

蔬菜施肥量简便快速推荐系统 APP 实现与应用*

张怀志¹, 黄绍文^{1*}, 冀宏杰¹, 唐继伟¹, 李若楠², 袁 硕¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 石家庄 050051)

摘要:【目的】针对 PDA、触摸屏、手机、计算机等施肥专家系统所依托的载体硬件容量资源有限以及施肥技术产品用户分散, 施肥推荐所需的土壤学、蔬菜学、植物营养学、肥料学等学科领域海量数据逐个更新难度大的问题, 研发蔬菜简便快速推荐施肥系统 APP。【方法】以基于土壤养分系统平衡理念的蔬菜施肥量简便快速推荐模型为核心, 综合应用移动通信技术、数据存储等现代科学技术的发展成果, 设计了蔬菜施肥量简便快速推荐系统 (SVFRS), 并在 iOS、Android 操作系统的智能手机上实现 (APP)。【结果】技术产品在河北省 (定兴县、藁城区)、天津市 (西青区、武清区) 等日光温室蔬菜基地示范应用, 减施化肥 30% 以上, 增产 8% 以上, 增效 15% 以上; 完成一次到农户地块的精准化专家施肥技术指导花费不足 0.1 元 (0.1~0.2 M 的数据流量); 专家只需更新数据中心的数据就可以为用户提供新的科学数据支撑。

关键词: 蔬菜; 施肥专家系统; 智能手机客户端; 数据中心

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180508

0 前言

调查表明, 全国主要蔬菜平均化肥养分 ($N+P_2O_5+K_2O$) 用量 $1\ 092.0\ kg/hm^2$, 是全国农作物平均化肥养分用量的 3.3 倍; 主要设施蔬菜平均 (化肥 + 有机肥) 养分总用量 $2\ 275.5\ kg/hm^2$, 其中 N、 P_2O_5 和 K_2O 施用总量分别为 $850.5\ kg/hm^2$ 、 $726.0\ kg/hm^2$ 和 $792.0\ kg/hm^2$, 平均分别是各自推荐施用量的 1.9、5.4 和 1.6 倍; 设施蔬菜基肥化肥养分用量占化肥 (基肥 + 追肥) 养分总量比例过高, 平均达到 40%~50%^[1-2]。这与农户不了解蔬菜养分需求规律、随意施肥、专用肥缺乏等有关。蔬菜的不合理施肥导致肥料利用率和生产效益低下、土壤次生盐渍化比例较大、硝态氮和速效磷富集、地下水硝酸盐超标等一系列较为严重的问题。推广蔬菜科学施肥技术是解决蔬菜不合理施肥、保护环境的重要途径之一。

收稿日期: 2018-09-20

第一作者简介: 张怀志 (1968—), 男, 汉族, 江苏东海人, 博士, 副研究员。研究方向: 蔬菜高效施肥、智慧农业。

Email: zhanghuai@caas.cn

* 通信作者简介: 黄绍文 (1964—), 男, 汉族, 湖南桃源人, 博士, 研究员。研究方向: 蔬菜营养与绿色高效施肥。

Email: huangshaowen@caas.cn

* 基金项目: “十三五”国家重点研发计划课题 (2016YFD0201000、2016YFD0801006), 现代农业技术体系建设专项 (CARS-23-B02), 山东省重点研发计划项目 (2017CXGC0206)

2018年10月

科学施肥技术推广除传统的面对面传授方式外,国外从20世纪70年代开始将计算机用于施肥技术的推广中,美国国际农化服务中心研制的施肥软件可以对140种作物的11种营养元素提供施肥咨询服务^[3]。20世纪80年代,中国科学院合肥智能化研究所与安徽省农业科学院合作开发了我国第一个施肥专家系统——砂姜黑土小麦施肥专家咨询系统^[4]后,先后出现了棉花^[5-6]、水稻^[7]、小麦^[8]、果树^[9]以及包含多种作物的施肥专家系统^[10-12]。随着计算机、现代通信、网络等科学技术发展,专家系统的载体除了计算机外,还出现了基于PDA(Personal Digital Assistant, PDA)^[13]、触摸屏^[14]、(智能)手机^[15]等载体的施肥专家系统。

