

# “生态平衡施肥”的理论基础和技术体系

侯彦林

(中国科学院生态环境研究中心,北京 100085)

**摘要** 施肥是与产量、品质、成本、土壤培肥、污染等问题密切相关的复合生态系统物质循环调控的重要措施。以实现经济效益、生态效益和社会效益的综合效益最佳为目标,建立了“生态平衡施肥”的理论基础和技术体系,结合国情提出“生态平衡施肥”实现的关键条件和具体模式。

“生态平衡施肥”是以施肥系统养分循环原理——“通用施肥模型”为理论基础,以实用和高新技术优化组装的技术体系为实现手段,以“生态型肥料”为载体的新的施肥系统。“通用施肥模型”建立在质量守恒定律和有效养分转化关系基础上。“生态型肥料”是同时满足高产、低投、没有污染等多目标的最佳肥料投入组合,其技术体系包括:肥料改性、根域或肥域土壤条件改善、减少养分投入、养分再利用和循环技术;“生态平衡施肥模型”特征参数”试验方法、专用肥配方试验方法,土壤有效养分速测方法,施肥预测系统和管理系统等。

**关键词** 生态平衡施肥 通用施肥模型 生态平衡施肥模型 特征参数 生态型肥料

## Theory and technological system of Ecological Balanced Fertilization

HOU Yan-Lin (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract** Fertilization has become a very important strategy that adjusts the nutrient cycle connected with yield, food quality, cost, fertility, non-point pollution in the Social-Economic-Natural complex Ecosystem (SENCE). We established the theory and technological system of Ecological Balanced Fertilization (EBF) and gave the key factors of EBF in China.

EBF is a new fertilization system, which is on the theory of the nutrient cycle (General Fertilization Model, GFM). GFM is established on Mass Conversation Law. Ecological Fertilizer (EF) is a optimal fertilizer compound which simultaneously satisfy multi-target of fertilization such as higher yield, lower cost, no pollution, etc. Technological system included: 1) Techniques of transforming fertilizer characters, improving soil condition, reducing fertilizer dosage, reusing unavailable nutrient, recycling nutrient; 2) The experimental methods for determining Diagnostic Parameters (DP) of Ecological Balanced Fertilization Model (EBFM) and fertilizer compound; 3) The quickly analysis methods of soil available nutrient; 4) Estimating system and management system of fertilization.

**Key words** Ecological Balanced Fertilization (EBF); Diagnostic Parameters; model; Ecological Fertilizer

文章编号: 1000-093X(2000)04-0000-00 中图分类号: S147.22 文献标识码: A1 “生态平衡施肥”提出的背景

### 1.1 食物安全与粮食需求

基金项目:中国科学院“百人计划”项目院长基金和中国科学院生态环境研究中心主任基金(生态施肥产业化机制、系统技术和模式)资助项目

收稿日期:1999-11-25;修订日期:2000-02-21

作者简介:侯彦林(1959~),男,吉林省公主岭人,研究员。主要从事农业生态工程 and 环境保护生态工程研究,主要数据:生态平衡施肥理论、系统技术和产业化模式研究。

食物安全问题始终是社会稳定和经济繁荣的基础。我国进入 21 世纪中期,人口将达到 16 亿。目前我国总粮食产量约 5000 亿 kg,按人均粮食 400~500kg 需求计算,届时需要粮食 6400~7200 亿 kg,而国际市场只有 2000 亿 kg 左右粮食可供购买,即使不考虑这部分粮食的绝对保证程度,如果按目前价格每年从国外购买 1000 亿 kg 粮食,至少需要支付 500 亿元人民币。可见,中国只能依靠自己的土地养活自己。

### 1.2 肥料在粮食增产中的贡献和成本

为保证我国 21 世纪食物安全,粮食单产必须提高 30%~50%。在粮食增产贡献率中肥料约占 32%,我国目前每公斤纯养分平均仅增产粮食 6.6kg,处于世界平均增产水平的下限<sup>[1]</sup>。我国现阶段小麦和玉米价格分别是国外的 1.2~1.3 倍,而且品质劣于国外产品。在本来农产品相对过剩的今天,我国农产品销售又将受到加入 WTO 后的冲击。调整农业生产结构、降低生产成本和改善农产品品质已经成为我国农业今后发展的主要方向。在我国,农民生产性投资中化肥约占 50%,当前化肥投入,尤其是磷肥投入普遍偏多,造成养分投入比例失调,增加了肥料投入成本。

