

水稻施氮模型辨识及应用

李 树 英

(华南理工大学自动化系, 广州)

摘 要

本文采用递推最小二乘辨识方法, 建立高产水稻施氮数学模型, 通过实践证明, 按这模型制成的水稻施氮计算器指导水稻种植, 在中产地力使用, 亩产能稳产千斤左右, 比习惯经验施肥法, 增产10~15%, 节省化肥25~35%, 减少病虫害30~40%, 降低成本约30%.

一、引 言

目前我国水稻高产科学种植方法有好几种, 但广泛被采用的有以产定氮法、氮素调控法和习惯施肥法。这些方法, 在提高产量和节省化肥等方面, 比过去农村的看天、看地、看禾苗的老经验栽培方法有明显的效果。但这些方法耗氮高、谷氮比(每亩产量与投入的纯氮之比)较低, 经济效益不理想。氮素调控法虽比其他两种方法经济效益稍高, 可是工作量较大, 且须具备一定的技术力量和仪器设备, 因此, 投资大, 在农村普遍推广较困难。为使水稻高产栽培技术数字化、仪表化、普及化, 近年来, 笔者在华南农业大学和广东省高州县科委的大力支持和协助下, 由他们提供大量的水稻高产栽培经验数据, 笔者对这些数据进行分析处理, 用递推最小二乘法, 建立水稻高产施氮数学模型, 并编成专用的软件, 固化在电子计算器中, 使用者只要把种植水稻的三个基本参数(生育期, 苗密度, A/B 比值)输入计算器, 计算器即可显示每亩稻田当时需要的施氮量。再按配方施肥方案施适当的磷、钾肥。经过1983年至1986年对不同地理环境、不同土壤类别、不同水稻品种、不同造别进行大面积的试验, 表明用按本文建立的施氮模型制成的施氮计算器指导水稻栽培, 与现在广泛采用的习惯施肥方法比较, 水稻亩产稳产在1000斤左右, 提高产量10~15%, 节省化肥25~35%, 减少病虫害30~40%, 降低成本约30%, 每亩单造可增加纯收入15~36元。这种方法使用简便, 适应性广, 可以在农村普遍推广应用。

二、水稻施氮模型设计原理和参数的确定

通过大量的水稻高产栽培数据分析处理表明, 水稻一生中所吸收的氮、磷、钾比例一般为1:0.5:1。因此, 如果知道高产水稻栽培过程中所需的纯氮总量, 就可知道

种植水稻施肥过程中应配施多少磷肥和钾肥。大量的经验数据和实践证明,氮对水稻产量的影响最大,而且施氮总量多少和施得及时与否都直接影响产量的高低。同时,施肥总量一般又与计划产量指标、土壤基础肥力、肥料的吸收率,以及插秧的密度有关。

1. 高产水稻栽培的基点

这里取亩产千斤为产量的计划指标。土壤的基础肥力为无肥区,即亩产600~800斤(即中等肥田)。

2. 肥料吸收率指标采用叶鞘 A/B 值

肥料的吸收率比较复杂,影响因素较多,这里采用植株 A/B 比值作为肥料吸收率的指标。(A/B 比值是指每棵禾苗叶鞘积累淀粉的长度 A 与该棵禾苗叶鞘长度 B 之比)。因为植株叶鞘的 A/B 比值是一项综合性指标,它既反映当时植株的碳、氮代谢水平,同时又是土壤供氮水平和植株肥料吸收率的综合表现。 A/B 值高,淀粉积累多,反之,淀粉积累少;植株含氮高, A/B 值低,淀粉积累少;植株含氮低,则 A/B 值高,淀粉积累多;光照足, A/B 值高,阴雨天多,则 A/B 值低;温度过高过低,则 A/B 值低;群体空间好, A/B 值高;过于阴蔽, A/B 值低。这说明高产水稻需氮量与 A/B 值成比例关系。所以,采用 A/B 值,可直接反映植株的氮素营养水平和健康状况。选择这个综合性指标,一方面可使模型简化,另一方面,使模型能适应不同的土壤、气候、温度、地区和品种。便于推广应用。