根据科学施肥原理,施肥推荐离不开土壤学、蔬菜学、植物营养学、肥料学等学科的海量数据支持。而基于PDA、触摸屏、(智能)手机等载体的施肥系统由于受载体硬件容量影响,存储的知识、数据量等有限,难以实现在田间地头对任一农户地块蔬菜施肥进行技术指导;另外,推荐施肥需要的所有科学数据存在于每一个单独的载体上,由于用户分散、蔬菜施肥量推荐数据逐个更新难度大,4G移动通信技术、移动互联网、云计算技术^[16]以及计算机软硬件的发展,为农业科学技术推广提供了新途径。

基于此,文章以作者所在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所蔬菜土壤肥料团队研发的基于土壤养分系统平衡理念的蔬菜施肥量简便快速推荐模型^[1]为核心,利用移动通信、数据存储等现代科学技术,并综合考虑目前我国农户的知识水平和消费水平,设计开发蔬菜施肥量简便快速推荐系统,以期能够经济、便捷地将蔬菜施肥推荐技术指导送达千家万户,遏制我国蔬菜肥料施用不合理现象,实现减肥增效;同时也为大田作物及果树施肥技术推广、农业科技推广探讨新模式。

1 蔬菜施肥量简便快速推荐模型

目前测土推荐施肥方法主要包括土壤肥力指标法、土壤肥力临界值法、目标产量测土施肥法3个方法,都需要开展大量土壤测试、大量田间试验,但较为准确的参数(如土壤养分利用系数、肥料当季利用率)仍难以获得,计算也较为复杂。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所蔬菜土壤肥料团队研制了基于土壤养分系统平衡理念的蔬菜施肥量简便快速推荐方法,具体如下。

$$\text{养分推荐量} = \text{养分吸收量} \times \text{校正系数} \quad (1)$$

$$\text{养分吸收量} = \text{目标产量} \times \text{单位产量养分吸收量} \quad (2)$$

式(1)、(2)中共有3个参数,其中目标产量在近3年平均产量基础上增加15%进行计算;单位产量养分吸收量参数可利用多年多点大量肥料试验结果统计,容易获得且较为准确;不同土壤肥力水平养分吸收量校正系数的确定是该方法核心。设施菜地肥力水平等级划分标准参见文献^[17],依据近些年研究获得的有关蔬菜养分循环特征参数以及田间试验数据等确定校正系数,如设施菜地施入的氮损失率累计可达到30%~40%(硝态氮淋失、氨气挥发、N₂O排放等),灌溉水氮带入量为施N量的10%左右。

根据中肥力菜田土壤氮输入=氮输出平衡模型,计算出氮校正系数为1.3~1.5。中肥

力菜田的氮平衡主要为维持性施肥，其中氮输入 = 肥料氮施用量 + 灌溉水氮带入量 + 雨水氮带入量 + 种子氮带入量；氮输出 = 氮素吸收量 + 硝态氮淋失量 + 氨气挥发量 + N₂O 排放量。P₂O₅、K₂O 无挥发损失，土壤 P₂O₅、K₂O 淋失忽略不计，根据中肥力菜田土壤 P₂O₅/K₂O 输入 = P₂O₅/K₂O 输出模型，可计算出 P₂O₅、K₂O 校正系数均为 1.0。根据菜田土壤养分系统平衡理念，高肥力土壤充分利用土壤养分，适当减少施肥，校正系数可在中肥力基础上减少 20% 左右，而低肥力土壤需要达到增产、培肥地力双重目标，适当增施肥料，校正系数可在中肥力基础上增加 20% 左右。

针对农户重视化肥施用、轻秸秆使用，磷施用严重超量，基肥化肥用量占比过高等问题，该方法体系还根据蔬菜不同生育阶段需肥规律以及长期定位试验结果，确定有机肥养分用量占总养分用量（化肥养分 + 有机肥养分）的比例为 40%~50%，基肥化肥养分用量占总化肥养分用量的 15%~20%，尽量选用低磷型复合肥、水溶肥。与已有施肥推荐方法比较，该方法的主要特点有：（1）协调了 N、P₂O₅、K₂O 比例，匹配了养分形态（如硝态氮、铵态氮、酰胺态氮之间比例）；（2）有机肥 / 有机物料替代化肥，培肥土壤；（3）实现基肥、追肥合理运筹；（4）实现经济效益与生态效益的统一。

