

关于推荐(配方)施肥中几个 技术性问题

陈伦寿 毛达如 张承东

(北京农业大学)

摘 要

作者根据在河北等省(区)进行的试验和研究经验,就推荐(配方)施肥中有关试验设计、资料汇总、田间校验和土壤生产力等级的判别等问题提出了自己的见解。

我国不少地区的作物施肥至今基本上仍停留在经验性施肥阶段,过量施肥(尤其是氮肥)或投肥不足现象时有发生,土地增产潜力不能充分发挥。因此,研究在充分利用有机肥源的基础上,如何经济合理地施用化肥,具有重要的生产意义。80年代以来,国内先后开展了推荐(配方)施肥的研究和推广工作,取得了明显的增产、节肥和增收的效益。本文根据我们几年来的研究,对推荐(配方)施肥中几个技术性问题作一阐述。

一、关于 3×3 试验设计的实用性和可行性问题

为了准确地筛选最佳生产因子,在试验设计上多采用现代回归设计,如回归正文设计、回归旋转设计以及二次回归饱和D—最优设计等。本文仅就国内采用的氮磷二因素三水平试验设计(简称 3×3 设计)在大面积推荐(配方)施肥中的应用价值问题作一简要评述。

多年来,我们在北京、内蒙、河北以及河南等省市进行的肥料多点分散试验均采用 3×3 试验设计。该试验设计是一种均衡的、完全实施方案,并具有正交性。每个试验共有9个处理,即: N_0P_0 , N_1P_1 , N_2P_0 , N_0P_1 , N_1P_1 , N_2P_1 , N_0P_2 , N_1P_2 和 N_2P_2 。冬小麦每个处理小区面积为0.05亩,共占用土地面积0.45亩。由于肥料多点分散试验为群体试验,在一个县的范围内,每种作物至少应布置30个试验点,并按不同土壤肥力水平的比例均匀分布,参照统一方案实施。因此,试验采用点重复,在同一试验一般不设重复。不同水平的肥料用量为等间距关系,如 N_0 、 N_1 和 N_2 分别为0、8和16公斤N/亩; P_0 、 P_1 和 P_2 分别为0、4.5和9公斤 P_2O_5 /亩。这样,既可控制施肥范围较宽,便于获得较多的信息,同时又便于计算小区施肥量和实施。

目前对 3×3 试验设计的争议主要有二:一是水平数较少,难免影响试验的精度;二是试验不设重复。这是否影响试验结果的正确性?我们认为,多水平和多重重复的肥料试验,无疑有利于提高试验的精度。但同时也必然加大完成试验试验的难度,在目前农户承包的条件下,无论从占用田地面积或从农户的技术水平来看,实难承担这种试验任务。 3×3 试验设计的水平数虽少,但各试验点的空间分布是均匀的,它已控制了反应曲线的3个基本点即起点、最高

点和下降点，由这3个点导出的二次曲线有较高的拟合性，可以获得大量用于指导施肥的有用信息。

关于重复问题，回归试验的目的不在于取得一个点的准确性，重要的是获得肥料反应的全程范围，因此， 3×3 试验设计，不强调点内的重复，而必须要求点间的重复，即把不同点分散在不同肥力的土壤上。

另外，每个试验点肥料效应可用下列二元二次回归方程进行描述。

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3Z + b_4Z^2 + b_5XZ$$

式中： X 、 Z 分别为氮(N)、磷(P_2O_5)用量； b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 和 b_5 为偏回归系数； Y 为施用氮、磷肥料后的产量。对所得肥料效应方程式，除应逐个进行拟合性检验外，尚需进行等产线图形的数学判别，属于典型的凸形曲面者方能用于计算经济最佳施肥量。肥料多点分散试验中出现了一定比例的非典型图形(如凹形曲面，鞍形曲面)，因此，有人对 3×3 试验设计所获得的二元二次肥料效应方程用于推荐(配方)施肥的实用价值表示疑虑。