3. 苗密度问题

这也是影响水稻产量高低的一个重要指标。因为水稻产量的形成过程,是一个群体的动态发展过程,不同的产量水平,就有不同的群体结构。因此,施肥模型除有反映个体指标的 A/B 值之外,必须有反映群体的动态指标。反映群体指标比较好的有两个,一是苗数,二是叶面积指数。但叶面积指数的动态变化基本上与苗数的动态变化一致,而叶面积指数的测定较麻烦,所以,这里只用群体苗数作为指标。由经验数据和分析可知,群体苗数过大,成穗率低,每穗粒数少,产量低。反之,群体苗数过小,群体生长量少,穗数不足,产量也低;施氮过量,分叶多,群体苗数大,施氮不足,分蘖少,群体苗数少;插植基本苗数多,前期肥料施得重,群体苗数一定多,插植苗数少,肥料又不足,群体苗数少;因此,群体苗数不但直接关系到群体基数的多少,而且关系到最后形成穗数的多少,同时,也影响到群体叶面积的大小和粒数、粒重的形成。根据试验研究的结果和大面积的生产实践,杂交水稻亩产1000~1200斤之间,其生育前期的群体密度,每亩最高基数,早造控制在25~28万,晚造28~30万较合适。以上说明,水稻高产的施氮量与单位面积苗数有关,且成比例关系。

4. 生育期

水稻种植施肥,除施肥总量问题外,还有一个施肥时间问题。水稻生育期,一般分插植、回青、始蘖、盛蘖、终蘖、分化一、分化二、分化三、分化四、分化五、孕穗、抽穗等12个时期。水稻一生中吸氮有两个高峰期,即分叶盛期和幼穗发育期。从穗粒发育要求出发,确定有效分蘖期和幼穗发育期是水稻产量形成中最重要的供氮时期。

由上述可见, 由生育期、植株叶鞘 A/B 比值、单位面积苗数三个参数来确定水稻施氮模型, 可达到水稻高产、省肥、减少病虫害、降低成本的目的。

三、水稻施氮数学模型

1. 施氮模型的建立

为使所建立的水稻施肥模型能在农村普遍推广应用, 建模时, 必须考虑到使用简便, 而且要尽可能使按该模型制作的施肥计算器结构简单, 制作成本低。因此, 我们考虑到水稻生长过程是一个缓慢的时变系统, 且根据历年高产水稻栽培施肥的经验分析, 我们对水稻的生育期、 A/B 比值、每亩苗数、每亩稻田当时应施尿素数等四个参量分别用 x 、 y 、 z 、 N 来表示。并对生育期作如下的编码, 即插植、回青、始孽、盛孽、终孽、分化一、分化二、分化三、分化四、分化五、孕穗、抽穗分别用1、2、3、4、5、6、7、8、9、10等10个数码来表示。每亩苗数 y 以万为单位, 每亩稻田施氮 N 以市斤为单位。由高产水稻施肥模型设计原理知, 每亩稻田应施氮数 N 与生育期 x 、 A/B 比值 y 、每亩苗数 z 之间, 应成比例关系。因此, 有如下的关系式:

$$N = \alpha x + \beta y + \gamma z + \theta + e, \quad (1)$$

其中, α 、 β 、 γ 、 θ 为待定的参数, e 为随机误差项。

为了估计 α 、 β 、 γ 、 θ , 必须收集大量的高产水稻施肥的经验数据 N 、 x 、 y 、 z 。我们在广东省高州县科委和华南农业大学农艺系的大力支持和协助下, 按不同的生育期、不同地区、不同的水稻良种, 收集整理了1000组高产水稻施氮数据, 从而得到 m 组(这里 $m=1000$)观测值

$$(N_k, x_k, y_k, z_k), \quad k=1, 2, \dots, m,$$

代入(1)式有

$$\begin{cases} N_1 = \alpha x_1 + \beta y_1 + \gamma z_1 + \theta + \varepsilon_1 \\ N_2 = \alpha x_2 + \beta y_2 + \gamma z_2 + \theta + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ N_m = \alpha x_m + \beta y_m + \gamma z_m + \theta + \varepsilon_m \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$ 表示相应的误差。

若令

$$J(\alpha, \beta, \gamma, \theta) = \sum_{k=1}^m \varepsilon_k^2 = \sum_{k=1}^m (N_k - \alpha x_k - \beta y_k - \gamma z_k - \theta)^2,$$

希望求得的估值 $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{\gamma}$ 、 $\hat{\theta}$, 使

$$J(\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\theta}) = \min,$$

令

$$X = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \theta \end{pmatrix}, \quad \phi = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \phi_k = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ 1 \end{pmatrix},$$

