

温室智能控制系统适用性评价指标体系选择模型

李琳¹, 张领先¹, 李道亮¹, 秦向阳², 刘雪^{1*}

(1. 中国农业大学大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要: 针对温室智能控制系统适用性评价体系中指标设置的随意性和冗余性问题, 本着满足指标简洁性并兼顾完备性的目标, 该文在分析影响温室智能控制系统因素的基础上, 探索了选取和优化温室智能控制系统适用性评价指标体系的方法, 并构建了基于选择模型的温室智能控制系统适用性评价指标体系。山东省寿光蔬菜基地的实证分析表明, 该区域的温室智能控制系统适用性评价指标能够从 32 个优化到 22 个, 指标的完备性达到 88.96%, 实现了优化指标数和减少指标干扰的要求, 为温室智能控制系统的适用性评价提供参考。

关键词: 温室, 智能控制系统, 模型, 适用性评价, 指标优化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.03.026

中图分类号: N945.16; S625.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-03-0148-06

李琳, 张领先, 李道亮, 等. 温室智能控制系统适用性评价指标体系选择模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 148-153.

Li Lin, Zhang Lingxian, Li Daoliang, et al. Indicators selecting model for applicability evaluation of greenhouse intelligent control system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 143-153. (in Chinese with English abstract)

0 引言

温室智能控制系统主要是在计算机综合控制下, 根据动植物生长的最适宜生态条件, 将现代信息技术和自动化技术与生物工程技术、农业工程技术、环境工程技术相结合, 创造适宜于作物生长的环境, 实现作物优质、高效、低耗的工业化规模生产^[1]。作为一种资源节约型的高效农业技术, 设施农业环境调控智能化已成为当今世界各国展示农业科技水平的重要标志。

随着现代信息技术、自动化技术的迅速发展和经济水平的提高, 各种温室智能控制系统在中国农业生产中得以大量出现和应用。与此同时, 现有温室智能控制系统存在可靠性低、成本高和易用性差等问题导致这些控制系统在实际温室生产中难以应用, 无法真正发挥其功效。因此, 选择真正适用的温室智能控制系统是温室智能控制系统发展的关键。学术界对于适用性(又称为“可用性”)有很多不同的定义^[2-7], 在人机交互领域, 最为广泛接受的概念是指产品在特定的使用环境下为特定用户用于特定用途时所具有的效果, 效率和满意度^[6]。据此, 温室智能控制系统的适用性就是指在使用过程中, 温室智能控制系统能够有效地完成控制任务并让用户在主观上产生满意感的程度^[8]。如何判断温室智能控制系统的适用性

是目前建设高效温室智能控制系统的重要任务。

温室智能控制系统的适用性评价的关键是评价指标的选取。现有适用性评价指标体系一般分为 3 层, 魏云冰^[9]将评价指标分为实用性、经济性、创新性和美观性 4 个方面, 形成了具有 17 个指标的评价指标体系; 徐向峰^[10]将 9 个评价指标分为性能指标与技术指标 2 个方面, 评价指标的选取较为简单; 齐亚峰等^[11]选取了 13 个指标进行评价, 共分为适用性、经济性、耐久性和艺术性 4 类; 张潜^[7]则将温室测控系统的适用性评价指标体系分为 4 个层次, 二级指标分别为对象性、有用性、易用性、经济性与可靠性, 形成了具有 11 个三级指标, 24 个四级指标的评价指标体系。但这些研究在不同程度上存在指标选取的随意性和冗余性。本文在分析影响温室智能控制系统因素的基础上, 探索温室智能控制系统适用性评价指标体系选取和优化的方法, 构建基于选择模型的温室智能控制系统适用性评价指标体系, 以保证控制系统适用性评价指标设置的完备性和简洁性。

1 影响温室智能控制系统适用性的因素

美国著名质量管理学家 Joseph H. Juran 博士认为适用性是指产品在使用时能成功地满足用户需要的程度, 要从“使用要求”和“满足程度”2 个方面去理解适用性的实质^[12]。温室智能控制系统适用性即指温室智能控制系统在使用过程中能够有效地完成控制任务, 并让用户在主观上产生满意感的程度^[8]。结合中国温室智能控制系统情况进行分析, 可知影响温室智能控制系统适用性的主要有系统因素与使用对象因素, 而系统因素又包括系统功能、便于使用、系统可靠性和成本, 其变化直接改变温室智能控制系统适用性, 而且因素之间也相互影响, 具体如图 1 所示。