### 1.3 我国肥料利用率低下和肥料污染问题

我国肥料平均利用率较发达国家低 10% 以上,氮肥为 30%~35%,磷肥为 10%~25%,钾肥为 40%~50%<sup>[1]</sup>。肥料利用率低不仅使生产成本偏高,而且是环境污染特别是水体富营养化的直接原因之一。据报道,在不到 20a 时间里,云南滇池水质恶化达到 V 级,湖面从 800km<sup>2</sup> 萎缩到 300km<sup>2</sup>,其中来自肥料等面源污染负荷高达 1/3~1/2,滇池污染治理已经投资几十亿元,但仍未收到明显治理效果。

### 1.4 我国现行施肥方法存在问题分析

肥料利用率低是我国现行施肥方法弊端的主要表现形式,究其原因是多方面的。①肥料原因,可控缓释肥料用量小,与发达国家复混肥使用占 80% 相比,我国复混肥使用仅占 10% 左右;有机肥投入逐渐减少。②技术原因,对施肥的经济效益和生态效益重视不够,施肥模型有待优化,作物需肥规律和肥料配方支持系统研究落后,土壤施肥类型区分不合理,使研究资料和参数没有足够的代表性,缺少对多年连作作物和整个轮作周期长期推荐施肥动态研究和观测,缺少区域不同土壤和作物的施肥标准<sup>[2]</sup>;土壤有效养分速测方法成本偏高。③体制原因,配方施肥在中国虽然可增产 8%~15%,但推广面积仅为 10%~30%<sup>[3]</sup>,主要原因是没有形成以配方施肥为核心,以经济利益为驱动力的区域性生产-服务-施用产业化网络,即农化服务体系。

### 1.5 “生态平衡施肥”理论和技术体系提出的必要性

如上所述,施肥问题与作物产量、品质、生产成本、土壤培肥等农业问题和面源污染等环境问题密切相关,以多目标为目的建立新的施肥理论、方法和技术体系是可持续发展的需要和必然。将 3S 技术(遥感 Remote sensing)、地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)与农业机械化结合在一起的精确施肥技术代表了未来施肥技术的发展方向,但对于发展中的中国而言,需要相当长的时间才能实际应用。中国应该研究、试验、推广符合国情的新的“平衡施肥”机制、系统技术和模式,走逐渐与国际施肥技术和方式接轨的道路。为此,本文提出“生态平衡施肥”的理论基础,以丰富、发展和完善“平衡施肥”的理论和方法,结合国情提出在我国实现“生态平衡施肥”的技术体系、实现条件和具体模式。

本文提出的“生态平衡施肥(Ecological balanced fertilization,EBF)”方法建立在施肥系统养分循环原理——“通用施肥模型(General fertilization model,GFM)”基础之上,理论性严密,所制定的技术体系符合中国国情和将来施肥技术的发展趋势,便于与国际接轨,建立以经济利益为驱动力的“生态平衡施肥”网络是农化服务体系在市场经济条件下的必然产物和“生态平衡施肥”的实现条件,多元化模式是中国国情情况下实现“生态平衡施肥”的有效途径。

## 2 “生态平衡施肥”的理论基础

### 2.1 “通用施肥模型”的建立

通过对施肥系统进行系统分析后,根据质量守恒定律和有效养分转化关系初步建立了“通用施肥模型”<sup>[4]</sup>,对初步建立的“通用施肥模型”重新进行了理论推导,过程如下。

将耕层作为施肥系统,设: $t_n$ 时刻(季节前)某有效养分(如有效氮)含量为  $W_1$ (kg/hm<sup>2</sup>,下同)在( $t_n \sim t_{n+m}$ )时间,施肥系统有效养分转化为有效养分数量为  $W_2$ ,从耕下层吸收的参与作物体内养分循环有效养

