

基于本体的蔬菜农药安全使用专家系统*

朱春雨^{1,2} 谢丙炎³ 郑建秋⁴ 李健强¹

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 农业部农药检定所, 北京 100125;
3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; 4. 北京市植物保护站, 北京 100029)

【摘要】 为实现蔬菜生产过程中有害生物的有效防治与农药的合理使用,设计了 B/S 结构的远程农药安全合理使用专家系统。该系统具有有害生物查询、识别诊断、防治方法决策、农药安全合理使用决策、知识库管理、专家交流等功能模块,采用了本体技术对专家知识进行建模,能够实现高效智能推理和知识的共享与重用;建立了多因素的农药评价模型,综合考虑农药使用的各种因素,为蔬菜有害生物防治推荐科学的农药品种和安全合理的使用技术;应用表明该系统具有成本低廉、扩展性强、实用性好、用户友好等优点。

关键词: 蔬菜 农药 合理使用 专家系统 本体
中图分类号: X954: S63; S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)05-0198-05

Ontology-based Expert System for Safe and Reasonable
Application of Pesticides in Vegetable Production

Zhu Chunyu^{1,2} Xie Bingyan³ Zheng Jianqiu⁴ Li Jianqiang¹

(1. College of Agriculture and Bio-technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China
2. Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China
3. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China
4. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China)

Abstract

A safe and reasonable application of pesticides expert system was designed with B/S structure which had six sub-systems such as pests querying, pest identifying, decision-making of control methods, pesticide recommendation, knowledge management and expert consulting. Ontology technology was applied to model expert knowledge in order to achieve high intelligent reasoning and the sharing, and the knowledge reusing. Furthermore, a multi-factor model of pesticide evaluation was designed for comprehensively considering various factors that affect the reasonable selection of pesticides. The implemented prototype system verified that the solution was low-cost, high scalable, user-friendly and efficient. It is widely prospective in various vegetable productions and will supply a guideline for other crops production.

Key words Vegetables, Pesticides, Reasonable application, Expert system, Ontology

引言

蔬菜病虫害的诊断与防治是蔬菜生产过程的重要组成部分。长期以来,蔬菜病虫害防治主要依靠蔬菜种植农户的经验和技术专家的现场指导。这些

传统的防治方法难以适应现代化蔬菜种植的发展。随着计算机应用的普及,以信息技术与农业技术相结合,解决农业生产中的实际问题已成为可能。农业专家系统即利用计算机技术对农业领域专家的知识 and 经验进行建模,并用以解决农业领域中的问

收稿日期: 2010-07-26 修回日期: 2010-08-24
* 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目、北京市果类蔬菜创新团队建设专项和教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-04-0128)
作者简介: 朱春雨,博士生,农业部农药检定所农艺师,主要从事农药登记管理和科学使用研究,E-mail: zhuchunyu77@yahoo.com.cn
通讯作者: 李健强,教授,主要从事种子病理与杀菌剂药理学及病害综合防治研究,E-mail: lij231@cau.edu.cn

题,具有低成本、高效、准确、有利于知识传播等特点。农业专家系统作为农业信息技术中的一项重要技术,目前已广泛应用于农业生产中品种选育、农业气象、农业工程、栽培管理和病虫害防治等各个领域^[1~5]。针对蔬菜生产,如栽培管理和病虫害症状识别方面的专家系统有不少报道,但主要集中在大田作物的病虫害预测预报和病虫害诊断2个方面,关于农药安全合理和科学使用方面的内容尚未见报道。

本文设计基于本体的远程蔬菜安全生产和农药合理使用专家系统,利用本体技术对专家知识进行建模并构成知识库,以实现病虫害识别、防治方法指导和安全合理推荐防治药剂等功能。

1 系统结构

系统采用基于 B/S 的结构设计,用户可通过多种手段(包括手持设备、便携式计算机和台式机)远程访问系统以及时方便地获得专业指导,根据部署分为客户端、WEB 服务器和专家系统服务器3部分,系统结构如图1所示。

