

# 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究

## IV. 土壤速效氮磷钾测定值与最佳施肥量的关系

张建丽

(福建省农产品质量安全检验检测中心, 福建 福州 350003)

**摘要:** 根据近年来在水稻、甘薯、马铃薯和花生上完成的众多氮磷钾肥效试验结果建立肥效模型, 计算各试验点的相应氮磷钾推荐施肥量; 对采集的基础土样测定土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量; 然后在氮、磷、钾推荐施肥量与相应土测值之间建立起回归关系式。结果表明, 这种关系式满足指数回归模型, 各回归方程均达到统计显著水平。建立的关系式使得本来只有相对意义的土壤速效养分测定值转变为直接用于确定施肥量的参数。因此, 该关系式的建立使肥料效应函数法同时起到了宏观调控和微观指导的全面功能。

**关键词:** 粮油作物; 氮磷钾; 土测值; 推荐施肥

中图分类号: S 143

文献标识码: A

### Soil testing and fertilization indices for major grain and oil crops in Fujian

#### IV. Correlation between soil test data and fertilization model

ZHANG Jian li

(Fujian Inspection and Testing Centre for Agricultural Product Quality and Safety, Fuzhou,  
Fujian 350003, China)

**Abstract:** Based on a large number of field fertilization experiments on rice, sweet potatoes, potatoes and peanuts, fertilization models were established. Soil tests for alkali-hydrolyzable nitrogen, Olsen-P and available K were conducted for data to perform a regression analysis against these models. The results showed a correlation in an exponential function with F values reaching significant level. Thus, the established models were considered applicable in practice.

**Key words:** grain and oil crops; NPK; soil testing; fertilization model

土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾测定值与最佳施肥量的关系是测土配方施肥技术的重要研究内容。我国在 20 世纪 80~90 年代的配方施肥技术研究和实践中, 以测土施肥法和肥效效应函数法的两大系统方法<sup>[1]</sup>为依据, 形成了“先效应后测土”的技术路线<sup>[2]</sup>。由于田间肥料试验费时、费力、投资大, 且不可能在每个地块上经常进行。因此, 在进行肥料田间试验的同时, 采集基础土样进行土壤速效氮磷钾养分测定, 根据肥效试验结果建立肥效模型, 并由此计算推荐施肥量。然后将推荐施肥量与土测值进行回归统计, 使二者之间建立起一定的关系式, 达到用土测值来预测具体地块推荐施肥量的目的, 从而使推荐施肥方法同时起到了宏观调控和微观指导的全面功能。

自 20 世纪 80 年代以来, 福建省对肥效效应函数法配方施肥进行了大量的试验研究和推广应

用<sup>[3~4]</sup>, 有着扎实的工作基础。本文根据近年来在水稻、甘薯、马铃薯和花生上的不同氮磷钾用量的肥效试验结果, 及其试验地基础土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾的测定结果, 采用“先效应后测土”的技术路线, 探讨土测值与粮油作物推荐施肥量的关系, 以期为测土配方施肥技术的因土计算施肥量提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 二因素肥效模型试验

多年来, 主要采用  $3 \times 3$  设计和 D- 饱和最优设计 2 种, 用于旱作物肥效试验。 $3 \times 3$  设计共 9 个处理, 以氮钾为例, 即 (1)  $N_0K_0$ ; (2)  $N_0K_1$ ; (3)  $N_0K_2$ ; (4)  $N_1K_0$ ; (5)  $N_1K_1$ ; (6)  $N_1K_2$ ; (7)  $N_2K_0$ ; (8)  $N_2K_1$ ; (9)  $N_2K_2$ 。氮磷、磷钾二因素的设计方案与此类似。“0”水平表示不施肥;

收稿日期: 2009-02-02 初稿; 2009-06-17 修改稿

作者简介: 张建丽 (1960-), 女, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料测试和平衡施肥推广工作 (E-mail: fjtphy@sina.com)

基金项目: 国家测土配方施肥补贴项目、国家科技支撑项目 (2008BAD4B10); 国际植物营养研究所 (IPNI) 合作项目 (Fujian-13)

“1”水平的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施肥量，在水稻上推荐N 150 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 105 kg·hm<sup>-2</sup>，在甘薯上推荐N 180 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 225 kg·hm<sup>-2</sup>，在马铃薯上推荐N 225 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 270 kg·hm<sup>-2</sup>，在花生上推荐N 75 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 90 kg·hm<sup>-2</sup>；“2”水平施肥量是在“1”水平施肥量基础上增加50%。