1986—1987年，我们在河北省曲周县科研基点上获得了57个冬小麦和30个夏玉米的二元二次肥料效应方程。为求得不同作物的经济最佳施肥量对其等产线图形进行了数学判别，结果列入表1。结果表明，众多的由 3×3 试验设计得到的二元二次肥料效应方程中，绝大多数的等产线图形属于典型的凸形曲面(其中冬小麦试验占3/4，夏玉米试验占2/3)；而非典型的图形仅占一小部分，从而有理由认为，由 3×3 试验设计获得的二元二次肥料效应方程，用于计算施肥量具有一定的可用性。应该强调指出，国内外试验资料表明，出现一定比例的非典型等产线图形的原因，不在于 3×3 试验设计本身，而主要是由于农户田块中地力不匀和灌溉、耕作及种植密度等措施不当造成的，但这也是难以完全避免的。不过，通过合理的试验布局和局部控制，提高试验地的管理水平，非典型图形的比例是可以降低的。联合国粮农组织(FAO)已将 3×3 试验设计作为进行肥料多点分散试验的规范化方法，并在40多个发展中国家推广应用。

表1 肥料多点分散试验中各类等产线图形的比例

作物	试验点数	凸形曲面	鞍形曲面
冬小麦	57(100)*	43(75.4)	14(24.6)
夏玉米	30(100)	20(66.7)	10(33.3)

* 括号内数字为所占比例的%。

二、关于试验资料的汇总问题

关于多点、多年试验资料汇总问题，尽管已经提出了一些聚类或分类方法，但多数是经验性的，至今仍无一个公认的、行之有效的方法。我们在前人工作的基础上，对各种聚类方法进行了比较，提出一种“动态聚类”分析法。

动态聚类法是建立在相同的试验点之间的土壤肥力和生产技术水平是基本相似这一假设基础之上的。当一些试验点之间的这种差异没有超过试验误差的允许范围时，就可以认为，这些试验点的肥料效应方程反映了同质的肥料效应规律，可以将它们进行归类。同一类各处理产量的平均值称为类均值，据此即可求出反映这些点肥料效应规律的新的回归方程，称为类特征肥料效应方程。这就是电算机动态聚类的第一步。

当第一次动态聚类结束后，用其类特征肥料效应方程分别与待聚类的原始方程依次进行F检验，求得第二次聚类的各类处理的类均值和类特征肥料效应方程。如此循环下去，直到几次聚类结果与 $n-1$ 次聚类结果相同时，聚类过程即告结束。此时电算机便打印出每类的类

均值、类特征肥料效应方程以及各类方程所包括的试验点号。

总之，动态聚类法用于多点、多年试验资料汇总的创新点在于不断修改类均值，使其不断接近该类所隐含的真值。因此，最终获得的类特征肥料效应方程能够反映肥料效应的真实情况，因而对推荐(配方)施肥才有其实用价值。例如，1987—1988年我们在河北省曲周县科研基点上，累计布置了90个冬小麦分散试验，实际获得产量数据的共有87个点，剔除异常图形的点，参与动态聚类的回归方程计有69个。冬小麦回归方程动态聚类结果列入表2。

表2结果表明，69个冬小麦回归方程，经动态聚类法分为4类，各类可用各自的类特征肥料效应方程进行描述，检验结果均达到极显著水准。并据此计算出各类麦田经济最佳施肥量、预报产量和经济效益(表3)。

表2 69个冬小麦回归方程动态聚类结果

类别	地力水平	试验点	类特征肥料效应方程	F值
1	高产	7	$Y = 280.4 + 16.71x_1 + 14.94x_2 + 0.064x_1x_2 - 0.716x_1^2 - 0.911x_2^2$	168**
2	中高产	12	$Y = 235.6 + 11.12x_1 + 19.80x_2 + 0.155x_1x_2 - 0.483x_1^2 - 1.47x_2^2$	276.2**
3	中产	46	$Y = 158.3 + 8.87x_1 + 28.12x_2 + 0.137x_1x_2 - 0.372x_1^2 - 1.883x_2^2$	140.6**
4	低产	4	$Y = 81.9 + 4.89x_1 + 12.57x_2 + 0.079x_1x_2 - 0.215x_1^2 - 0.916x_2^2$	92.7**