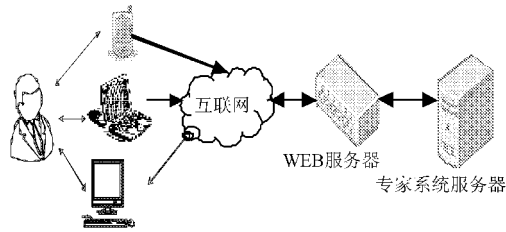


图1 系统结构
Fig. 1 Structure of the system

经典专家系统由用户交互接口、推理机、知识库等部分组成。本系统中客户端主要完成用户与系统的信息交互,包括用户登录、查询、信息输入输出交互;WEB 服务器完成用户与专家系统的交互转换;专家系统服务器完成识别诊断、查询、防治方案的推理等,即完成智能推理与知识库的管理功能。根据功能将系统分为查询模块、有害生物识别模块、防治方法决策模块、农药安全合理使用决策模块、知识库管理模块、专家咨询模块等6个功能模块。

查询模块主要实现基于作物名称、基于有害生物名称和药物名称的准确查询。基于作物名称查询根据作物的种类查询相应的病虫害;基于有害生物名称查询有害生物的发生地区、时期、部位、症状、病原或有害生物种类、传播途径、防治方法等;基于防治药剂的查询实现农药的有效成分、剂型、防治对象、生产厂家、登记年份或证号、农药类别等方面的准确查询。有害生物识别模块根据发病或危害的部位、时期、症状、作物等条件诊断有害生物种类。防治方法决策模块根据当前蔬菜有害生物种类、发生

发展普遍性和严重度等情况推荐合适的防治策略。农药安全合理使用决策模块根据确定的蔬菜病虫害有害生物种类实现智能推荐包括药剂名称、生产厂家、使用剂量、使用方法、使用注意事项、产品性能、中毒急救和储存运输等详细内容。专家咨询模块实现蔬菜种植农户有特殊问题系统无法提供满足答复时,系统可直接将用户咨询信息发送给相应专家,以获得直接的解答。知识库管理模块实现专家知识的更新与用户管理等。

2 知识的表示

专家系统利用计算机模拟专家解决问题的方式解决实际问题,首先需要对专家的知识与经验进行表示与建模以利于计算机处理。

2.1 表示方法选择

在人工智能领域中用于知识表示有谓词逻辑、生产式、框架、语义网络、面向对象等多种表示方法,各有优缺点。例如传统的专家系统多采用基于规则的表示方法(即生产式 if-then 形式),该方法存在查询效率低,组合爆炸、灵活性差等缺点^[6]。

近年来,基于本体(ontology)的知识表示方法越来越受到关注并取得了广泛应用。本体是共享概念模型明确的形式化规范说明。可形式化描述为 $O = \{C, P, R, I, A\}$, C 表示本体中概念的集合,可以是任何事物的抽象; P 表示本体中属性的集合; R 表示本体中各种关系的集合; I 表示本体中实例的集合,由概念的具体实例组成,实例是本体中最小对象,它具有原子性,即不可再分性; A 是用某种逻辑语言表示的一组本体公理。

该方法具有共享与重用、表达能力强、结构化程度高、形式化程度高、扩展能力强、具有成熟开发工具等特点,非常适合于知识共享与重用的层次化专家系统的知识表示,所以本文采用本体作为构建专家知识的手段^[7]。

2.2 领域本体的构建

本体语言是用于编制本体的形式化语言。目前,比较重要的本体表示语言有描述逻辑(DL)、资源框架描述(RDF)、RDFS(RDF schema)、Ontolingua、OKBC、OCML、Frame Logic、Loom、XOL、SHOE、OIL、DAML、DAML + OIL、TM、Cycl、OWL、OWL-S。其中,在 DAM + OIL 基础上发展了 OWL 语言,以使其成为国际通用的标准。OWL 有 Lite、DL、Full 3 个版本。

