

## 曲周作物施肥模型与系统(3HCCFS-90-曲周)的研究

毛达如 陈伦寿 张承东 骆美贞

(中国农业大学 资源与环境学院,北京 100094)

**摘要** 本研究采用盆栽试验和田间试验方法对国内常用的2种施肥模型(二次和平方根)和3种试验设计(D饱和设计和 $3 \times 3$ 设计, $5 \times 5$ 设计)进行了比较研究。确定灌溉农田以二次模型最优,旱地以平方根模型最佳。 $3 \times 3$ 设计简单、实用、准确、易于在农户中推广应用。研究认为对多点分散试验的结果,可采用动态聚类分析的方法,获得类肥料效应方程以指导推荐施肥。研究中建立的3HCCFS-90曲周施肥系统可实现90%的预报吻合度。

**关键词** 动态聚类;施肥模型;施肥系统

中图分类号 S147

文章编号 1007-4333(2003)S0-0053-04

文献标识码 A

### Fertilization models and computer system (3HCCFS-90-Quzhou) for crops in Quzhou county

Mao Daru, Chen Lunshou, Zhang Chengdong, Luo Meizhen

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** Two kinds of fertilization models (quadratic and square root polynomial) and three kinds of experimental designs (saturated design,  $3 \times 3$  design and  $5 \times 5$  design) were comparatively studied by both of the pot and field experiments. It was concluded that the quadratic polynomial model was the best one for irrigated land and the square root polynomial model for the dry land. The  $3 \times 3$  design possessed advantages of simplicity, practice and accuracy, and therefore could be easily used by farmers. The results from the multi-site dispersed fertilizer experiments could be analyzed by using the method of dynamic classification statistics, in order to obtain the general function of fertilizer effects for guiding the fertilizer recommendation. The 3HCCFS-90-Quzhou model of fertilization specifically developed for Quzhou County could estimate wheat and summer corn yields in the region with about 90% of accuracy.

**Key words** dynamic classification statistics; fertilization model; fertilization system

## 1 研究背景与目标

### 1.1 黄淮海平原农业开发的需要

黄淮海平原地跨五省二市是华北地区的最大平原,现有耕地180万 $\text{hm}^2$ ,改良前 $2/3$ 属于中低产田,生产水平低而不稳。若科学地改造传统农业,其增产潜力是巨大的。为此“七五”计划期间国家立项开展“黄淮海平原大面积经济施肥和培肥技术研究”。本研究的目标是为曲周试验区提供冬小麦、夏玉米优化施肥模型,建立作物施肥决策、咨询服务的计算机施肥系统(3HCCFS-90-曲周)为大面积冬小麦、夏玉米高产、优质、低成本服务。

### 1.2 提出适合曲周试区及黄淮海平原地区冬小麦-夏玉米生产体系

1) 优化施肥模型;2) 多点(90个试验点)氮、磷、肥料 $3 \times 3$ 试验设计方案;3) 以土壤肥力为基础

的试验结果多点动态聚类方法提供不同土壤肥力水平下,获得冬小麦、夏玉米最大经济效益的氮、磷肥料用量和养分配比(当时当地土壤有效K含量在临界水平以上,暂不考虑钾肥的施用),用平衡施肥理论实现高产、稳产、优质、低成本的目标。

### 1.3 建立曲周作物优化推荐和咨询计算机施肥系统

即黄(H)淮(H)海(H) County Computer Fertilization System 90-曲周,简称3HCCFS-90-曲周施肥系统。

## 2 施肥模型的研究

长期以来我国一直沿用传统的经验施肥,只强调大量供给农作物生长所需的充足肥料,没有认识到施肥的经济效益和可变的数量化概念。近代施肥技术开始于20世纪初叶,1909年的米氏方程(E. A. Mitscherlich)把肥料和产量之间的增产效应用数学方程或函数表示,常称为肥料效应函数或施肥模型。

收稿日期:2003-09-18

作者简介:毛达如,教授,主要从事现代施肥技术研究。

根据施肥模型可以运用边际效应理论分析法,定量算出肥料对作物的增产值,施肥成本,施肥效益。进而确定优化最佳施肥量,肥料养分配比和科学的施肥方案。由此,从定性的经验施肥阶段进入了数量化的近代施肥阶段。近代施肥是以高产、优质、低成本为目标,通过施肥模型以确定获得最大经济效益的施肥量、肥料养分配合比例。因此,施肥模型的研究是最优化、数量化科学施肥的基础。