D-饱和设计共6个处理，以氮钾为例，即(1) N<sub>0</sub>K<sub>0</sub>；(2) N<sub>0</sub>K<sub>1</sub>；(3) N<sub>1</sub>K<sub>0</sub>；(4) N<sub>0.7</sub>K<sub>1</sub>；(5) N<sub>1</sub>K<sub>0.7</sub>；(6) N<sub>0.45</sub>K<sub>0.45</sub>，下标表示施肥比例。氮磷、磷钾二因素的设计方案与此类似。“1”水平表示试验设计最大施肥量，在甘薯上推荐N 300 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 300 kg·hm<sup>-2</sup>，在马铃薯上推荐N 300 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 375 kg·hm<sup>-2</sup>，在花生上推荐N 120 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg·hm<sup>-2</sup>和K<sub>2</sub>O 135 kg·hm<sup>-2</sup>。各处理的施肥量按下标比例折算。

在具体实施时，各试验地因土壤肥力和产量水平的差异对推荐施肥量水平做适当调整，其他处理按试验编码值调整。试验采用3次重复，随机区组排列，小区面积20~25 m<sup>2</sup>，同一个试验的小区面积相同。选择当地具有代表性的土壤类型和肥力水平的地块作为试验田。

## 1.2 三因素肥效模型试验

主要采用5水平回归最优设计和“3414”田间试验设计2种。5水平回归最优设计主要用于旱作物肥效试验，共12个处理，氮磷钾各5个水平，即(1) N<sub>0.5</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>1</sub>；(2) N<sub>0.5</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>0</sub>；(3) N<sub>0.14</sub>P<sub>0.14</sub>K<sub>0.75</sub>；(4) N<sub>0.86</sub>P<sub>0.14</sub>K<sub>0.75</sub>；(5) N<sub>0.14</sub>P<sub>0.86</sub>K<sub>0.75</sub>；(6) N<sub>0.86</sub>P<sub>0.86</sub>K<sub>0.75</sub>；(7) N<sub>1</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>0.25</sub>；(8) N<sub>0</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>0.25</sub>；(9) N<sub>0.5</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0.25</sub>；(10) N<sub>0.5</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0.25</sub>；(11) N<sub>0.5</sub>P<sub>0.5</sub>K<sub>0.5</sub>；(12) N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>。下标表示施肥比例，“1”表示试验设计的最大施肥量，与上述的二因素D-饱和设计的推荐用量相同。

“3414”试验设计的氮磷钾各4个水平，14个处理，即(1) N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>；(2) N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>；(3) N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>；(4) N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>；(5) N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>；(6) N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>；(7) N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>；(8) N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>；(9) N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>；(10) N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>；(11) N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>；(12) N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>；(13) N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>；(14) N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>。其中，“2”水平表示N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的推荐用量，施肥量与上述二因素3×3设计的试验相同；“0”水平为不施肥；“1”水平的用量为“2”水平的50%，“3”水平的用量为

“2”水平的150%。

试验采用多点分散不设重复的方法，每个试验点采用区组排列，小区面积20~30 m<sup>2</sup>，同一个试验点小区面积相同。在试验具体实施过程中，各试验地同样可根据土壤肥力和目标产量水平对推荐施肥量进行调整，其他处理按相应比例增减。试验选择全省各地具有代表性的土壤类型和肥力水平的地块作为试验田。

## 1.3 田间试验实施方法

供试品种选用当地大面积种植的良种，试验都在当地正常农业生产季节内进行。氮肥选用尿素(N 46%)，磷肥选用过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)或磷酸二铵(N 14%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%)，钾肥用氯化钾(K<sub>2</sub>O 60%)。水稻和花生基肥中氮钾肥占总用量的50%，磷肥全部作基肥，余下的氮钾肥在分蘖期作追肥；甘薯基肥中氮钾肥占总用量的50%，磷肥作基肥，40%氮肥在苗期作第1次追肥，余下的氮钾肥在薯块膨大前期作第2次追肥。马铃薯的磷肥作基肥施用，氮钾肥在基肥、追肥各占50%施用，其中追肥分壮苗肥(占追肥60%)和现蕾肥(占追肥40%)2次施用。

试验区周围设1 m宽以上的保护行，其他的栽培管理措施与大田生产一致。试验田作物收获时各小区单收单称，分别记录产量鲜重和晒干重。

## 1.4 基础土样采集和测定

每个田间试验在实施前，按规范方法各取1个混合基础土样。采用常规方法<sup>[5]</sup>测定土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾，其中，有效磷用0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>提取(Olsen法)，速效钾用1 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>AcO提取。供试土壤的主要理化性状见表1。

