

# 用于无公害蔬菜生产的氮素平衡推荐决策系统

张晓晟<sup>1</sup>, 陈清<sup>1</sup>, 张宏彦<sup>1</sup>, 程昌秀<sup>2</sup>, 李晓林<sup>1</sup>

(1. 农业部植物营养学重点实验室, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学植物营养系, 北京 100094; 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 氮肥是无公害蔬菜生产中首要控制的肥料品种, 发展推荐准确、输入参数较少, 并且易于被广大农户所接受的氮肥推荐系统对于维持农业的可持续发展具有很重要的作用。根据蔬菜适宜生长的养分需求目标及菜田土壤氮素供应的特点, 通过引入经验性模型, 考虑了作物氮素吸收、必需土壤  $N_{min}$  缓冲值、氮素损失、播前土壤氮素存留、土壤有机氮矿化、作物残体氮素矿化等组分, 依据养分平衡推荐的原则实施无公害蔬菜生产氮素推荐, 并以此研制开发了无公害蔬菜生产的氮素平衡推荐决策系统。系统的设计采用三层体系结构, 充分利用 ADO (ActiveX Data Objects) 和 ODBC (Open Database Connectivity) 对后台数据库的处理与管理能力, 实现数据的访问。采用 Visual Basic 6.0 作为程序设计语言, 实现人-机交互界面。在过去的两年时间里, 采用系统软件对京郊地区露地蔬菜进行了应用推广。结果表明: 和传统施肥措施相比, 在保证产量的前提下, 采用开发系统推荐的氮肥施用量比传统施用量降低了 30% ~ 60%, 减少了养分资源的浪费, 从而降低了对环境污染的风险。

**关键词:** 无公害蔬菜; 氮素; 平衡施肥; 决策系统  
**中图分类号:** S143.1 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)03-0212-04

## 1 引言

随着经济的发展和人们环保意识的提高, 食品优质及安全生产正越来越普遍受到社会的关注, 消费者对蔬菜产品的需求也逐渐由单纯满足数量方面的需求转向质量型的生产<sup>[1]</sup>, 特别是在我国加入 WTO 以后, 提高蔬菜产品质量是扩大蔬菜出口的必要措施。因此, 蔬菜生产目前也已逐渐由高投入、高产转转为高营养、高质量、高效益、无污染的无公害蔬菜生产<sup>[1,2]</sup>。氮肥是无公害蔬菜生产中首要控制的肥料品种, 也是蔬菜养分供应中需要量最大的肥料之一。氮素供应不足或过量都会造成蔬菜产量的减少和品质的下降, 不仅对蔬菜不利, 而且还会污染地下水, 因而氮肥施用和蔬菜生产中显得十分重要。目前我国的蔬菜种类繁多, 据不完全统计, 仅京郊地区种植的蔬菜种类达 60 余种, 各类蔬菜的产量和养分需求差异很大, 而且同时也存在季节性的差异<sup>[3]</sup>。虽然平衡施肥的原则在农田生产中有很广泛的应用, 但目前蔬菜生产中处于刚刚起步阶段; 因此, 总结众多蔬菜作物的养分需求特点和相应的土壤养分供应对合理施肥十分必要。由于计算机在我国土肥工作中的应用日益广泛, 因此结合区域性的气候特点建立蔬菜作物的养分推荐数据库系统, 应用模拟模型来预测作物的氮素需求和土壤中的氮素动态转化过程十分必要。从我国目前科技发展速度和计算机在农业的应用情况来看, 通过研究挖掘新型的施肥系统, 应用计算机推荐进行施肥服

务已成为可能<sup>[4,5]</sup>。

本文在总结蔬菜管理施肥经验的基础上, 采用 Visual Basic 6.0 作为程序设计语言, 开发出界面友好, 操作简单, 功能完备, 易于维护, 方便用户的蔬菜氮肥平衡管理决策系统, 在保证蔬菜产量的同时满足生态和环保的要求。