分数量和其它未被考虑的有效养分来源数量总和为  $W_3$ 、施肥总量为  $W_4$ 、降水和灌溉携带的有效养分数量为  $W_5$ 、生物从空气中固定养分(N)数量为  $W_6$ 、种子携带的养分数量为  $W_7$ 、 $t_{n+m}$ 时刻(季节后)有效养分含量为  $W_8$ 。在( $t_n \sim t_{n+m}$ )时间,有效养分无效化数量为  $W_9$ (固定),有效养分交换到耕下层的数量和其它未被考虑的离开耕层的有效养分数量总和为  $W_{10}$ 、作物产量养分总含量为  $W_{11}$ 、有效养分挥发数量为  $W_{12}$ 。

根据有效养分转化关系,可以列表 1 有效养分来源与去向转移矩阵,再根据质量守恒定律获得方程<sup>[1]</sup>,即“通用施肥模型”:

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 = W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} \quad (1)$$

表 1 施肥系统有效养分来源与去向转移矩阵  
Table 1 Transfer matrix of sources and fate of available nutrient in fertilizer system

	$W_8$	$W_9$	$W_{10}$	$W_{11}$	$W_{12}$
$W_1$	$W_{1-8}$	$W_{1-9}$	$W_{1-10}$	$W_{1-11}$	$W_{1-12}$
$W_2$	$W_{2-8}$	$W_{2-9}$	$W_{2-10}$	$W_{2-11}$	$W_{2-12}$
$W_3$	$W_{3-8}$	$W_{3-9}$	$W_{3-10}$	$W_{3-11}$	$W_{3-12}$
$W_4$	$W_{4-8}$	$W_{4-9}$	$W_{4-10}$	$W_{4-11}$	$W_{4-12}$
$W_5$	$W_{5-8}$	$W_{5-9}$	$W_{5-10}$	$W_{5-11}$	$W_{5-12}$
$W_6$	$W_{6-8}$	$W_{6-9}$	$W_{6-10}$	$W_{6-11}$	$W_{6-12}$
$W_7$	$W_{7-8}$	$W_{7-9}$	$W_{7-10}$	$W_{7-11}$	$W_{7-12}$

\*: $W_{1-8}$ 为 $W_1$ 转化到 $W_8$ 中的有效养分数量,其余类推。 $W_{1-8}$  is the quantity of available nutrient which transfers from  $W_1$  to  $W_8$

## 2.2 “通用施肥模型”一般表达式及其“特征参数”

“通用施肥模型”将有效养分来源与去向诸多变量在质量守恒定律基础上联系起来,为施肥系统养分循环研究提供了系统研究方法。

$$\text{设 } \Delta W_{1-8} = (W_1 - W_8), \Delta W_{2-9} = (W_2 - W_9),$$

$$\Delta W_{3-10} = (W_3 - W_{10}), \Delta W_{4-11} = (W_4 - W_{11})$$

$$\Delta W = \Delta W_{2-9} + \Delta W_{3-10} + W_5 + W_6 + W_7 - W_{12},$$

$$\Delta W' = \Delta W + \Delta W_{1-8}, \Delta W'' = \Delta W + \Delta W_{4-11}$$

$$\text{则式(1)转化为: } W_4 = W_{11} - \Delta W_{1-8} - \Delta W_{2-9} -$$

$$\Delta W_{3-10} - W_5 - W_6 - W_7 + W_{12} \quad (2)$$

$$\text{设: } W_4 = W_{\text{input}}, W_{11} = W_{\text{output}}, W_1 = W_n, W_8 = W_{n+m}$$

$$\text{则, } W_{\text{input}} = W_{\text{output}} - (W_n - W_{n+m}) - \Delta W \quad (3)$$

$$\sum W_{\text{input}} = \sum W_{\text{output}} - (W_n - W_{n+m}) - \sum \Delta W \quad (4)$$

$$W_{\text{input}} = W_{\text{output}} - \Delta W' \quad (5)$$

$$W_{n+m} = W_n + \Delta W'' \quad (6)$$

$$W_{\text{input}}/W_{\text{output}} + (\Delta W')/W_{\text{output}} = 1 \quad (7)$$