2 蔬菜施肥量简便快速推荐系统设计

该系统应用“移动终端 + 网络 + 数据中心”架构模式，智能终端采用嵌入式模式，即智能手机终端应用软件（APP），含有施肥推荐所必需的、应由用户提供的信息以及展示蔬菜施肥推荐结果；网络依托现有移动通信 4G 技术，数据中心具有存储蔬菜施肥推荐数据、接受来自不同区域的访问信息以及数据挖掘、施肥推荐计算等功能（图 1）。

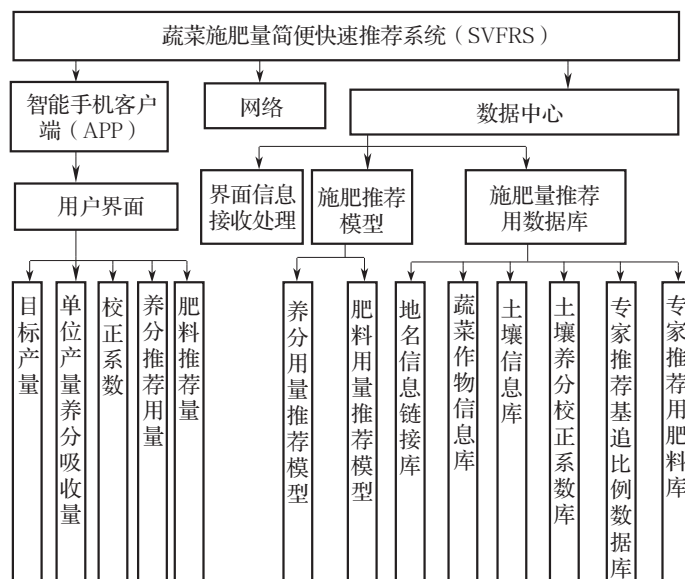


图 1 蔬菜施肥量简便快速推荐系统框架

Fig.1 Framework for simplified vegetable fertilization recommendation system

2018年10月

2.1 智能手机终端应用软件 (APP) 设计

根据我国蔬菜种植者知识水平的实际情况,终端人机交互界面设计要求:一是简单、直观,即要求输入的内容都是用户熟知的,同时展示的结果也易于用户理解;二是界面友好,采用模块化设计,便于用户操作。根据基于土壤养分系统平衡理念的蔬菜施肥量简便快速推荐模型,对蔬菜施肥推荐所需要的信息进行分类,据此设计人机交互界面相应的模块。主要分为两类:一是信息采集类模块,主要用来进行蔬菜施肥推荐基本信息采集。该模块包括3个子模块:(1)目标产量子模块,主要包括省(市、自治区)名、县(县级市、区、旗)名、蔬菜名称、蔬菜栽培方式(分为大棚、日光温室以及露地3种)、蔬菜种植茬口(如早春茬、夏茬、越冬长茬、秋冬茬等)和具体的目标产量信息;(2)单位产量养分吸收量子模块,包括每生产1000 kg蔬菜产品对N、P₂O₅、K₂O的吸收数量;(3)校正系数信息子模块,主要包括地块所在的乡镇名、村名、农户名以及地块土壤有机质(g/kg)、硝态氮(mg/kg)、速效P(mg/kg)、速效K(mg/kg)、pH值、电导率(mS/cm)、盐分总量(g/kg)、速效Ca(mg/kg)、速效Mg(mg/kg)、速效S(mg/kg)、速效B(mg/kg)、速效Cu(mg/kg)、速效Fe(mg/kg)、速效Mn(mg/kg)、速效Zn(mg/kg)、速效Mo(mg/kg)等信息。3个子模块的信息用户可以输入,也可以调用数据中心的数据信息。二是施肥量推荐结果类模块,包括两个子模块:(1)养分推荐量子模块,该模块展示用户输入的省(市、自治区)名、县(市、区、旗)名、乡(镇)名、村名、用户名、蔬菜栽培方式、蔬菜名称、目标产量等信息,同时给出此条信息下的N、P₂O₅、K₂O养分推荐用量;(2)肥料推荐量子模块,该子模块将N、P₂O₅、K₂O养分用量转化成具体的肥料用量以及肥料施用时间(基肥、追肥)。