则(1)式变成

$$N = \phi^T X + e, \quad (3)$$

(2)式变成

$$\begin{cases} N_1 = \phi_1^T X + \varepsilon_1 \\ N_2 = \phi_2^T X + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ N_m = \phi_m^T X + \varepsilon_m \end{cases} \quad (4)$$

目标函数可写成

$$J(X) = \sum_{k=1}^m (N_k - \phi_k^T X)^2. \quad (5)$$

再令

$$H_m = \begin{pmatrix} \phi_1^T \\ \phi_2^T \\ \vdots \\ \phi_m^T \end{pmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{pmatrix}, \quad z_m = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_m \end{pmatrix}$$

则(4)式可写成

$$z_m = H_m X + \varepsilon. \quad (6)$$

因此,有

$$J(X) = \varepsilon^T \varepsilon = (z_m - H_m X)^T (z_m - H_m X). \quad (7)$$

现在要确定 X 的估值 $\hat{X}$,它满足

$$J(\hat{X}) = \min J(X).$$

由递推最小二乘辨识方法得

$$\hat{X}_{k+1} = \hat{X}_k + M_{k+1} [N_{k+1} - \phi_{k+1}^T \hat{X}_k], \quad (8)$$

其中

$$M_{k+1} = \frac{P_k \phi_{k+1}}{1 + \phi_{k+1}^T P_k \phi_{k+1}}, \quad (9)$$

$$P_{k+1} = (I - M_{k+1} \Phi_{k+1}^T) P_k, \quad (10)$$

$$P_k = (H_k^T H_k)^{-1}. \quad (11)$$

初值 $\hat{X}_1$ 可由最小二乘法求得, 即

$$\hat{X}_1 = (H_1^T H_1)^{-1} H_1 z_1.$$

按(8)式递推计算, 直至求到 $\hat{X}_{k+1}$ 的稳态值为止(精确到小数后第二位), 这个稳态值, 就是我们所求的参数 α 、 β 、 γ 、 θ 的估值。从而由(1)式便得到高产水稻施氮数学模型。

2. 简化模型

在用递推最小二乘法建立的模型的基础上, 我们根据所获得的试验数据的规律, 把数据进行整量化, 然后再用递推最小二乘法估计参数 α 、 β 、 γ 、 θ 。

所谓数据整量化, 就是对生育期 x 、 A/B 值 y 和亩苗数 z 都进行整量化编码。即象前面对生育期 x 进行数字编码那样, 对 A/B 值 y 和亩苗数 z 进行离散整量化处理。因 A/B 比值在区间 $[0, 1]$ 内变化, 我们把 $[0, 1]$ 区间分成 10 个小区间, 当 A/B 值 y 分别在区间 $[0, 0.15]$ 、 $[0.16, 0.25]$ 、 $[0.26, 0.35]$ 、 $[0.36, 0.45]$ 、 $[0.46, 0.55]$ 、 $[0.56, 0.65]$ 、 $[0.66, 0.75]$ 、 $[0.76, 0.85]$ 、 $[0.86, 0.95]$ 、 $[0.96, 1.0]$ 变化时, 则 y 对应分别取值 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10。同样, 对每亩苗数 z 进行整量化处理。即当 z (万苗/亩) 分别在区间 $[2, 7]$ 、 $[7.1, 12]$ 、 $[12.1, 17]$ 、 $[17.1, 22]$ 、 $[22.1, 27]$ 、 $[27.1, 32]$ 、 $[32.1, 37]$ 、 $[37.1, 42]$ 、 $[42.1, 47]$ 、 $[47.1, 52]$ 内变化时, 则 z 对应分别取值 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10。这时, 我们根据所获得的高产经验施肥数据, 按上述整量化编码原则进行处理, 然后按递推最小二乘辨识方法(8)~(11)式进行递推计算, 最后算出 $\hat{X}_k$ 的稳态估值, 经整量化后得

$$\hat{X}_k = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \\ \hat{\gamma} \\ \hat{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ -1 \\ 11 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

