28$

尽管田块 1 和田块 2 的土壤测试平均值相同, 并且在一定的土壤测试值水平下作物的平均增产效应也相同, 但是, 两块地由于施肥所获得的平均最大增产量却不相同, 分别为 14 蒲式耳/英亩和 28 蒲式耳/英亩。这主要是由于土壤测试值与作物增产效应之间存在着非线性关系造成的。如果增产效应是随着土壤测试值升高而线性地减少, 那么两块地的平均增产量应是一样的。在临界值附近产量反应的高度非线性变化是空间平均值问题的主要原因。由于多数 (甚至是全部) 养分的校正值和产量反应之间的关系相似, 所以, 空间平均值的总是普遍存在。

2. 安大略省的研究实例

安大略的研究中,对于土壤肥力存在着变异的某一地块均匀地施用肥料所获得的大田平均增产量,已提出了相应的数学方程加以描述。详见《高产土壤的养分管理》,PPI/FAR 专刊,1994 年 1 期。

尽管已经提出了一般概念的各种方程,本文实例所采用的只是用于描述安大略省玉米 N 和 K 的方程。

表 2 所示是土壤肥力变异程度不同的情况下,最佳施 N 量和播前土壤硝态 N 含量的关系。标明有“低”的一栏是大田肥力水平没有变异的校正曲线。本栏的数值和研究者在美国中北部湿润地区研究所得的校正值十分接近。但随着田间变异的增加,最佳施 N 量也随之增加。当土壤测试水平处在土壤肥力没有变异时的最适施 N 量为 0 的时候本例是测定值为 100,最适施 N 量随着土壤肥力变异程度增加而增加的量最大。

表 2 土壤硝态氮的变异对最佳施 N 量的影响

土壤硝态含量 (平均值)	土壤硝态氮的变异		
	低 ² (0)	中 (30%)	高 (53%)
磅/英亩 (0-2 英尺)	氮, 磅/英亩		
35	131	142	146
50	97	128	137
100	0	23	75

1: 括弧中的值为变异系数

2: 圭尔夫 (Guelph) 大学的标准推荐施肥量。

空间变异对最佳 P、K 施用量的影响和前述的 N 的情况相似。土壤 K 水平不同和变异程度不同的情况下的最佳施 K 量如图 3 所示。我们再一次看到,当土壤测试值处在“最佳施肥量为零”的水平上时,施 K 量增加最为明显。

表 3 土壤 K 测试值的变异对最佳施 K 量的影响

土壤 K 的平均值 (ppm)	土壤测试值的变异 (磅 K ₂ O/英亩)		
	低 ² (0)	中 (53%)	高 (131%)
45	100	101	106
90	50	58	77
135	0	30	58

1. 括弧中的值为变异系数

2. 圭尔夫 (Guelph) 大学的标准推荐施肥量

空间变异在土壤测试校正曲线外近到大田应用中的主要启示是:

由于产量反应、土壤测试值和施肥量之间的关系并非线性关系,在存在有空间变异的田块内并不存在唯一的校正曲线(推荐施肥量与土壤测试值)。从土壤测试值变异程度小的地方(小区)获得的校正曲线不能代表土壤测试值变异大的地方(大田)的情况。用土壤测试值变异程度小的地方获得的校正曲线,将会低估了土壤测试值变异程度大的地方为获取最大经济产量的最佳施肥量。

3. 结语

如果以上的观点是正确的话,那么这样的结果是令人十分不愉快的。因为目前大多数测土推荐施肥是通过在一地块内采一混合土样,再通过在地力均匀一致(即土壤测试的空间变异小)的田间小区研究所得的校正关系这样的步骤进行的。同时这也有助于解释为什么很多农民和肥料经销商声称当他们施用了比用校正关系所预测的施肥量更高的肥料量时,获得了更好的经济效益,如果他们的地块肥力状况存在着空间变异,本文提出的理论认为当他们施用更高的施肥量时,将会获得更好的经济增产量。但这并不是全盘否定用校正关系进行推荐施肥的技术。只是认为我们应该以不同的方式应用校正关