## 2.1 模型的比较

作物优化推荐施肥首先应选择作物适宜的施肥模型、高效率的肥料田间设计和田间试验方法。1985年国内尚无统一规范的方法,由于模型和方法的不同推荐的结果也多不相同。因此本研究采用盆

栽生物试验和田间试验的方法,以冬小麦为对象,对国内常用的2种施肥模型(二次施肥模型和平方根施肥模型)和3种试验设计(D-饱和设计、3×3设计、5×5组合设计)的4种模型进行了比较研究。试验土壤为中国农大昌平试验站潮土(表1)。

2种模型模拟结果见表2。

表1 试验土壤(潮土)的农业化学性状

Table 1 The agricultural chemistry characters of soil for experiment (aquent)

土壤有机质/ %	全氮 N/ %	Olsen - P/ (mg kg <sup>-1</sup> )	交换性 K/ (mg kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (水浸法)
1.24	0.061	85.0	108.3	8.2

表2 54个试验点2种模型模拟结果

Table 2 Simulate result of two different models from 54 experiment spots

施肥模型	数学判断可用	占54个试验点的	实际可用	占54个试验点的
	方程个数	百分数/ %	方程个数	百分数/ %
平方根式( $S=0.5$ )	33	61	26	48
二次式( $S=1$ )	51	94	43	80

注: 计算施肥量时产品单价 1.2元 kg<sup>-1</sup>, N 2.4元 kg<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.5元 kg<sup>-1</sup>; 肥料效应方程有最大值, 经济施肥量不为负数; 从肥料效应方程计算的经济施肥量没有超出试验范围即 N 1.07 kg 4m<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6 kg 4m<sup>-2</sup>

表2结果表明,对54个点的多点分散试验结果,二次式模型( $S=1$ )比平方根式模型( $S=0.5$ )更能反映出作物施肥量与产量之间的回归关系。由于平方根模型峰顶平缓,形成隋圆体的峰顶大部分数值都外推误差大,方程可用性减少,因此在非灌溉的旱地以平方根模型较优。无论盆栽或田间试验数据不同变换式的二次模型模拟,均以二次模型( $S=1$ )最能反映肥料与产量的回归关系,因此一般灌溉地以二次模型最优。

## 2.2 3种试验设计效率的比较

研究采用盆栽生物试验方法(土培),把3种试验设计的72个处理盆钵放在同一温室中,全部管理措施相同,假设3种试验设计的全部处理组合视为同一总体,可求得同一个肥料与产量的效应函数为标准肥料效应函数:

$$Y = 6.25 + 16.65N + 11.25P + 3.46NP - 7.80N^2 - 5.66P^2$$

再分别与3种试验设计的肥料效应函数进行比较(表3)。

表3 3种盆栽试验设计效率的比较(小麦,农大146)

Table 3 The comparison of efficiency of three types of potted plant experiment desityn (maize gricultural university 146)

设计	肥料效应函数	平均值	标准差
标准函数	$Y = 6.25 + 16.65N + 11.25P + 3.46NP - 7.80N^2 - 5.66P^2$		
D-饱和设计	$Y = 6.10 + 14.10N + 13.19P + 3.30NP - 6.53N^2 - 6.67P^2$	0.66	0.11
3×3设计	$Y = 6.00 + 16.38N + 7.84P + 3.30NP - 6.28N^2 - 3.42P^2$	1.87	0.45
5×5组合设计	$Y = 6.60 + 15.28N + 16.03P + 3.59NP - 6.80N^2 - 3.56P^2$	1.50	0.57

表3表明,D-饱和设计的肥料效应函数与标准效应函数最接近,但3种试验设计与标准效应函数差值平均值,均在差值标准差的范围内,因此3种设

计都能反映该试验条件下肥料与产量的回归关系,但从我国农村田块分散,田间实际操作管理方便角度考虑以3×3设计简单、实用。

### 3 多点 N、P、3 × 3 试验设计的田间实施

#### 3.1 以土壤测试确定土壤肥力分级

土壤测试采用常规土壤农化分析方法, 测试项

目为有机质: 丘林法, 全 N: 开道法, 碱解 N: 康维皿扩散法, Olsen-P: 0.5M NaHCO<sub>3</sub> 法, 建议土壤肥力分级为 4 级(表 4)。

表 4 土壤养分测试值的土壤肥力分级\*

Table 4 The classification of soil fertility for soil nutrient test result

土壤肥力水平	有机质/ %	全 N/ %	碱解 N/ (mg kg <sup>-1</sup> )	Olsen P/ (mg kg <sup>-1</sup> )	冬小麦基础产量/ (kg hm <sup>-2</sup> )
低肥力	0.90	0.06	40.0	<7.5	<2 248.9
中等肥力	1.10	0.07	50.0	8.0	2 248.9 ~ 3 748.1
中高肥力	1.20	0.08	55.0	8.5	3 748.1 ~ 5 247.4
高肥力	1.30	0.09	60.0	9.0	>5 247.4