## 2 决策系统的原理及决策流程

土壤-蔬菜的无机氮素平衡体系中的氮素来源、氮素去向及其间的转化过程十分复杂<sup>[6]</sup>, 根据其特点, 可以采用表观计算的方式进行简化处理, 如氮素损失包括气态损失(氨挥发、反硝化等)、氮素淋失、氮素固定等等, 但在该系统中只是根据多点田间试验的结果, 综合各种损失途径, 简单地预测了总的表观损失数量。由于这些组分之间的相互作用过程对作物生长期间氮素供应的贡献不同, 因此对于一些影响很小的过程或者组分可以在考虑肥料推荐时忽略不计<sup>[7]</sup>。表 1 总结了与蔬菜作物氮素推荐关系十分密切的主要组分及其影响因素, 采用简单的平衡模型可以计算出在作物不同生长时期的氮素推荐施用量。

表 1 推荐系统进行氮素平衡计算的主要组分

Table 1 Selected main components in balanced N recommended system for sustainable vegetable production

内容	影响因素	计算方法
组分 1+ 作物氮素吸收	作物品种、发育阶段、作物生产系统	作物生长模型
组分 2+ 必需土壤 $N_{min}$ 缓冲值	作物品种	通过试验和专家推荐确定
组分 3+ 氮素损失	氮素供应量、耕作期长短	经验性模型
组分 4- 播前土壤氮素存留	土壤氮素肥力状况	通过测定或平衡计算
组分 5- 土壤有机氮矿化	有机质含量、季节、耕作期	经验性模型
组分 6- 作物残体氮素矿化	作物残体类型、数量	经验性模型
=	氮肥推荐施用量	

收稿日期: 2002-07-03 修订日期: 2002-12-15

基金项目: 国家“十五”攻关项目(2002BA 516A 07); 国家自然科学基金重点项目(3023250)资助

作者简介: 张晓晟, 博士, 北京圆明园西路 2 号 中国农业大学资源环境学院, 100094

通讯作者: 李晓林, 教授, 北京圆明园西路 2 号 中国农业大学资源环境学院, 100094



系统中的各个组分受不同的因素制约和影响, 其研究方法也有所区别。对于氮素吸收、氮素损失、土壤有机氮矿化、作物残体氮素矿化等组分来说, 由于影响它们的过程比较复杂, 所需的参数很多。因此系统选用不同的经验性模型来预测这些过程。必需土壤  $N_{min}$  缓冲值需要通过田间试验或专家的建议来获得, 而播前土壤有效氮素供应或灌溉水带入的氮素量则需要实验室分析后得到。为了使用户较为容易地使用本系统, 数据库提供了主要蔬菜所需要的基本默认值, 这些数值大部分是来自田间试验的结果。另外, 如果用户在蔬菜生产或肥料推荐中有特殊的要求, 只需参照默认值的格式进行修改即可。

系统决策流程设计框图见图 1。氮肥施用量的确定是本系统的主要功能, 具体的分为以下几步:

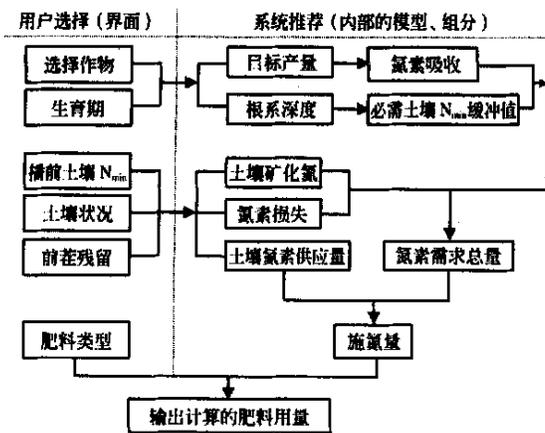


图 1 氮肥平衡推荐系统的决策流程

Fig 1 Schematic diagram of the strategic system for system of balanced N recommended

- 1) 选择所要进行推荐施肥的蔬菜作物名称;
- 2) 根据作物的特性填写预期达到的作物目标产量, 其值应该符合该种作物的基本产量特性, 如果超出合理的范围, 系统会自动提示;
- 3) 选择作物的生育期, 不同作物在不同生育期, 包括干物质累积、作物根系生长、作物生长速率等都不同, 因而养分需求数量不同。系统采用作物生长模型预测不同时期的生物产量和氮素含量, 以此确定作物的氮素需求数量。如果是分次施肥, 则也可以通过模型确定本次施肥阶段的氮素需要量;
- 4) 确定可以表征土壤特性的参数, 包括土壤质地、土壤无机氮含量, 决定土壤的氮素矿化供应特性, 采用简单的回归模型和模拟模型计算土壤的氮素矿化和氮素损失;
- 5) 选择有机肥的和作物残茬处理方式, 通过点击卡通图片和复选框选择有机肥种类, 在文本框里输入肥料用量, 可以采用系统推荐的有机肥养分含量, 也可以采用自己测定的数值, 通过经验性模拟模型可以预测有机肥的矿化过程, 预测不同时期有机肥提供的氮素养分量;
- 6) 选择作物残茬的种类、处理方式, 系统通过模拟