一般情况下,上述 35 个变量同时获得较为困难,然而,在面对具体问题时,常常只需要使用其中的一些变量或一些变量组合就能圆满地解决问题。在式(2)~(7)中, $W_n$ 、 $W_{n+m}$ 是施肥系统有效养分的状态变量, $W_n$ 、 $W_{n+m}$ 、 $W_{\text{input}}$ 和 $W_{\text{output}}$ 容量获得。 $\Delta W$ 中各分项意义明确,但各分项参数获得比较困难。然而 $\Delta W$ 是可以获得具体数值的信息量丰富的综合参数。根据式(2)~(7)将 $\Delta W$ 和 $W_{n+m}$ 定义为施肥系统的“特征参数(Diagnostic parameters, DP)”,分别称为“有效养分季节性平衡特征参数”和“有效养分季后状态特征参数”,它对研究施肥系统有效养分平衡问题非常有用。根据需要,“特征参数”可以灵活设定,如 $\Delta W$ 和 $\Delta W''$ 。

## 2.3 “特征参数”稳定性评价

“特征参数”的稳定性是模型应用的关键。引用国内长期定位试验结果,对“特征参数” $\Delta W$ 和 $W_{n+m}$ 与 $W_{\text{input}}$ 关系进行分析,以此评价“特征参数”的时空稳定性。研究结果表明,施肥量与 $\Delta W$ 和 $W_{n+m}$ 间具有极显著相关关系,说明在试验条件下,N、P、K施肥“特征参数”在时间上具有稳定性<sup>[5]</sup>。施用磷肥的试验结果表明,磷肥“特征参数”较“土壤养分换算系数”和“表现肥料利用率”参数稳定<sup>[6]</sup>;不同气候和土壤条件下的冬小麦-夏玉米轮作长期定位试验的磷肥“特征参数” $\Delta W$ 、 $W_{n+m}$ 与 $W_{\text{input}}$ 均呈极显著相关关系<sup>[5,7-9]</sup>,进一步表明不同空间单元的“特征参数”均具有时间稳定性特征,从而表明“特征参数”与施肥量相关关系并非特定条件下存在,在任何特定施肥系统里,这种关系都会以特定的方式表现,即“特征参数”具有空间稳定性特征,证明了“通用施肥模型”参数是稳定的。

## 2.4 “生态平衡施肥模型”参数求解方法和意义

“通用施肥模型”从理论上可以描述任何施肥系统在任何条件下的养分变化规律,而实践中最具普遍意义和价值的,是以实现经济效益、生态效益和土壤培肥等多目标相统一为目的的“生态平衡施肥模型”,它是

“通用施肥模型”的特例和实际应用的主要形式。“通用施肥模型”在最佳施肥量或“生态施肥量”条件下可以获得一组参数,由这组参数构成的“通用施肥模型”即为“生态平衡施肥模型(Ecological balanced fertilization model,EBFM)”。根据式(3),将“生态平衡施肥模型”参数定义如下。

$W_{input}$ 为某一土壤分类单元(如土属)在不引起环境特别是地下水污染(如N污染)前提下的施肥量,通过肥料田间试验和肥料(如N)渗漏观测试验可以获得,其数量小于等于最佳施肥量,将其称为“生态施肥量(Ecological fertilizer dosage, EFD)”,相当于环境经济施肥量<sup>[10~12]</sup>。在最佳施N量不能引起地下水等污染情况下,“生态施肥量”等于最佳施肥量。如果设置某养分的若干个不同施肥量试验,就可以求出 $W_{input}$ ,代替肥料效应函数法的繁杂试验过程。 $W_{output}$ 为作物生物产量中养分含量或根据地力状况而预测产量的养分需要量,可以实测或估算。 $\Delta W_{n-(n+m)}$ 为土壤耕层季前和季后有效养分含量之差,可以测定得到。 $W_{n+m}$ 和 $\Delta W$ 为一定时期特定气候、特定土壤分类单元、特定栽培、水分管理模式和“生态施肥量”等条件下多因素相互作用的施肥系统的“特征参数”。

当施肥量为 $W_{input}$ 时,作物收获期耕层 $W_{n+m}$ 和 $\Delta W$ 是反映“生态施肥量”条件下施肥系统的最佳平衡值。 $W_{n+m} - W_n$ 为土壤基础肥力养分指标提高的潜力或保持的理想水平,通过施肥和土壤培肥使土壤有效养分浓度达到 $W_{n+m}$ 水平,是实现目标产量的养分基础。但通过施肥季后使土壤有效养分浓度大于 $W_{n+m}$ 时,肥料使用不够经济,利用率降低,易于损失,给肥料面源污染加重提供了物质条件。随着基础肥力的提高, $W_{n+m}$ 值的标准也将增大。式(5)是最简施肥模型,它可以避免使用土测值和选择土壤有效养分含量的衡量标准所带来的施肥量预测误差, $\Delta W$ 成为系统有效养分平衡的“综合特征参数”。 $\Delta W$ 包含的信息十分丰富,生产实践中只求出 $\Delta W$ 即可。为研究/监测肥料施入土壤后的动态变化规律和研究土壤供肥特性,可以通过专项肥料田间试验、室内模拟实验和元素示踪试验求得 $\Delta W$ 中的各分项参数。