收稿日期: 2011-06-14 修订日期: 2011-07-29

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项“现代农业公共服务装备与设施工程(200903009)”

作者简介: 李琳(1987-), 女, 山东淄博人, 主要从事农业信息化方面的研究。北京 中国农业大学大学信息与电气工程学院, 100083。

Email: lilin8798@126.com

*通信作者: 刘雪(1968-), 女, 山东临沭人, 副教授, 主要从事农业信息化, 农产品物流与供应链管理方面的研究。北京 中国农业大学大学信息与电气工程学院, 100083。Email: liuxcau@gmail.com

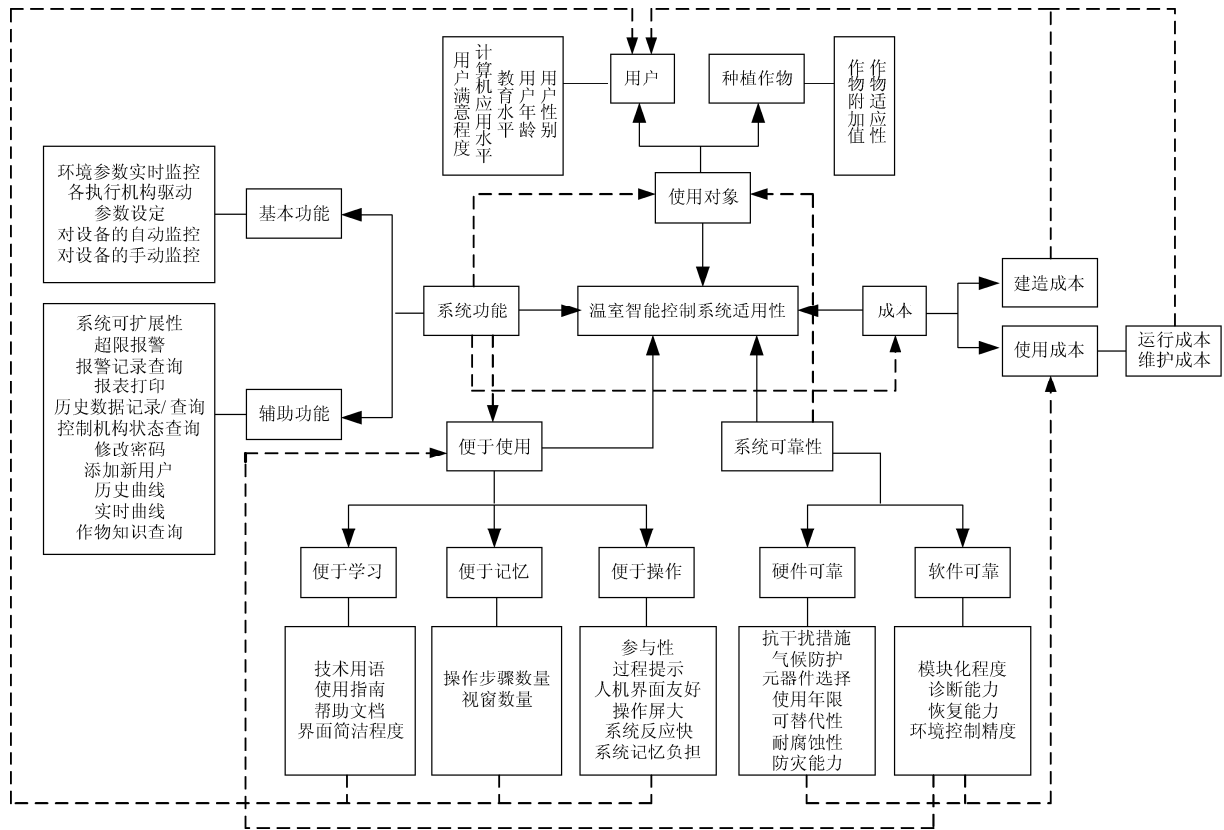


图 1 温室智能控制系统适用性影响因素集

Fig.1 Factors set affecting applicability of greenhouse intelligent control system