模型预测作物残茬在不同时期所释放的氮素对下茬作物的贡献;

7) 结合其它的选择和填写, 根据氮素输入、输出平衡的计算可以确定整个生育期或者任一生育期间的氮素施用量;

8) 选择施用的化肥种类, 根据养分含量及上述选择, 确定所选肥料的施用量。

图 1 中, 虚线左侧的项目是需要用户进行选择或者输入的, 可以在系统的提示下(包括图片或者文字)分步选择完成。虚线右侧的项目是系统内部的计算和推荐过程, 用户可以采用系统的推荐值进行计算, 也可以根据界面的提示进行更改, 对高级用户还可以通过修改系统数据库中的参数, 使其与实际的生产状况更加吻合, 使推荐结果更加准确。

### 3 系统软件的结构设计、数据库的构建及功能的实现

系统软件的结构设计 为了使开发的应用程序的参数便于调整, 方便以后的升级和维护, 就必须使开发的应用程序有一定的可重用性、易移植性和可伸缩性。应用程序的可重用性使开发周期得以缩短, 开发效率得到提高; 应用程序的易移植性使应用程序适用于不同的软硬件平台; 应用程序的可伸缩性使应用程序很容易从单机版扩展为网络版, 甚至可扩展为 Web 应用程序, 供多人访问。为达到上述目标, 在系统的设计过程中, 采用 3 层体系结构, 即将系统分为 3 个层次(图 2): 表示层(Presentation layer)、业务逻辑层(Business layer)、数据服务层(Data services layer)。

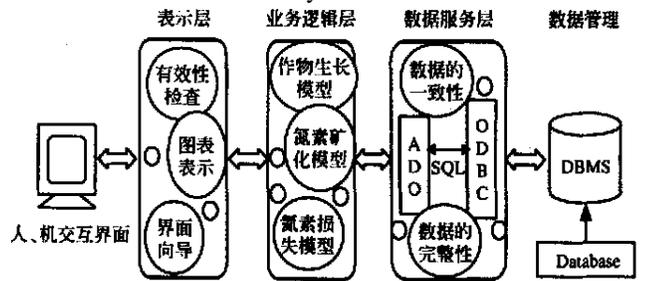


图 2 氮肥平衡推荐决策系统层次结构图

Fig 2 Hierarchy of different layers in the structure of balanced N recommendation system

表示层是指人机界面, 也就是窗口界面, 它指导操作人员使用已定义好的服务或函数, 并且对用户的输入数据做有效性检查; 业务逻辑层是有专业意义的运算层, 在这里利用各种专业模型对输入的数据进行处理得到输出结果, 指导施肥; 数据服务层负责创建、更新、返回、删除数据库中的数据, 维护数据的一致性和完整性。这样设计的程序层与层之间协同工作, 但每层的功能是明确的, 并且是相互独立的, 当更新某一层的具体实现方法时, 只要保持层间接口不变, 就不会对邻层造成影响<sup>[8]</sup>。

在数据服务层, 我们充分利用 ADO (ActiveX Data

Objects) 和 ODBC (Open Database Connectivity) 对后台数据库的处理与管理能力实现数据的访问<sup>[9]</sup>。业务逻辑层与表示层间的耦合性也较小。这样, 当系统有 B/S (Browser/Server) 结构的需求时, 只需将界面层的代码用 HTML + Script 来替代, 就可以在网上发布, 而其它程序基本不用改变, 这样可以同时开发出单机版和网络版的应用软件, 节省系统开发的时间和精力。利用 Visual Basic 6.0 作为模型的开发语言, 利用其丰富的图形界面和开放式数据连接等技术, 发挥新型计算机软硬件的功能。