注: 土壤交换性 K 均在 90 ~ 110 mg kg<sup>-1</sup> 的丰富范围内, 暂不施肥。

#### 3.2 施肥模型与试验设计的田间实施

根据二种施肥模型与 3 种试验设计效率的比较与研究, 采用二元二次施肥模型, 设 N 为  $x_1$ , P 为  $x_2$ , 其表达式为:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2 + b_3 x_2 + b_4 x_2^2 + b_5 x_1 x_2$$

冬小麦、夏玉米均采用 N、P<sub>3</sub> × 3 即二因素三水平全实施试验设计方案, 共 9 个处理: N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>、N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>。其中 N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub> 的施 N 水平为 0、0.54、1.07 kg hm<sup>-2</sup>, P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 的施 P 水平为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0、0.3、0.6 kg hm<sup>-2</sup>。每年在不同土壤肥力水平采用上述同一试验设计方案的随机区组设计, 在冬小麦-夏玉米生长期连续进行 3 年 90 个试验点的多点分散试验, 以检验不同年景, 不同土壤肥力水平和不同作物对肥料的效应和回归相关性。

### 4 多点分散试验结果的动态聚类分析

把每年冬小麦、夏玉米 180 个试验点 3 年共有 540 个试验的结果汇总、聚类, 并从中获得多种信息, 以指导推荐施肥和产量预测, 这是推荐施肥研究中的一个难题, 在本方法研究前, 一般有 4 种聚类方法即经验聚类, 多元函数聚类, t 检验聚类、协方差检验聚类。这些方法都难以在计算机上用科学方法自动比较聚类。本项研究在多元统计理论和聚类分析方法相结合的基础上, 提供了一个快速、自动、准确的计算机动态聚类新方法。

#### 4.1 动态聚类的方法

假设有二个试验点的原始数据及二个二元二次回归函数, 即

$$W_{1j}(j = 1, 2, \dots, 9)$$

$$Y_1 = a_0 + a_1 N + a_2 P + a_3 NP + a_4 N^2 + a_5 P^2$$

$$W_{2j}(j = 1, 2, \dots, 9)$$

$$Y_2 = B_0 + B_1 N + B_2 P + B_3 NP + B_4 N^2 + B_5 P^2$$

$W_{1j}$  表示第一个试验点中第  $j$  个处理的产量,  $W_{2j}$  类同, ..... 直到  $W_{9j}$  第 9 个处理的产量,  $Y_1$ ,  $Y_2$  分别表示第 1 个点和第 2 个点 N、P 肥料效应函数。

$Y_1$  回归方程对应的剩余平方和为  $SE_1$ , 剩余自由度为  $df_1$ ,  $Y_2$  回归方程的剩余平方和为  $SE_2$ , 剩余自由度为  $df_2$ , 2 条回归方程剩余平方和的和为  $SE_{1+2} = SE_1 + SE_2$ , 剩余自由度  $df_{1+2} = df_1 + df_2$ 。假设这两条回归方程是同质的, 它们可用合并后同一个回归方程来表达。可把 2 个试验点的产量数据合并, 求得一条新的回归方程  $Y_3$ 。

$$Y_3 = B_0 + B_1 N + B_2 P + B_3 NP + B_4 N^2 + B_5 P^2$$

剩余平方和为  $SE_3$ , 剩余自由度为  $df_3$ 。

用 3 条回归方程的剩余平方和及剩余自由度可构成 1 个  $F$  值, 即

$$F(df_3 - df_{1+2}, df_{1+2}) = \frac{(SE_3 - SE_{1+2}) / (df_3 - df_{1+2})}{SE_{1+2} / df_{1+2}}$$

查  $F$  表, 若  $F$  值  $> F_{0.05}$  或  $F_{0.01}$ , 表示  $Y_1$  与  $Y_2$  不是同质性。若  $F$  值  $< F_{0.05}$  或  $F_{0.01}$  则表示  $Y_1$  与  $Y_2$  是同质性, 可用  $Y_3$  来表示合并后 2 点的肥料效应方程。

多点分散试验中的动态聚类就是采用  $F$  检验方法确定试验点回归方程的同质性, 凡同质性的试验点, 均属于同一类土壤肥力分级水平, 同一类肥力分级的各试验点的产量数据可合并, 求得各处理的平均值称之为类均值, 进而计算这一类肥料效应方程, 称之为类肥料效应方程, 用边际分析方法, 求得优化