系。事实上，由于空间变异问题客观存在，如何获得土壤测试值、产量反应和施肥量之间更为准确的校正关系比以前任何时候都更为重要，这对我们的是个挑战，要求我们把这些校正值和有关空间分布的其它知识以及田间规模土壤测试值的变异性结合起来考虑，才能更好地解决这一问题。

六. 习惯施肥和变量施肥管理中磷、钾利用的比较

(Max W. Hammond)

华盛顿的研究表明, 网格取样和变量施肥管理的应用能减少肥料施用量的错误。

对华盛顿中部的哥伦比亚盆地北部马铃薯地块上进行的变量施肥以调节土壤磷、钾的空间变异性的研究始于 1986 年。由于这个地区的土壤的砂性和酸性, 土壤空间变异的取样以 200 英尺×200 英尺的网格基础, 土壤测定数据经地统计学分析后以描述田间的养分变异。利用 Soilection™ 技术开展变量施肥。

1. 华盛顿的研究

在已往的研究中, 磷、钾的变量施肥仅取决于土壤测试值的三个水平, 即高、中、低。结果指出, 以每个地块为基础的肥料投入一般是相同的, 但是肥料要施在需要的地方。这个研究揭示以习惯法为基础的磷、钾施用不足和施用过量等弊端。

为进一步研究肥料施用的效益, 于 1993—1994 年在那些已采取网格取样制图的地块中选取了 6 个地块。这些地块被认为是当地按常规方法管理的。

根据田间养分含量, 田间磷、钾的变异被描述成五种水平, 即极高、高、中、低和极低 5 个管理水平。对每种管理水平, 在马铃薯生产都作了肥料推荐, 并计算了各管理水平每英亩的 P_2O_5 和 K_2O 的总施用量。通过每块地的所有网格的土壤测试结果, 计算了所有地块的平均值, 并相应给出了每个地块的肥料推荐量和每个地块的 P_2O_5 和 K_2O 的施用总量。

2. 结果

根据 6 个地块 P_2O_5 和 K_2O 的施用总量进行变量管理的研究结果见表 1。6 个地块中的 4 个的磷肥施用量有所增加。然而, 6 个地块中只有一个钾的施用量增加。当这个变化按每英亩计算后, 这种变化是小的, 并支持了前人的研究结果。

表 1 变量施肥技术引起的 P_2O_5 和 K_2O 推荐量的变化

地块	英亩	P_2O_5 磅/地块 ¹	P_2O_5 磅/英亩	K_2O 磅/地块	K_2O 磅/英亩
1	135	(637)	(4.7)	(1038)	(7.7)
2	150	1528	10.2	8367	55.8
3	153	5216	34.1	(614)	(4.0)
4	142	2392	16.8	(4918)	(34.6)
5	130	(5054)	(38.9)	(1355)	(10.4)
6	140	247	1.8	(3692)	(26.4)
6 个地块的平均值/ 英亩			3.2		(4.6)

¹ 值等于习惯施肥减去变量施肥。括号里的数字表示总施肥量的减少, 其余的代表变量施肥管理引起的总施肥量的增加。

更有意义的是该方法减少了肥料用量上不合理性。对 5 个管理水平上并进行了习惯施肥和变量施肥效益的比较。

上述比较的结果显示, 习惯施肥最严重的错误是在测试值低和很低的地带磷、钾肥施用量不足。在这些地带, 施肥不足的错误将减少产量, 更为重要的是降低了马铃薯的品质。过量施肥在经济和环境上都是不可接受的。在测试值极高和高的地带, 存在过量施肥和错误, 但大多数情况下涉及的面积较小。表 2 提供了施肥量有错误的例子。

应用 5 种水平的营养管理更能灵活地合应田间变异。