2.2 数据中心设计

SVFRS采用Hadoop平台搭建数据中心,中心采用三层架构体系,一层完成对智能终端界面信息的处理工作;二层采用WebService提供基于土壤养分系统平衡理念的蔬菜施肥量简便快速推荐模型,完成施肥推荐量计算;三层完成科学施肥推荐数据库的读写与存储工作。数据访问方式为ODBC,ODBC的最大优点是能以统一的方式处理所有的数据库,具有良好的互用性和可移植性。

科学施肥推荐数据库分为地名信息链接库和专家施肥推荐海量信息数据库。(1)地名信息链接库。该库构建的目的是为了准确运用蔬菜施肥推荐数据库服务。现代计算机硬件技术、数据存储技术的发展,已不用考虑数据冗余,因此,本系统暂以省(市、自治区)为单位,为每一个省(市、自治区)构建了一个相应的蔬菜施肥推荐数据库,通过地名信息链接库,系统可快速定位到省级施肥推荐数据库。(2)蔬菜施肥量推荐海量信息数据库。由蔬菜作物信息子数据库、土壤信息子数据库、土壤肥力评价及校正系数子数据库、基追肥比例子数据库、专家推荐用肥料品种子数据库等组成。其中,蔬菜作物信息子数据库主要包括蔬菜名称、蔬菜栽培方式、蔬菜茬口、吨经济产量所需养分量等;土壤信息子数据库含有土壤采样点所在的省(市、自治区)名、县(市、区、旗)名、乡(镇)名、村名、用户名以及有机质(g/kg)、硝态氮(mg/kg)、速效P(mg/kg)、速效K(mg/kg)、土壤pH值、电导率(mS/cm)、盐分总量(g/kg)、速效Ca(mg/kg)、速效

Mg (mg/kg)、速效 S (mg/kg)、速效 B (mg/kg)、速效 Cu (mg/kg)、速效 Fe (mg/kg)、速效 Mn (mg/kg)、速效 Zn (mg/kg)、速效 Mo (mg/kg) 等含量信息；土壤肥力评价及校正系数子数据库主要为土壤信息子数据库中各数据项的等级评价指标及相应的校正系数等；基追肥比例子数据库有蔬菜作物名称、氮磷钾等元素作为基肥或者追肥的比例；专家推荐用肥料品种子数据库有专家设置、推荐用户不同时期施用的肥料名称。各个子数据库中间以及子数据库内通过关键词进行链接，而关键词主要有分布在界面上的蔬菜作物名、栽培方式名以及农户名等构成。

SVFRS 为数据库、各子数据库命名、结构制定了统一规则。当该区域数据更新或者该系统移植到异地应用时，只要遵循数据库构建规则，由专家提前对数据进行加工处理后，就可以便捷地替换数据中心的现有数据内容，而不会影响系统运行，避免数据更新给每个用户应用带来的不便；同时也保证了 SVFRS 具有更好的区域适应性。

3 蔬菜施肥量简便快速推荐系统 APP 实现与应用

在对智能手机用户和手机市场调研的基础上，产品开发最终选用了 Android、iOS 操作系统智能手机。推荐系统所有数据均来自于国家大宗蔬菜产业技术体系养管理岗位经费项目、国家重点研发计划课题“设施蔬菜化肥减施关键技术优化”等研究中获得的数据以及与各地土壤肥料研究所、土壤肥料工作站等交换数据。数据库采用 Excel 2003 构建。系统开发采用 C#、Java 语言。图 2、图 3 为智能客户端安装在基于 Android 操作系统的国内某知名手机品牌上的实际情况，其中图 2 为推荐信息输入界面，图 3 为推荐结果输出界面。



图 2 蔬菜施肥量简便快速推荐系统 APP 推荐信息输入

Fig.2 Input interface of APP for simplified vegetable fertilization recommendation system