N、P 施肥量、养分配比和施肥后预测的产量 ( $Y$ )。

#### 4.2 动态聚类的过程

一般分为两步,第一步以第 1 个试验点的回归方程  $Y_1$ ,依次与  $Y_2, Y_3, \dots, Y_n$  比较,并逐对进行 F 检验。凡 F 检验不显著的各点产量数据合并,求得各处理产量的平均值和第 1 次聚类的类肥料效应方程。第二步把  $Y_1, Y_3, \dots, Y_n$  依次比较,和 F 检验,求得第 2 次聚类的类肥料效应方程,一直循环下去,直到聚类结果稳定为止。聚类结果求得每类的类均值,类肥料效应方程,每类包括的试验点(详见参考文献[4])

本方法在曲周试区经过 2 年的冬小麦、夏玉米的田间校验,反馈结果良好,聚类结果具有稳定性、惟一性和实用性。

### 5 3HCCFS-90-曲周计算机施肥决策、咨询系统的建立

本系统由以下 5 个模块组成。

**5.1 数据库是信息提取和管理的重要部分,根据农业应用特点,采用地名、姓名,单项土壤养分测定值作为检索条件,并可打印**

数据库有以下 6 个功能:

1) 按地名、姓名检索; 2) 按土壤性状检索土壤质地、土壤有机质、土壤全 N、土壤 Olsen-P; 3) 数据库的追加; 4) 数据库的删除; 5) 数据库的修改; 6) 数据库的统计 年份、土壤性状、土壤肥力类型。

#### 5.2 数据统计模块

有以下 5 个数理统计程序

1) 二元二次肥料效应方程,6 个偏回归系数的计算; 2) 逐步回归分析程序; 3) 主成份分析程序; 4) 2 个变量间的相关分析程序; 5) 平均值计算程序。

#### 5.3 多点分散试验结果的动态聚类分析模块

适用于统一试验方案的多点分散试验结果汇总、聚类,对 3×3 设计、5×5 设计,…… $n \times n$  设计均适用。消除聚类过程中人为因素的影响。具有客观性和真实性。

#### 5.4 土壤肥力判别模块

以下 4 种判别方式中,可选择任何一种进行土壤肥力分级的评判。

1) 土壤基础肥力(无肥区产量  $Y_0$ )和 4 项土壤肥力参数(有机质、全 N、碱解 N、Olsen-P);

2) 只有二项土壤肥力参数和前作冬小麦、夏玉米的产量、施肥量;

3) 只有前作冬小麦、夏玉米产量、施肥量;

4) 只有一项土壤养分测试值和前作冬小麦、夏玉米的施肥量。

#### 5.5 施肥决策模块

有 2 个功能:一是作物优化施肥量的确定;二是预报最大经济效益下的产量以及优化推荐施肥配套的栽培技术要点。

### 6 结 语

在 1986—1990 年的研究与推广中建立了曲周作物施肥的模型与系统(3HCCFS-90-曲周),1990—1989 年在曲周县冬小麦 2.67 万  $hm^2$ 、夏玉米 1.33 万  $hm^2$  大面积推广应用和校验证明有增产效果,系统运行正常。冬小麦、夏玉米产量预报吻合度达 70% 以上。若经过模型的修正,可以实现 90% 以上的预报吻合度,允许偏差不得超过  $\pm 10\%$ 。研究在当时国内推荐施肥的模型与方法上有首创性,证明以土壤肥力为基础可以跨越不同土壤类型采用同一土壤肥力等级的土壤测试值进行优化推荐施肥,可以达到相同的目标与效益,这在大面积推广应用中已被证实。

### 参 考 文 献

- [1] Yates F, Lipton F. An exploratory analysis of a large set 3×3 fertilizer trails in Indian expire[J]. Jour Of expire Agri 1959, 27(128):263~273
- [2] FAO. A standard guide to soil fertility investigation on farmers fields[R]. FAO Soil Bulletin 1970, 11
- [3] 毛达如,张承东,骆美贞.推荐施肥技术中施肥模型与试验设计效率的研究[A].黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术论文集[C].北京:中国农业科技出版社,1990.33~39
- [4] 毛达如,陈伦寿,张承东.肥料多点分散试验结果的动态聚类分析,黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术论文集[C].北京:中国农业科技出版社,1990.27~32
- [5] 张承东,毛达如,陈伦寿,等.曲周县计算机施肥决策与咨询服务系统[A].黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术论文集[C].北京:中国农业科技出版社,1990.131~133