施肥模型是施肥技术的核心内容之一,目前的施肥模型,无论是统计模型(米式方程)还是平衡模型(目标产量法),从方法提出至今没有大的改进,所使用的“土壤养分换算系数”和“表观肥料利用率”两个参数均具有不稳定性<sup>[13,14]</sup>,以至在预测施肥量时耕下层养分供应量和耕层一季养分矿化或释放量被折算在耕层有效养分含量之中考虑,其理论上的缺陷和操作上的不便限制了科学施肥的推广普及和精度的提高。“生态平衡施肥模型”克服了“函数法”和“目标产量法”的理论缺陷,主要参数都是可以直接测定的绝对数值,可以实现加和预报施肥量。模型不使用“土壤养分换算系数”和“表观肥料利用率”这两个不易测定和易变的参数,土壤养分供应量明确包括耕层非有效态养分矿化或释放量和来自耕下层的养分,而不涉及耕下层控制土层的厚度。模型既可以以土壤分类单元为基本施肥单元预报施肥量,又可以具体服务到每一地块。模型具有功能齐全、信息量丰富、参数变异小、计量更为准确、参数容易获得、模型易于应用等优点,为精确施肥的推广普及和防止肥料面源污染提供了新的计算方法,其理论意义深刻,可望被广泛应用。

## 2.5 “生态型肥料”的内涵

在利用“生态平衡施肥模型”及其“特征参数”确定“生态施肥量”之后,选择什么样的肥料才能实现“生态平衡施肥”的目的,或者说不同的肥料投入组合或施肥模式,其“特征参数”不同,如使用氮肥缓释剂和不使用氮肥缓释剂、化肥在施用有机肥和不施用有机肥等情况下的“特征参数”都将存在差异。国内外理论研究与生产实践表明,最好的施肥模式是化肥与有机肥配合施用,在没有有机肥投入的情况下,化肥中氮、肥、钾等元素比例合适也是比较好的施肥模式,同样可以实现施肥多目标的目的。本文将以实现施肥多目标为目的,因地制宜利用区域废弃物生产的有机肥(包括秸秆还田)或具有肥料特征天然物质、经过测土和田间试验配制的化肥专用复混肥(含大量元素N、P、K和中微量元素),为减少化肥投入而使用的微生物肥和为提高肥料利用率而加入的缓释/可控剂等配合或复混施用的肥料投入组合,称为“生态型肥料(Ecological fertilizer, EF)”,也包括叶面肥、浸种剂、沾根剂和包衣剂等具有肥料特性的产品<sup>[15]</sup>。

## 2.6 “生态平衡施肥”的内涵

“生态平衡施肥”是以“生态平衡施肥”理论为基础,以“生态平衡施肥”技术为手段,以“生态型肥料”为载体的施肥方式,它将农田、农业、农村、城镇和化工业连接在一起,通过对复合生态系统物质循环特征的综合分析和诊断,将现有成熟技术因地制宜进行优化组装,通过3R途径(Reduce)相对减少肥料投入量(Reduce),提高投

入质量,重复使用土壤中无效化养分(Reuse)和使系统外养分加入到系统内实现养分再循环(Recycle)益的综合效益最佳的方法。调整地质学大循环和生物学小循环的养分循环过程,而实现施肥系统的经济效益、社会效益和生态效益的综合效益最佳的方法。

## 2.7 “生态平衡施肥”的作用

“生态平衡施肥”能够提高作物单产、改善品质、相对降低肥料投入成本,增加收入、减少肥料面源污染、培肥土壤、间接减少化工污染和不可再生资源的快速消耗。作者在中国东北黑土上所做的玉米肥料试验结果表明,生态平衡施肥模型与目标产量法相比节约用氮10%以上<sup>[4]</sup>。