本文采用 OWL-DL 语言作为本体建模语言,利用斯坦福大学开发的 protégé 4.0 软件作为本体构建工具,采用与其相对应的“七步法”来构建相关领

域本体^[8]。

首先,根据农业生物学特征构建蔬菜本体 V-ONT(vegetable ontology),该本体主要由 is-a 和 part-of 关系构成其层次关系,将蔬菜分为 11 类,其中黄瓜(Cuke)和番茄(Tomato)分别属于瓜类(Gourd Vegetables)和茄果类(Solanaceous Vegetables),除食用菌外其他蔬菜具有根、茎、叶、花、果实、种子等子部分,利用 has_Life_Stage 对象属性与生长周期建立关联,如图 2a 所示。

有害生物本体由虫害、病害 2 个子类组成。虫害由蚜虫、叶蝉、白粉虱、红蜘蛛等 10 种;病害有枯萎病、霜霉病、白粉病、细菌性角斑病、灰霉病等 22

种;同时每一种有害生物具有病原或害虫特征、危害作物、危害部位、危害时期、危害症状、传播途径、生活习性、防治措施等对象属性,如图 2b 所示。

防治方法本体由农业防治、物理防治、生物防治和化学防治等组成,其中化学防治利用 has_adaptable_spay_pesticide 对象属性与农药本体(pesticide ontology)建立关联;农药本体由杀虫剂、杀菌剂、除草剂和植物生长调节剂 4 个子类组成,每一种药剂具有化学成分、含量、药剂类型、生产厂家、使用量、价格、适用对象、施用方法、产品性能等对象属性,如图 2c 所示,通过防治对象与有害生物本体建立关联。