**数据库的构建** 数据库是现代计算机应用中信息提取和交换的基础, 是计算机系统工作中的重要信息来源<sup>[10]</sup>。数据库设计是一个计算机应用系统的关键部分, 其结构设计合理与否直接影响到系统的性能和功能。尽管目前的数据量不大, 但仍可以就其数据库的建立进行探索。考虑到软件、硬件的要求和实际应用情况, 数据库管理系统选用了较为流行的微软 (Microsoft) 公司的 Microsoft Access 2000 数据库系统, 由数据库访问组件 ADO 执行数据库访问操作。数据输入到数据库中, 按数据表 (Table) 为单位保存, 每个数据表由字段 (Fields) 和数据 (Data) 构成。对于每个字段, 根据数据的具体情况都给予一个确定的字段类型, 与 Visual Basic 程序中定义的数据类型相一致, 方便于软件的运行和应用<sup>[11]</sup>。

数据库包括 6 个数据表: 作物产量特性表, 作物生长参数表, 作物生育时期表, 有机肥养分含量和矿化特性表, 化肥养分含量表, 作物残茬特性表。其 E-R (Entity-Relationship) 图如图 3 所示。数据库表与表之间采用严格的级联一致性规则, 确保数据的完整性。

**功能的实现** 根据需求, 该决策系统应该能够实现以下基本功能: 资料的维护, 如: 用户可以添加原数据库中不存在的有机肥或化肥品种, 也可以改变原有系统给定的肥料养分含量; 变量的输入, 如: 用户可以改变作物的目标产量和预期生育时期; 结果的输出, 如: 作物预期生育曲线的输出。

按照以上的设计要求, 系统实现了以下功能: a 用

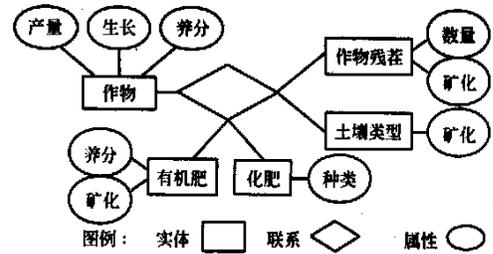


图 3 系统数据 E-R 图

Fig 3 Entity-Relationship diagram of the database in system

户可以改变作物的目标产量和预期生育时期来满足不同栽培条件的施肥要求, 同时亦可以满足同一蔬菜不同品种或生态类型的生育特点; b 用户可以添加原数据库中不存在的有机肥或化肥品种, 也可以改变原有系统给定的肥料养分含量, 以适应不同地区的差异和化肥工业技术的不断发展; c 结合给出的作物预期生长曲线, 用户可以根据自己的经验, 对合适的施肥时期和施肥量作出自己的判断; d 由于采用了面向对象的方法设计, 系统结构清晰, 维护方便, 运行稳定。e 由于采用多媒体技术, 图文并茂, 便于知识的理解, 方便用户使用。

#### 4 应用

应用本系统在京郊地区进行了露地蔬菜氮肥推荐试验 (表 2)。不同蔬菜在不同点的试验结果均表明, 同农民传统氮素处理相比, 推荐氮素处理的产量结果, 除了一个点的甘蓝产量略有降低之外, 其它各点均有增加的趋势, 但产量增加和减少的差异均不显著。系统推荐处理在保证产量的前提下, 却使氮肥用量降低了 30% ~ 60%。这一结果进一步证明, 传统蔬菜生产中投入的过多的无机氮素并没有被作物吸收利用, 在降低施肥经济效益的同时, 其去向更多的是以各种方式进入大气或地下水, 对生态环境带来不良影响。应用平衡推荐系统, 可以提高氮肥利用率, 减少资源浪费, 降低对环境污染的风险, 这与 Chen et al 应用同样的推荐方法在菠菜上取得的结果相一致<sup>[12]</sup>。

表 2 京郊地区推荐应用的试验处理

Table 2 Crops marketable yield and corresponding N fertilizer applied rates in the traditional and recommendation treatments in Beijing suburb

地 点	作物*	氮肥用量/kg · hm <sup>-2</sup> N		产量/t · hm <sup>-2</sup>	
		传统氮素处理	推荐氮素处理	传统氮素处理	推荐氮素处理
大兴区礼贤镇	番茄 (2)	428	343	22.6 (±3.0)	23.2 (±4.5)
怀柔县怀柔镇	生菜 (4)	116	58	24.0 (±8.1)	30.0 (±6.4)
昌平区城区镇	油菜 (4)	97	48	31.4 (±6.5)	37.0 (±7.0)
密云县密云乡	甘蓝 (3)	242	124	43.0 (±3.6)	53.3 (±4.3)
密云县密云乡	黄瓜 (2)	361	283	60.4 (±8.6)	62.7 (±6.5)