## 3 “生态平衡施肥”技术体系

### 3.1 “生态平衡施肥”技术体系

肥料田间试验是“生态平衡施肥”的基础,然而田间试验周期长、耗资、数量有限。测土是利用肥料田间试验结果与土壤肥力关系而实现“生态平衡施肥”的桥梁,它可以大幅度减少肥料田间试验的工作量,使田间试验结果得以在一定范围内推广。用常规分析方法测定一个土样的有效氮、磷、钾含量,不包括采样、运输等费用,实验室商业性分析费用需要几十元,即使是用速测方法测定,如果包括服务费用在内,农民也无法接受。就大范围而言,土壤测定也受到经费和工作量限制。3S技术可以大幅度减少测定土样的数量,并能实现对一定范围(如县)内的所有地块的计算机信息管理,使得每个村甚至每一户都能在计算机的帮助下及时了解自己地块的肥力情况和确定下一年的施肥计划。目前来讲,建立以村和组干部和农民骨干为主要成员的“生态平衡施肥”自我服务流通网络是十分必要的。在科研单位和大专院校的组织下,建立以肥料企业为核心的“生态平衡施肥”服务机构已经成为现实和可能,这个机构能将在投入上农民能够接受的所有与施肥技术有关的高新技术、先进技术和传统技术潜移默化地通过专用肥产品和施肥方法传授给农民,即所谓的“傻瓜技术”。农民没有必要必须懂得配方与气候条件、作物需肥规律、土壤条件、所使用肥料的特性和调理剂的关系等等。

“生态平衡施肥”技术体系包括以下部分:改善目前常规肥料的一些特性使之更符合“生态平衡施肥”的目的,如长效碳铵和长效尿素,改善根域或肥域土壤条件,提高肥效和土壤养分利用率,如使用微生物肥料等,秸秆还田技术和堆肥技术;特征参数,田间试验方法;专用肥配方田间试验方法;土壤有效养分速测方法,利用3S等高新技术和常规技术所建立的县级配方施肥预报系统及计算机信息管理系统,包括施肥基本单元的划分、建立空间和属性数据库、参数尺度转换方法、“生态平衡施肥”参数空间格局图和基肥、追肥预报模型等。由企业运作的以科研单位为桥梁、以农民为用户、以政府为后盾的区域性服务-生产-施用产业化网络是“生态平衡施肥”实现的组织保证,包括以村为基本行政单元的以农民为用户的自我服务流通网络、以村和乡为基本单元的示范和测土网络、以县和乡媒体为主的宣传和培训网络、以企业和科研单位为核心的服务体系、调节专用复混肥时空需求的企业网络等。

### 3.2 “生态平衡施肥”实施的经济保障和效益分析

“生态平衡施肥”服务机构运作费用主要来源于肥料零售与批发差价和科学配方节省的肥料费用。我国农民人均耕地面积少,使以家庭为单元的农户只能从肥料门市部按最高价格购买肥料。对尿素而言,目前全国平均价格为1.5元/kg,而服务机构可以从化肥厂或大的肥料批发商(主指国外进口肥料)在肥料使用前的几个月(考虑到加工生产时间)内按批发价格购进化肥,如尿素1.1~1.2元/kg。设想如果将差价的1/3用于为农民服务,就可以满足肥料田间试验、土壤养分测定、建立服务体系、计算机管理系统等所需要的经费。其实,只要销售量增加,配方施肥服务机构总效益并不会减少。以试验基地赤峰市元宝山区为例,目前水浇地玉米基肥二铵平均用量为300kg/hm<sup>2</sup>,而土壤有效磷已经达到10~20mg/kg,目前的磷肥用量可以节约一半。所节约磷肥的70%费用如果用来购买钾肥、锌肥和补充部分氮肥,使氮、磷、钾投入比例适宜,肥料利用率也将得到提高,追施氮肥数量也可以减少。另外的20%作为减低的肥料成本,10%用于技术服务费用。该区2万hm<sup>2</sup>耕地中如果有1/3使用专用复混肥,每年农民无意中可以为永远为自己服务的“生态平衡施肥”服务机构提供20万元的服务费用,同时每户可以从增产和节约肥料投入成本中多收入100元以上。