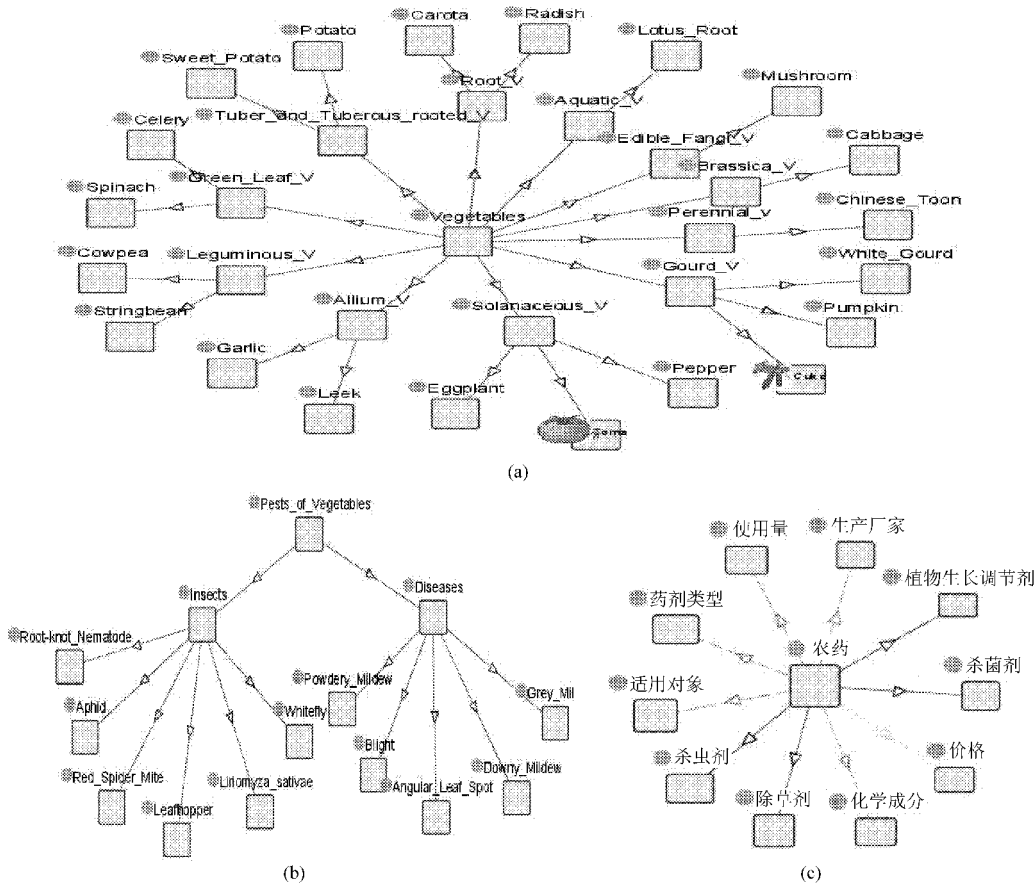


图2 领域本体

Fig.2 Domain ontology

(a) 蔬菜本体 (b) 有害生物本体 (c) 农药本体

通过以上本体的建立形成对专家知识的建模,为形式化推理来模拟专家解决问题的方式奠定基础。本体作为知识表示,虽具有形式化强等优点,但知识推理需要为之定义相关的规则,本文结合 Racer 定义相关推理规则以实现 OWL 知识推理。

3 智能推理

3.1 有害生物识别推理

在进行有害生物识别过程中用户可以直接通过

智能设备上的摄像头拍摄有害生物的特征,通过浏览器直接与系统中病症进行比较,人工判断识别有害生物种类;但当图像数据量相当大时,该方法效率极其低下且准确性差。本文提出用本体不确定推理方法克服以上方法的不足。

在有害生物本体层次中有害生物 P_x 具有 F_{1x} 、 F_{2x} 、 $\dots$ 、 F_{nx} 等 n 个特征,在进行诊断过程中需要与已知有害生物进行特征比较,在进行推理过程中,这些特征分别代表病原或害虫形态特征、危害作物、危

害部位、危害时期、危害症状、传播途径、防治措施等条件, P_x 与 P_a 匹配度用 $\text{Sim}(P_x, P_a)$ 表示, 匹配过程形式化为

$$\text{Sim}(P_x, P_a) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Sim}(F_{ix}, F_{ia}) \quad (1)$$

由于用户知识不足等原因可能出现影响因素不完全匹配的情况。在传统基于关键字查询系统中认为两者不匹配, 相似度为零。但 F_{ix} 与 F_{ia} 分别是本体层次中不同的概念, 两者存在一定关系。

本文提出利用本体推理判断 F_{ix} 与 F_{ia} 层次关系来定义其相似度, 定义如下: 如果 F_{ix} 是 F_{ia} 的子类, 进行有害生物推断时其 Sim 为 1; 如果 F_{ix} 是 F_{ia} 的邻类, $\text{Sim}(F_{ix}, F_{ia}) = \frac{2d(\text{LCA}(F_{ix}, F_{ia}))}{d(F_{ix}) + d(F_{ia})}$, d 表示概念距离根结点的深度函数, 以跳数计; LCA 表示 F_{ix} 和 F_{ia} 概念的共同祖先结点。然后计算 P_x 与知识库中 $\text{Sim}(P_x, P_a)$, 根据相似度由大到小产生诊断可能的有害生物序列, 推荐给用户。

采用该方法使得推荐准确性大大提高, 实现在用户不完全和不一致输入下的有害生物识别诊断功能。

3.2 农药安全合理使用技术推荐

农药安全合理使用技术的选择问题是一个多标准评价问题, 评价指标包括药剂的防治效果、毒性、环境影响、使用剂量、使用方法、安全间隔期和生产厂家规模等因素。本文提出层次化多标准防治方法评价模型, 方法选择的评价值表示为 $V = \{F, W\}$, F 表示评价因素的集合, W 为评价因素的权重集合, 如图 3 所示。