表3 曲周县冬小麦推荐施肥量、预报产量和经济效益

类别	地力水平	经济最佳施肥量 (公斤/亩)		预报产量 (公斤/亩)	效益经济 (元/亩)
		N	P ₂ O ₅		
1	高产	10.6	6.6	440.5	56.7
2	中高产	10.4	6.1	374.5	47.1
3	中产	10.5	6.9	324.8	59.8
4	低产	7.7	5.2	150.7	15.6

* 小麦按0.48元/公斤，N按0.96元/公斤和P₂O₅按1.75元/公斤计算。

三、关于田间校验研究问题

田间校验研究是推荐(配方)施肥中非常重要的技术环节。通过田间校验可以检验不同方法推荐的施肥量所获得的实际产量(Y)与方程(模型)的预报产量(\hat{Y})之间的拟合度，可用A值表示：

$$\bar{A} = \frac{\text{实际产量}(Y)}{\text{预报产量}(\hat{Y})}$$

若式中的 $\bar{A} = 1$ ，则二者完全拟合； $\bar{A} < 1$ ，则预报产量偏高； $\bar{A} > 1$ ，则预报产量偏低。

表4所列数据是1988—1989年度冬小麦推荐(配方)施肥的田间校验结果。占权重13%的高产户，其 \bar{A} 值为1.11；占权重27%的中高产田，其 \bar{A} 值为1.09；占权重53%的中产田分两种情况：大部分水浇地其值为1.05，而少部分缺水麦田，其 \bar{A} 值为0.78；占权重7%的低产田，其值为1.33，从总体来看，约占全县70%的麦田，施肥模型的拟合度较高，一般 \bar{A} 值变动在1.05—1.11之间，而且变异很小。田间校验结果证明，采用动态聚类法汇总多点、多年试验资料得出的各类特征肥料效应方程，用于施肥决策具有较好的反馈效果。

应该说明的是，中产田中的少数缺水麦地，由于受灌溉条件的限制，致使推荐区小麦实际产量未能达到预报产量目标，即使在1989年丰收的气象条件下， \bar{A} 值仍小于1。分布在县东南的低产麦田，多为砂质旱地，历年产量较低。但1989年春，由于雨水调顺，后期又无干热风威胁，因此，旱地小麦产量较往年有较大幅度的增产。在这种特殊情况下，低产麦田的值偏高，拟合度不好，这些情况恰恰说明气象因素和灌溉条件不仅影响小麦产量，而且给田间校验结果带来一定的偏差。

表 4

曲周县1988—1989年度冬小麦施肥模型田间校验结果

点 地	地力	实际产量 (y) (公斤/亩)	预报产量 (\hat{y}) (公斤/亩)	Ai	\bar{A}	SA	C.V. (%)	$\bar{S}\bar{A}$
河南噙河一村	高	514.66	439.5	1.171	1.11	0.0905	8.15	0.064
塔寺桥苏小桥	高	458.55	439.5	1.043				
霞桥乡小王庄	中高	413.33	374.6	1.103	1.09	0.0522	4.79	0.026
里岳乡北里岳	中高	381.33	374.6	1.017				
里噙乡宁屯村	中高	426.66	374.6	1.138				
龙堂乡南龙堂	中高	416.00	374.6	1.110				
四噙乡四噙村	中	301.33	324.8	0.927	1.05	0.0810	7.71	0.036
褚庄乡张庄村	中	333.33	324.8	1.026				
城关镇前河东	中	368.00	326.8	1.133				
候村镇礼节谷	中	360.00	324.8	1.108				
依庄乡依庄村	中	346.66	324.8	1.067				
安寨乡谷庄村	中	226.66	324.8	0.697	0.78	0.0688	8.82	0.040
马连谷杨谷村	中	266.66	324.8	0.820				
呈孟乡张埠村	中	264.00	324.8	0.812				
槐桥乡东潭头	低	200.00	150.5	1.328				