因此, 我们便得到高产水稻施氮的简化模型为

$$N = y - x + 11. \quad (13)$$

这模型很简单, 计算简便, 广大农户可按此公式进行计算施肥。

四、应用效果

1983年, 我们把简化模型(13)编成计算程序, 在可编程序计算器上实现。只要使

用者把生育期、 A/B 值、亩万苗数按上述整量化编码键入计算器，计算器即显示每亩稻田应施多少斤氮肥。这种水稻栽培方法，我们称之为“电子计氮法”。

为了验证这模型的应用效果，1983年早造至1984年早造，在华南农业大学进行小区试验取得较好效果后，1984年晚造，选择广东省的高州、东莞，广西省的玉林、博白、北流等五个县作大面积试点（面积共500亩），与其他方法比较，都取得增产10~15%、节肥25~35%、减少病虫害30%的满意效果。接着，于1985年在广东省88个县和广西钦州地区6个县进行2万亩大面积稻田种植试验。同时还在江苏、浙江、福建、江西、湖南、湖北、云南、广西、辽宁、吉林等九个省作小试和中试。结果都取得增产10%以上、节肥30%以上的好效果。在广东省以外的试验效果，以广西博白县、江苏省如皋县、吉林省磐石县最佳。其中吉林省的粳稻增产幅度达25~30%，超过南方籼稻一般增产10%左右的水平。

1985年，我们根据1984、1985年的试验结果和不足的地方，对模型和使用方法作了适当的修改。即在模型中增加一个滞后数这个时间参数，因为这样修改后，更增强了模型对各种水稻品种的适应能力。同年，我们为了使这个水稻施氮模型能在我国农村普遍推广应用，针对所建立的简化模型，研制了一台计算和施肥两用的SL-851型水稻施氮电子计算器，把施氮模型软件固化在计算器中。该计算器结构简单，使用方便，造价低（每台100元以下），深受广大农户的欢迎。经1986年和1987年早造试用，同样获得增产10~15%、节肥25~35%、减少病虫害30~40%、降低成本约30%的明显效果。这种施氮电子计算器，现由广东省科委组织批量生产，普遍推广应用。

参 考 文 献

- [1] 李树英、吴捷，动态系统的滤波方法，广东科技出版社，广州，（1983）。
- [2] Van Den Boom, A. J. W., System Identification, Eindhoven University of Technology, the Netherland, （1983）。
- [3] 杂交水稻制种与高产栽培，广东科技情报所，（1983）。
- [4] 水稻施氮电子计算器应用技术文集，（1983-1985），广东省科委科研业务处、广东省海岸带资源开发公司，（1986.2）。

Model for Applying Fertilizer in Rice Planting

Li Shuying

(Department of Automation, South China University
of Technology, Guangzhou)

This paper proposed a model for applying fertilizer in rice planting. In this model the quantity of fertilizer required to be applied to a unit area of paddy field is linearly related with the reproduction period, the A/B value and the seedling density. The associate parameters were estimated by using the least squares method based on 1000 sample data.

By entering to a specially designed hand-held calculator the observed data of reproduction period, the A/B value and the seedling density in a unit area of a specific field, the quantity of fertilizer required to be applied to that area of field can be determined readily.

Reports from many places in the country indicated that when applying fertilizer in accordance with the model, the rice production in a crop can be kept around 1000 jin per mu on a moderately rich land. In comparing with the cultivation by old experience, the production was raised by 10-15% and the consumption of fertilizer was reduced by 25%, along with a substantial decrease of plant disease and insect pests. The total cost was brought down about 30%.

Robustness of Reduced-order Observer-based Control Systems*

Wang Youyi, Gao Long, Fang Yushun

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing)

Abstract

The robustness of reduced-order observer-based linear control systems is discussed in this paper. Three important frequency domain properties and a theorem for these systems are derived. And a pole-assignment procedure for reduced-order observers is given.

For the full-order observer-based control systems, Doyle and Stein pointed out in [1] that in order to achieve the same robustness as the full-state feedback implementation, one should make some observer poles towards stable plant zeros and the rest towards infinity.

The robustness of reduced-order observer-based control systems is discussed in this paper. The robustness results of [1] are extended to the reduced-order observer case successfully.

Consider controllable and observable linear time-invariant multivariable plant

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} u(t) \\ y(t) &= [O \quad I] \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix} = x_2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Where $x_2(t) = y(t) \in R^p$ is the output vector, $x_1(t) \in R^{n-p}$ is the unavailable state vector, $u(t) \in R^m, m = p, \text{rank}(B) = m$

* Projects Supported by the Science Fund of the Chinese Academy of Sciences.

Manuscript received Apr.16, 1987, revised Dec.9, 1987.