我国3000多个县是“生态平衡施肥”的主要服务单元,数以万计的各种规模的肥料厂是“生态平衡施肥”实施

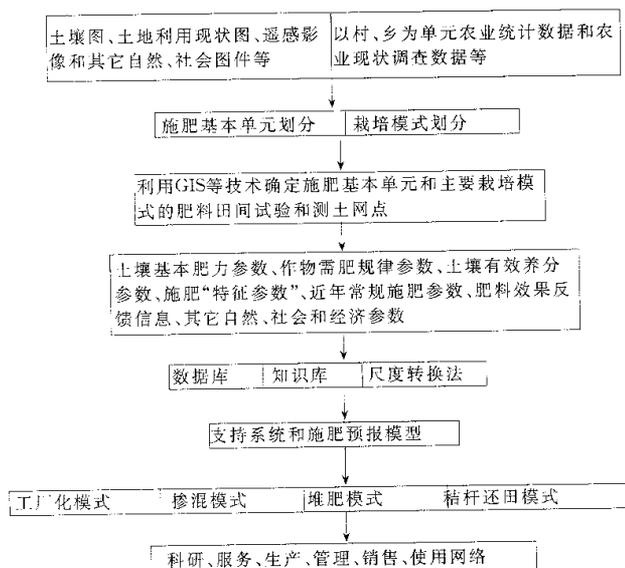


图1 县级“生态平衡施肥”工程实施的技术路线

Fig. 1 Technological course of ecological balanced fertilization engineering in the county

的核心机构。建立一个县级“生态平衡施肥”产业化网络需要50万元左右,每年运作费用不超过20万元。每产1000万kg的复混肥厂纯利润至少在150万元以上。如将全国肥料利用率平均提高10%,每年所节省的氮、磷、钾化肥相当于110亿元,如增产粮食按10%计算,每年效益可达500亿元。总之,“生态平衡施肥”的特点是因地制宜、科学配方、高产优质、保护环境。“生态平衡施肥”是能够给企业带来经济效益、保证农民增产增收、减少环境污染和对国家做出贡献的,使用成熟技术优化组装的,可持续发展需要的,风险最小的生态工程产业。

#### 参考文献

- [1] 曾宪坤. 中国化肥工业的现状与展望. 土壤学报, 1995, 33(2): 117~124.
- [2] 陆允甫, 吕晓男. 中国测土施肥工作的进展和展望. 土壤学报, 1995, 33(3): 241~250.
- [3] 唐近春. 中国土壤肥料工作的成就与任务. 土壤学报, 1994, 31(4): 341~347.
- [4] 侯彦林, 刘兆荣. 生态平衡施肥模型理论与应用. 土壤通报, 2000, 31(1): 33~35.
- [5] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究. 土壤学报, 1996, 33(2): 138~147.
- [6] 沈善敏, 殷秀岩, 张璐. 农业系统中磷肥残效及磷循环研究. 应用生态学报, 1992, 3(2): 138~143.
- [7] 姚源喜, 杨廷蕃. 有机肥和无机氮肥配合施用对调节土壤磷素平衡的影响. 土壤肥料, 1989(1): 5~9.
- [8] 蒋仁成, 厉志华, 李德民. 有机肥和无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究. 土壤学报, 1990, 27(2): 179~185.
- [9] 王秋杰, 寇长林, 王永歧, 等. 砂土供磷特性及磷肥效应研究. 土壤学报, 1996, 33(4): 366~372.
- [10] Kengni L, Vachaud G, Thony J L, et al. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. *Hydrol.* (Amsterdam), 1994, 162: 23~46.
- [11] Pier J W and Doerge T A. Concurrent evaluation of agronomic, economic and environmental aspects of trickle-irrigated watermelon production. *J. Environ. Qual.*, 1995, 2: 75~84.
- [12] Sexton B T, Moncrief J F, Rosen C J, et al. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. *J. Environ. Qual.*, 1996, 25: 982~992.
- [13] 刘文通, 刘声元, 郝景发. 长春地区诊断施肥量计算公式中几个参数的探讨. 土壤通报, 1984, 15(3): 117~120.
- [14] 张宽, 赵景云, 王秀芳, 等. 黑土供磷能力与磷肥经济合理用量问题的初步研究. 土壤通报, 1984, 15(3): 120~123.
- [15] 侯彦林. 不可数呼唤“生态肥料”. 中国科学报, 1998-11-18, 第三版.