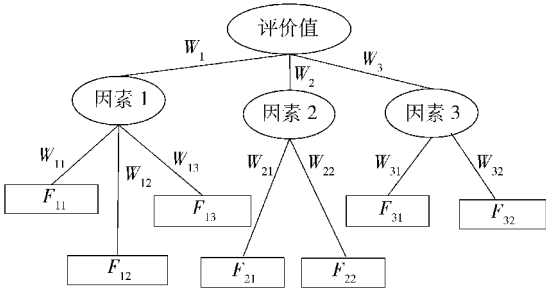


图3 农药安全合理使用技术评价模型

Fig. 3 Evaluation model of pesticides reasonable and safety application

根据所建立的多标准模型, 可以从底层开始, 逐层加权和, 被选方法评价值的计算公式为

$$V(x) = \sum_{j=1}^n W_j \left(\sum_{i=1}^n W_{ji} V_{ji} \right) \quad (2)$$

式中 W_j 为第 1 层影响因素的权重, W_{ji} 是第 2 层影响因素的权重, V_{ji} 为评价模型中第 j 层第 i 个影响因素的评价值。该公式根据模型层次实现由低层到

高层递归求值, 当存在评价因素不全时, 可忽略该影响, 相应调整影响因素权重; 用户在使用时可根据不同的侧重, 调整各影响因素的权值, 反映用户个性需求。

在防治方案选择过程中, 存在不同影响因素评价量化值不同, 需要进行归一化处理。对于字符串评价因素, 可采用离散化评价映射。针对价格等负影响因素采用的归一化计算公式为

$$v(f) = 1 - \frac{v_f - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \quad (3)$$

式中, v_f 为影响因素值, $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 分别为备选方案中最小、最大影响值。

正影响因素采用的归一化计算公式为

$$v(f) = \frac{v_f - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}} \quad (4)$$

通过该方法能够综合考虑多种评价因素进行方案选择, 同时又具有一定的灵活性满足用户个性的需求。

4 系统实现与评价

系统采用 B/S 结构, WEB 服务器采用 Microsoft 的 IIS 5.1 部署在 IBM Intel P4 3.2 GHz 台式计算机上, 专家系统推理机采用 Racer Pro 部署在另一台相同配置的台式计算机上。用户端采用基于 Mobile 操作系统的 HP iPAQ 5500 PDA 作为智能终端, 内置蓝牙与 WiFi 功能。系统以黄瓜和番茄为例, 收录了常见 32 种主要病、虫害资料, 涉及病害 22 种, 虫害 10 种。包含 992 种登记防治药剂的详细使用信息, 其中杀菌剂产品 857 个, 杀虫剂产品 135 个。系统所采用的农药推荐评价模型考虑影响因素、重要性指数及评价量化方法, 如表 1 所示。

系统初步实现了所设计的病虫害查询、有害生物识别诊断、防治方案推荐、农药安全合理使用技术推荐、专家咨询、知识库管理等功能。其中在农药安全合理使用技术推荐中, 可以根据蔬菜病虫害具体防治对象种类推荐防治药剂品种, 根据病虫害发生轻重程度、受害面积等给出合理用药量; 同时建议相应的使用方法、存储运输、中毒急救等安全合理使用建议, 引导蔬菜种植农户安全合理使用农药, 确保蔬菜安全生产和蔬菜产品质量安全。

本系统在设计 and 开发过程中, 紧密联系国家大宗蔬菜产业技术体系建设和北京市果类蔬菜产业发展的技术需求, 同时和省市一级植物保护站系统保持意见征询、问题研讨, 系统设计和开发完毕后, 国家大宗蔬菜产业技术体系病虫害综合防治研究室及部分实验站进行了试运行与评价。评价过程将使用