试验结果采用MATLAB软件统计工具箱进行方差分析和回归分析，肥效模型参数估计采用最小二乘法或Monte Carlo法<sup>[6]</sup>，并用MATLAB语言编写计算程序。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻

近年来，在IPNI合作项目和测土配方施肥项目中，在全省各地不同肥力等级土壤上对水稻氮磷钾肥效进行了众多田间试验。根据肥效试验结果，采用最小二乘法或Monte Carlo法<sup>[6]</sup>对每个试验点逐个建立一元或二元或三元肥效模型，剔除统计不显著的肥效模型。对保留下来的肥效模型进行典型性判别分析<sup>[7]</sup>，对典型肥效模型采用边际产量导数

法, 以每公斤 N 4.3 元、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5 元、K<sub>2</sub>O 4.0 元和稻谷 2.0 元的平均价格为依据计算推荐施肥量; 对非典型肥效模型则以试验所得最高产量的 95% 以上为目标产量, 采用 Monte Carlo 法随机解求推荐施肥量<sup>[6]</sup>。以基础土样碱解氮或 Olsen-P 或速

效钾的测定结果为 X 轴, 以相应试验点的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 推荐施肥量为 Y 轴, 得到土测值与推荐施肥量的散点图。图 1 是全省早稻各试验点土测值与推荐施肥量关系图, 中稻和晚稻的图示从略。

表 1 供试土壤主要理化性状

Table 1 Major physical and chemical characteristics of soils tested

作物	试验数 (n)	pH	有机质 (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 (mg · kg <sup>-1</sup> )	Olsen-P (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 (mg · kg <sup>-1</sup> )
早稻	97	5.0 ± 0.7	26.8 ± 7.9	136.8 ± 37.5	44.5 ± 28.7	93.5 ± 43.5
中稻	46	5.1 ± 0.3	30.5 ± 7.0	156.8 ± 37.2	29.0 ± 25.5	90.3 ± 51.4
晚稻	83	5.2 ± 0.6	29.3 ± 6.3	143.9 ± 43.8	37.7 ± 31.8	81.2 ± 42.4
甘薯	31	5.8 ± 0.8	15.8 ± 7.1	99.1 ± 31.9	57.7 ± 42.5	77.3 ± 49.6
马铃薯	23	5.5 ± 0.8	21.3 ± 9.6	102.2 ± 34.8	58.4 ± 29.3	77.8 ± 30.2
花生	37	6.1 ± 0.8	16.6 ± 5.2	93.4 ± 27.2	33.7 ± 27.1	55.2 ± 32.5

表 2 的水稻土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾的测定值及其相应的氮磷钾推荐施肥量的回归分析表明, 这种关系满足指数回归方程, 回归式均达到统计显著水平。氮肥、磷肥、钾肥在早、中、晚稻的回归系数各有差异, 显示了土壤肥力和不同稻作的水稻营养差异。回归方程的标准误分析表明, 变化幅度在 12.0 ~ 26.4 kg · hm<sup>-2</sup> 之间, 平均为 16.8 kg · hm<sup>-2</sup>, 说明氮磷钾推荐施肥量可在土 16.8 kg · hm<sup>-2</sup> 浮动。

表 2 的结果表明, 肥料效应回归方程的推荐施

肥量与速效养分土测值具有规律性, 建立的关系式使得本来只有相对意义的土壤速效养分测定值转变为直接用于确定施肥量的参数<sup>[8]</sup>。因此, 可以利用这种关系式, 根据土测值预测推荐施肥量。例如, 若早稻碱解氮测定值分别为 90 mg · kg<sup>-1</sup> 和 170 mg · kg<sup>-1</sup>, 则根据早稻的碱解氮和推荐施氮量的关系式, 求得氮肥推荐用量分别是每公顷 180 kg 和 135 kg。根据 Se 的数值, 实际应用中还允许有 ±16.8 kg 的浮动范围。

表 2 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾测定值与水稻相应的氮、磷和钾推荐施肥量的回归模型

Table 2 Regression models of soil test data on alkali hydrolyzable nitrogen, Olsen-P and available K against recommended fertilization on N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O for rice