四、关于土壤生产力等级的综合判别问题

动态聚类是对土壤肥力和生产技术水平的综合分类。它所得的类特征肥料效应方程则表征某一类土壤生产能力。因此，在应用类特征肥料效应方程进行施肥推荐时，尚需解决土壤生产力等级的判别问题。我们借助于电算机技术，采用多元统计判别方法对综合判别土壤生产力等级进行了探索性研究。

我们在河北省曲周县进行的作物推荐(配方)施肥中，采用土壤有机质、Olsen—磷、全氮、碱解氮以及土壤天然生产力(b_0)等5个因子进行土壤生产力等级的综合判别。在前述动态聚类时，把多点试验的结果分成了几类，每类所包括的各试验点的土壤养分测试值和无肥区产量构成了反映这类土壤生产力总体统计样本。在其试验区域内如有一新的土壤样本，知其土壤养分测试值和土壤生产力(或上季作物产量)水平，那么，就可以通过距离分析来判别新样本距哪个总体最近，则把它划分为哪类土壤生产力等级。并可以应用此类特征肥料效应方程推荐该地块的最佳施肥量并绘出预报产量。

我们采用的马氏(Mahalanobis)距离判别方法对线性变换具有不变性，即不受各因子量纲的影响，这样就使得各因子都处于平等重要的地位。

马氏距离定义是：某个样本到某一总体中心的距离为： $D^2(X, W) = (X - \mu) \Sigma^{-1} (X - \mu)$ 。式中： $D^2(X, W)$ 为某样本到某总体的距离； $(X - \mu)'$ 为某个样本； $\Sigma(X - \mu)$ 为某样本总体。

等式中： $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ ， X 表示新样本各因子测定值的列向量； $\mu = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_p)'$ ， μ 表示总体中P个因子的均值列向量。

$\Sigma = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{k=1}^N (X_{ki} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_j) \right]$ ，式中 $i, j = 1, 2, \dots, p$ ； N 表示总体中所含的样本容量。

比较 $D_2(X, W)$ 和 $D_2(Y, W)$ 的大小，如果 $D_2(X, W)$ 小于 $D_2(Y, W)$ ，则样本判别为X总体，否则即为Y总体。马氏距离判别方法不仅可以用来判别未知样本属 (下转第176页)

一定的比例，作物含氮量的临界指标和氮离子与其它离子的相互关系的诊断研究也应给予注意。

参 考 文 献

- [1] 刘芷宇、唐永良、罗质超，主要作物营养失调症状图谱，农业出版社，1983。
- [2] 崔继林等，陈永康水稻高产经验研究，第一集，30页，上海科技出版社，1964。
- [3] S. Malsushima, Rice cultivation for million. Japan Soc. Press, 1980.
- [4] D. Bouma, Diagnosis of mineral deficiencies using plant test, In «Encyclopedia of plant physiology», New series, Vol. 15A, pp120-146, New York, 1983.
- [5] 河野通佳，水稻试验的采取法，《栽培植物营养诊断分析法》，日本农林省分析委员会，1974。
- [6] Summer M. S; Comm. Soil Sci. plant Anal., 8: 149-167, 1977.
- [7] 丘星初，水稻营养诊断研究—诊断图法，土壤学报，22(2): 191—197, 1985。

(上接第 172 页) 于哪一类，而且还可以通过原始样本的回代判别研究聚类是否合适等等。上述多因子综合判别土壤生产力等级的方法，应用于施肥咨询实践已经取得了较好的结果。

总之，优化推荐(配方)施肥是一项以田间生物试验为基础、土壤测试与多点分散试验相结合的综合技术。它是应用电算机编制县级施肥咨询服务软件系统的依据，必将进一步推进我国推荐(配方)施肥技术向数量化方向发展。