表 1 系统农药评价模型
Tab.1 Evaluation model of pesticides in system

因素	防治 效果/%	毒性	安全 间隔期/d	有效成分 使用量/g·hm ⁻²	使用 方法	环境 影响	厂家规模 (人数)
重要性指数	5	4	4	3	3	2	1
量化方法	5: ≥95	5:微毒	5: ≤2	5: ≤100	5:超低容量喷雾和熏蒸		5: ≥1 500
	4:85 ~ 95	4:低毒	4:3 ~ 4	4:100 ~ 500	4:低容量喷雾	5:低风险	4:1 000 ~ 1 500
	3:75 ~ 85	3:中毒	3:5 ~ 6	3:500 ~ 1 000	3:常量喷雾	3:中等风险	3:500 ~ 1 000
	2:65 ~ 75	2:高毒	2:7 ~ 8	2:1 000 ~ 1 500	2:种子包衣	1:高风险	2:100 ~ 500
	1:0 ~ 65	1:剧毒	1: ≥9	1: ≥1 500	1:浇灌、毒土等		1: ≤100

该系统一段时间的人员分为实验站植保技术人员和黄瓜种植农户两组进行调查问卷,各调查 30 人。分别对系统的实用性、易用性、可扩展性、专业指导性和可维护性等指标根据使用体会在 0 ~ 10 分内进行评分,评分结果如表 2 所示。

表 2 系统用户评价
Tab.2 User evaluation of system

评价指标	平均得分	
	植保技术人员	蔬菜种植农户
实用性	9. 1	9. 0
易用性	8. 8	8. 6
可扩展性	8. 9	8. 8
专业指导性	8. 3	8. 9
可维护性	8. 4	8. 4

从表 2 中看出,对于系统的易用性蔬菜种植农户评价得分低于植保技术人员,与其知识水平和使用时间较短有关;在专业指导性方面,由于数据还不够全面,植保技术人员评价分数较低,随着系统的不断扩展,该方面性能可得到明显改善;对于系统的实用性、可扩展性和可维护性方面,植保技术人员和蔬菜种植农户均给予了较好的评价,分数在 9. 0 分左右。

5 结束语

为提高蔬菜有害生物整体防治水平,本文提出了远程的基于 B/S 架构,适合蔬菜种植农户特点的蔬菜有害生物防治中农药安全合理使用专家系统,该系统能够实现不完全推理诊断和综合多因素防治的功能,具有低成本、及时、有效、易用、灵活的特点。

参 考 文 献

1 Chakraborty P, Chakrabarti D K. A brief survey of computerized expert systems for crop protection being used in India [J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(4): 469 ~ 473.

2 Gonzalez-Andujar J L. Expert system for pests, diseases and weeds identification in olive crops [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 3 278 ~ 3 283.

3 赵朋,刘刚,李民赞,等. 基于 GIS 的苹果病虫害管理信息系统[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 150 ~ 154. Zhao Peng, Liu Gang, Li Minzan, et al. Management information system for apple diseases and insect pests based on GIS [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(12): 150 ~ 154. (in Chinese)

4 高灵旺,陈继光,于新文,等. 农业病虫害预测预报专家系统平台的开发[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 154 ~ 158. Gao Lingwang, Chen Jiguang, Yu Xinwen, et al. Research and development of the expert system platform for forecast and prediction of agricultural pests [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 154 ~ 158. (in Chinese)

5 刘明辉,沈佐锐,高灵旺,等. 基于 WebGIS 的农业病虫害预测预报专家系统[J]. 农业机械学报,2009, 40(7): 180 ~ 186. Liu Minghui, Shen Zuorui, Gao Lingwang, et al. Expert system based on WebGIS for forecast and prediction of agricultural pests [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 180 ~ 186. (in Chinese)

6 Said A F, Rafea A, El-Beltagy S R, et al. Automatic generation of explanation for expert systems implemented with different knowledge representations [J]. WSEAS Transactions on Systems, 2009, 8(1): 55 ~ 64.

7 Maliappis M T. Applying an agricultural ontology to web-based applications[J]. International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies, 2009, 4(1 ~ 2): 133 ~ 140.

8 Lin Hsien-Tang, Hsieh Shang-Hsien, Chou Kuang-Wu. Construction of engineering domain ontology through extraction of knowledge from domain handbooks [C] // Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2009:207 ~ 216.