稻作	肥料	试验数 (n)	土测值(X, mg · kg <sup>-1</sup> )与推荐施肥量 (Y, kg · hm <sup>-2</sup> )的关系式	F 值	Se
早稻	氮肥	34	$Y = 238.60 \exp(-0.003095X)$	37.2**	18.4
	磷肥	30	$Y = 75.968 \exp(-0.01350X)$	33.1**	12.0
	钾肥	30	$Y = 184.27 \exp(-0.009175X)$	85.6**	20.0
中稻	氮肥	27	$Y = 315.53 \exp(-0.003707X)$	22.1**	26.4
	磷肥	29	$Y = 89.787 \exp(-0.01502X)$	34.1**	15.0
	钾肥	27	$Y = 183.67 \exp(-0.006034X)$	33.9**	26.3
晚稻	氮肥	29	$Y = 285.78 \exp(-0.004009X)$	32.8**	21.4
	磷肥	29	$Y = 78.244 \exp(-0.02142X)$	34.4**	14.9
	钾肥	29	$Y = 157.31 \exp(-0.005918X)$	49.6**	18.4

## 2.2 甘薯、马铃薯和花生

近年来在 IPNI 国际合作项目和测土配方施肥项目中, 采用三因素回归最优设计和“3414”试验设计, 在闽东南沿海地区不同肥力等级土壤上对甘

薯、马铃薯和花生的氮磷钾肥效进行了众多田间试验。采用与水稻试验相同的方法, 对可用试验点的试验结果建立肥效模型求得推荐施肥量, 然后根据基础土样测定结果, 建立甘薯、马铃薯和花生的氮

磷钾推荐施肥量和速效氮磷钾土测值的回归关系式。图2是甘薯土测值和氮磷钾推荐施肥量的关系图, 马铃薯和花生的图示从略。回归分析结果表

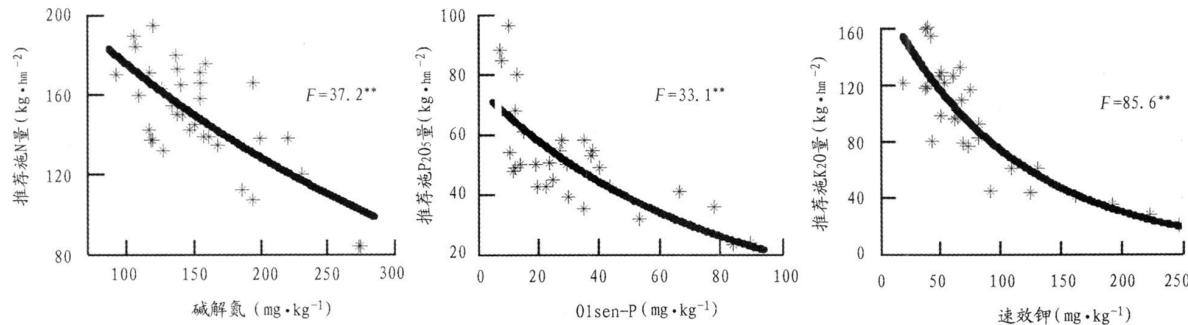


图1 早稻土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量测定值与推荐施肥量的关系

Fig 1 Relationship between soil test data on alkali-hydrolyzable nitrogen, Olsen-P and available K and recommended fertilization on N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O for rice

表3 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾测定值与甘薯马铃薯和花生的氮磷和钾推荐施肥量的回归模型

Table 3 Regression models of soil test data on alkali hydrolyzable nitrogen, Olsen-P and available K against recommended fertilization on N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O for sweet potatoes, potatoes and peanuts

稻作	肥料	试验数 (n)	土测值(X, mg·kg⁻¹)与推荐施肥量 (Y, kg·hm⁻²)的关系式	F 值	Se
甘薯	氮肥	25	$Y = 251.45 \exp(-0.003437X)$	26.1**	21.7
	磷肥	21	$Y = 83.330 \exp(-0.02030X)$	14.5**	13.1
	钾肥	28	$Y = 283.02 \exp(-0.005126X)$	53.6**	29.8
马铃薯	氮肥	14	$Y = 332.79 \exp(-0.005026X)$	17.1**	32.3
	磷肥	14	$Y = 116.58 \exp(-0.01418X)$	27.2**	13.6
	钾肥	14	$Y = 330.38 \exp(-0.006675X)$	20.2**	30.1
花生	氮肥	31	$Y = 135.46 \exp(-0.006708X)$	35.6**	15.7
	磷肥	31	$Y = 83.060 \exp(-0.01901X)$	38.1**	11.6
	钾肥	31	$Y = 155.82 \exp(-0.008974X)$	43.0**	20.8