\* 括号内数字表示试验点的数量。

本系统的建立适应了无公害蔬菜生产和持续农业发展的要求, 为应用氮素平衡的基本原理进行蔬菜施肥推荐提供了有力的支持。但目前的系统还不够完善, 并且各部分模型的参数还需要进一步的修正, 系统数据库

仍需要不断扩充。例如, 应用本系统与植株和土壤养分速测等其他技术相结合, 通过反馈调节不断进行参数修正, 为目前无公害蔬菜生产的氮肥推荐提供新的思路 and 工具。

## [参 考 文 献]

- [1] 刘明池 关于首都蔬菜生产现状和发展的思考[J] 北京农业科学, 2002, (1): 1~ 4
- [2] 郑光华, 罗 斌 绿色食品蔬菜—21世纪设施农业的主导产品[J] 中国蔬菜, 1999, (1): 1~ 3
- [3] 李家康, 陈培森, 沈桂琴, 等 几种蔬菜的养分需求与钾素增产效果[J] 土壤肥料, 1997, (3): 3~ 6
- [4] 贺立源 计算机在土肥工作中的应用与展望[J] 计算机与农业, 1998, (2): 15~ 18
- [5] 蔡德利, 朱德海 施肥管理决策信息系统分析[J] 计算机与农业, 2001, (8): 9~ 12
- [6] 朱兆良 农田中氮肥的损失与对策[J] 土壤与环境, 2000, 9(1): 1~ 6
- [7] Fink M, Scharpf H C. N-Expert—A decision support system for vegetable fertilization in the field [J] Acta Hort, 1993, 339: 67~ 774
- [8] 程昌秀, 李绍明, 严泰来 N 层结构在饲料配方软件中的应用[J] 计算机与农业, 2000, (7): 22~ 24
- [9] 莫卫东, 白 鹏, 张晓敏, 等 Visual Basic 6.0 高级编程技巧—ADO 数据访问篇[M] 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [10] Philip J, Pratt Joseph J, Adam ski 陆洪毅, 杨文波, 程华, 等译 数据库管理系统基础[M] 北京: 机械工业出版社, 1999
- [11] 岳 清 开发工具专家—Visual Basic 6.0 培训教程[M] 北京: 电子工业出版社, 2000
- [12] Chen Q ing, Zhang Hongyan, Tang Liling, et al Effects of water and nitrogen supply on spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth and soil mineral N residues[J] Pedosphere, 2002, 12(2): 171~ 178

## Strategic system to control N balance for sustainable non-polluted vegetable production

Zhang Xiaosheng<sup>1</sup>, Chen Q ing<sup>1</sup>, Zhang Hongyan<sup>1</sup>, Cheng Changxiu<sup>2</sup>, Li Xiaolin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition, MOA; Key laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE; Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Nitrogen fertilization is usually regarded as the main factor to control nutrient supply in order to produce non-polluted vegetable. It is very significant to build up an advisory N recommendation system, with simple parameter input, friendly interface and multi-function, as a useful tool in the maintenance of sustainable vegetable production. A new strategic N recommendation system was developed to balance N fertilization through the empirical model prediction in crop N uptake, N loss, N release from soil organic pool and crop residue, and determination of soil  $N_{min}$  safety margin, soil  $N_{min}$  residue at preplanting. Three structural layers were selected in the design of advisory system program to be easy to acquire data through ADO (ActiveX Data Objects) and ODBC (Open Database Connectivity). A friendly human-machine interaction interface was built using Visual Basic 6.0, one of advanced program language. The system program was extended in the vegetable production in the open-field of Beijing suburb. From the results of several field experiments with different vegetable varieties, it was showed that in most cases there was no yield reduction from the recommended treatments in comparison with conventional fertilizer practice. However about 30% ~ 60% of nitrogen fertilizer was saved in the recommended treatment using the developed program. It means that using the balancing fertilization strategy, it can not only reduce the fertilizer waste, but also maintain the sustainable vegetable production.

**Key words** non-polluted vegetable; nitrogen; balance fertilization; strategic system