2018年10月

基于移动通讯技术的蔬菜施肥量简便快速推荐系统在河北省定兴县、藁城区、永清县、青县以及天津市西青区、武清区等设施蔬菜优势区核心示范基地应用，示范效果显著，减施化肥养分30%，增产8%以上，增收15%以上。智能手机客户端通过网络访问并调用数据中心的专家推荐施肥数据库，仅消耗网络流量，应用表明，完成一次施肥推荐仅需要0.1~0.2 M的流量，在河北省5元购买30 M网络流量的模式下，仅需要0.02元。



图3 蔬菜施肥量简便快速推荐系统 APP 推荐结果输出

Fig.3 Output interface of APP for simplified vegetable fertilization recommendation system

4 讨论

近年来，随着移动通信技术的快速发展和农民经济收入增加，智能手机在农村用户群体呈几何级数增长。2013年底，国家工信部颁发了4G牌照，4G技术也已走入寻常百姓家，5G移动通讯技术呼之欲出。现在农民利用移动智能终端上网浏览新闻、娱乐、阅读等日益普遍，应用技术也越来越熟练，也为国家测土配方施肥的工程实施，尤其是利用地块测土信息进行精准施肥推荐奠定基础。该系统与测土配方施肥短信通^[18]、农户自家地块拨打手机的“手机信息服务系统”^[19]等基于手机载体的专家施肥系统相比优势明显：一是采用了网络流量，价格更为便宜；二是用户一次输入即可获得专家施肥推荐，不需要数次往返的短信交流；三是在网络畅通的情况下，用户拿出手机，轻松输入信息，即可随时随地获得专家施肥指导。

关于专家施肥推荐数据库的构建单元，该系统以省（市、自治区）为主，但是我国省域规模差异较大且即使在同一省域内，由于受地形地貌等因素影响，同一种蔬菜的氮磷钾养分推荐量也会有一定的差异；另一方面，我国人均耕地面积小，农户众多，要为

每家农户的每个地块进行施肥推荐, 每个省市土壤数据信息将达到 10 万、100 万条以上。为了快速精确进行施肥推荐, 可以充分利用硬件存储技术发展成果, 把专家数据库的构建单位再进一步缩小到市、县(市、区)。不同区域采用该系统时候, 专家只需专注于施肥科学数据的整理, 严格遵循数据库的构建规则, 就可以因地制宜地、迅速地进行专家施肥推荐数据库构建, 进而完成精准施肥推荐。

该系统在专家施肥推荐上, 除了完成常规的养分推荐量、施肥时期的推荐外, 还可以根据当地市场的肥料供应情况、专家知识经验等实现对肥料品种及其每种肥料的用量推荐, 这样更便于用户使用该系统。同时也有利于与市场监管部门合作, 推荐优质肥料, 实现对肥料销售市场的有效监管。

5 结论

基于现代移动通讯技术的蔬菜施肥量简便快速推荐系统的成功研发, 充分利用了现代计算机硬件存储技术、移动通信技术等成果, 为解决科学施肥技术推广存在的最后一公里问题提供了有效方法。用户利用本系统, 通过网络可以便捷、经济地获得地块的蔬菜科学施肥技术指导。系统推广示范表明, 设施蔬菜化肥养分可减施 30%, 增产 8% 以上, 每完成一次施肥推荐花费不足 0.1 元。

该系统施肥指导可以具体到肥料品种及其用量, 更易于被农户所使用。该系统通过便捷地更新科学施肥数据的方法, 及时为用户提供新的科学数据, 提高了科学数据尤其是测土数据的利用效率, 可实现精准施肥。