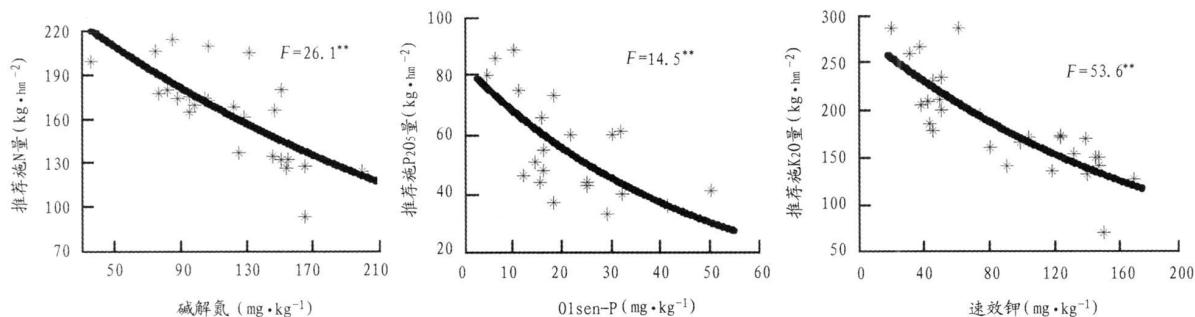


图2 甘薯土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量测定值与推荐施肥量的关系

Fig 2 Relationship between soil test data on alkali-hydrolyzable nitrogen, Olsen-P and available K and recommended fertilization on N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O for sweet potatoes

明, 二者之间的关系同样满足指数模型, 表3是有关作物的回归建模结果。

显著性检验表明, 各回归方程均达到显著水平, 说明回归式是可用的。标准误  $Se$  变化幅度在  $11.6 \sim 32.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  之间, 平均为  $21.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与水稻一样, 有了土测值与施肥量的关系式, 就可以根据土测值预测相关作物的推荐施肥量。例如, 若甘薯的碱解氮、Olsen-P 和速效钾的测定值分别为  $99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 则可求得氮磷钾肥推荐用量分别是每公顷  $180 \text{ kg}$ 、 $30 \text{ kg}$  和  $195 \text{ kg}$ 。根据  $Se$  数值, 实际应用中还允许有  $\pm 21.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的浮动范围。显然, 对甘薯而言, 土壤 Olsen-P 含量达到  $58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  就属于丰富水平<sup>[9]</sup>, 可不施磷肥。

### 3 讨论与结论

一般而言, 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾含量只是表示土壤有效养分数量的相对值, 不能表示土壤有效养分的绝对值。20世纪80年代国内配方施肥技术研究表明, 根据田间氮磷钾肥效试验建立肥效模型, 其氮、磷、钾推荐施肥量与试验地基础土壤碱解氮、Olsen-P、速效钾含量有很好的相关性<sup>[2]</sup>, 从而建立二者之间的回归关系式, 使本来只有相对意义的土壤速效氮磷钾测定值直接转化为确定推荐施肥量的参数, 实现了肥料效应函数法同时具有宏观调控和微观指导的全面功能。

本文根据近年来在水稻、甘薯、马铃薯和花生上完成的众多氮磷钾不同用量的肥效试验结果, 建

立氮磷钾肥料效应模型, 建立其氮或磷或钾推荐施肥量与基础土样测定土壤碱解氮、Olsen-P、速效钾含量的回归关系式。结果表明, 这种关系式满足指数模型, 各回归方程均达到统计显著水平。因此, 根据土测值就可确定相应养分的推荐施肥量, 从而给当前测土配方施肥技术在生产中应用带来了方便。

### 参考文献:

- [1] 金耀青. 配方施肥的方法及其功能—对我国配方施肥工作的述评 [J]. 土壤通报, 1989, 20 (1): 46- 48.
- [2] 金耀青, 张中原. 配方施肥方法及其应用 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993: 35- 60, 160- 200.
- [3] 林辉, 陈祖仁, 唐福钦, 等. 福建省稻田化肥的适宜用量和配比的研究 [J]. 福建农业学报, 1989, 4 (1): 23- 32.
- [4] 章明清, 林代炎, 林仁埙. 福建水稻区域施肥模型和推荐施肥研究 [J]. 福建省农业学报, 1997, 12 (1): 51- 55.
- [5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [6] 章明清, 徐志平, 姚宝全, 等. Monte Carlo 法在多元肥效模型参数估计和推荐施肥中的应用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (2): 366- 373.
- [7] 章明清, 林仁勋, 林代炎, 等. 极值判别分析在三元肥效模型推荐施肥中的作用 [J]. 福建农业学报, 1995, 10 (2): 54- 59.
- [8] 章明清, 徐志平, 姚宝全, 等. 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究Ⅱ 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标 [J]. 福建农业学报, 2009, 24 (1): 68- 74.

(责任编辑: 刘新永)