参考文献

- [1] 黄绍文, 唐继伟, 张怀志, 等. 蔬菜生产全程精准施肥解决方案的制订与实施. 中国蔬菜, 2017(5): 5~8.
- [2] 黄绍文, 唐继伟, 李春华, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1480~1493.
- [3] 杨卓亚, 曹一平, 毛达如. 计算施肥的基本方法和发展方向. 中国农业文摘—土壤肥料, 1993, 9(2): 1~7.
- [4] 熊范纶. 农业专家系统开发工具. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [5] 张怀志, 朱艳, 曹卫星, 等. 棉花氮肥和水分运筹的动态知识模型. 应用生态学报, 2004, 15(5): 777~781.
- [6] 王海江, 吕新. 基于 GIS 技术的新疆棉花施肥专家系统. 农业工程学报, 2006, 22(8): 167~170.
- [7] 郭熙, 赖锦春, 赵小敏, 等. 基于 GIS 丘陵土壤分区的水稻施肥配方研究. 中国农业科学, 2011, 44(2): 307~315.
- [8] 许鑫, 张浩, 席磊, 等. 基于 WebGIS 的小麦精准施肥决策系统. 农业工程学报, 2011, 27(增刊): 94~98.
- [9] 严正娟, 段增强, 卢树昌, 等. 基于 GoogleMap 和 WebGIS 的区域桃园施肥决策系统的建立与应用. 农业工程学报, 2010, 26(5): 207~213.
- [10] 李勇, 赵军, 谢叶伟, 等. 针对农户地块的施肥决策支持系统的设计与实现. 农业工程学报, 2010, 26(5): 207~213.
- [11] 侯彦林, 任军, 郭喆. 生态平衡施肥专家系统的建立及其应用 I. 专家系统设计. 土壤通报, 2002, 33(1): 54~56.
- [12] 任周桥, 陈睿, 程街亮. 基于知识库的施肥决策系统及应用. 农业工程学报, 2011, 27(11): 126~131.
- [13] 胡建东, 余泳昌, 江敏, 等. PDA 作物施肥通专家系统的技术研究. 农业工程学报, 2006, 22(8): 149~152.
- [14] 朱梅梅, 林思伽, 朱春晓. 触摸屏式施肥专家系统研究与开发. 现代化农业, 2014, 1: 66~67.
- [15] 赵东, 陈向瑞. 基于 J2ME 和 J2EE 的手机施肥专家系统设计与实现. 长春师范学院学报(自然科学版), 2010, 29(4): 19~24.
- [16] Stephen Baker. Google and the wisdom of clouds. <http://www.nbcnews.com/id/22261846/> 2015.
- [17] 黄绍文, 王玉军, 金继运, 等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性 and 肥力状况. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4):

2018年10月

906~918.

[18] 扬州市土肥站. 测土配方施肥短信通 (Android 版). <http://bbs.yzfs.com/showtopic-1198.aspx>, 2018.

[19] 科技助力农民增收——吉林省实施测土配方施肥手机信息服务系统纪实. http://www.agri.gov.cn/V20/ZX/qgxxlb_1/qg/201309/t20130924_3614586.htm, 2018.

Implementation and application of smart phone APP for simplified vegetable fertilization recommendation system

Zhang Huaizhi¹, Huang Shaowen^{1*}, Ji Hongjie¹, Tang Jiwei¹, Li Ruonan², Yuan Shuo¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: [**Purpose**] At present, the carrier hardware (such as PDA, touch screen, smart phone, and computer) supported by the fertilization expert system in China has limited capacity resources. At the same time, the users of fertilization technology products are scattered, and the comprehensive subjects such as the soil science, vegetable science, plant nutrition, are required for fertilizer recommendation of vegetables, and the massive data are difficult to update one by one. Based on this situation, the purpose of this paper is to develop a simplified smart phone APP of fertilization recommendation system for vegetables. [**Methods**] Based on the concept of soil nutrient balance we developed a simple and rapid recommendation model of vegetable fertilization, and comprehensively applied the development results of modern science and technology such as mobile communication technology and data storage. A simplified vegetable fertilization recommendation system (SVFRS) APP was designed, and was implemented on the common smartphone operating systems such as iOS and Android. [**Results**] The technical products have been demonstrated in the solar greenhouse vegetable bases in Hebei Province (Dingxing County, Licheng District, etc.), Tianjin City (Xiqing District, Wuqing District, etc.). Results showed that application of the products could save more than 30% of chemical fertilizers, at the same time, accompanied by respectively increasing yield and income by more than 8% and 15% respectively. The cost of one precision guidance to the farmer's plot is less than 0.1 RMB yuan (0.1~0.2 M data flow). Experts can provide users with new scientific data supported by the data center with rapid data update according to the uniform database constructed rules and formats.

Key words: vegetable; fertilization recommendation expert system; smartphone terminals; data center