由此可见，温室智能控制系统适用性的影响因素主要包括系统的对象性、易用性、有效性、可靠性和经济性等属性。对象性——控制系统针对不同的对象时所表现出的使用程度也不相同，表示为对象对控制系统的满意程度；易用性——系统便于使用和记忆的程度，可以细分为易学习和易操作；有效性——系统能满足用户的功能需求；可靠性——产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力，表示为效率及出错率；经济性——用户在购买和使用控制系统期间所产生尽可能低的成本耗费^[7-8]。

2 温室控制系统适用性评价指标选择模型构建

2.1 适用性评价指标选取

2.1.1 适用性评价指标选取原则

1) 指标体系构建原则

一个完备的指标体系应该具备以下条件：1) 系统性，指标体系能够综合、全面的反映控制系统整体；2) 简明性，评价指标应能明确反映评价对象与指标间的相互关系，力求简练，含义清晰、避免繁琐；3) 科学性，指标体系严密，不相互矛盾，指标概念和含义明确肯定，不含糊；4) 通用可比性，指标体系能够提供准确的比较信息资料，发挥评价指标体系的作用；5) 可操作性，指标值可得、易得。

2) 单个指标选取原则

为了对温室智能控制系统的适用性进行客观全面的

评价，按照可用性工程理论、经济学原理和系统分析的方法可以得出单个指标入选原则为以下 8 个标准：可测性 (measurability, M)、敏感性 (vulnerability, V)、可预测性 (predictability, P)、典型性 (typicality, T)、可控性 (controllability, C)、整体性 (integrity, I)、响应性 (responsibility, R)、稳定性 (stability, S) 测性、敏感性、可预测性、典型性、可控性、整体性、响应性、稳定性^[13]。在这些准则当中，整体性是对整个指标体系构建而言的，而其余 7 个是对单个指标选取的要求^[14]。

2.1.2 适用性评价指标的初选

本文着重以具体地区作为分析对象，构建温室智能控制系统适用性指标体系，指标权重以及标准符合度可以体现区域特色。本研究以山东寿光蔬菜生产基地为例，按照可用性工程理论、经济学原理和系统分析的方法，结合文献分析^[7,9-11,15-17]及寿光市的具体情况，初步提出了一个具有 4 个层次、32 个指标的温室控制系统适用性的评价指标体系 (表 1)。

在指标初选时，按照上述适用性评价指标的选取原则来选取。如果要求所有指标都满足其中的入选标准，则可能出现指标体系过于庞大、指标间线性相关性过大的问题。因此，在对指标进行优化时，结合实际情况，考虑删除一些不能满足最重要准则或无法量化的、不敏感的及不稳定的指标。按照上述指标入选标准，评定各个指标的标准符合度。根据标准符合度评定结果显然可以剔除参与性、参数设定、可替代性、数据记录/打印、

耐腐蚀性、防灾能力指标。

表 1 温室智能控制系统适用性评价指标及其标准符合度
Table 1 Standard conformity degree and indexes of applicability evaluation of greenhouse intelligent control system

	指 标	标准符合度	指 标	标准符合度
对象性	用户满意程度	MVTRS	对环境的要求	MVPTCS
	受教育程度	MVTCS	作物适应性	MVPTCS
	计算机应用水平	MVTCS		
易用性	界面简洁程度	MVPCRS	操作步骤数量	MVPTCS
	技术用语	MVTCRS	参与性	CRS
	帮助文档	MVTCRS	过程提示	MVTCS
	视窗数量	MVPTCS		
有效性	环境参数实时监控	MVPTRS	系统可扩展性	MVTCRS
	各执行机构的驱动	MVTCRS	报警提醒	MVPTCS
	参数设定	VCS	数据记录/打印	VTRS
可靠性	可替代性	VPCS	耐腐蚀性	PTS
	环境控制精度	VTCRS	防灾能力	PTCS
	元器件选择	MVPTCS	模块化程度	MPTCRS
	抗干扰措施	MVPTCS	诊断能力	MVTCRS
	气候防护	VPTCRS	恢复能力	MVTCRS
	使用年限	MVTCS		
经济性	建造费用	MVPTCS	维护费用	MVPTCS
	运行费用	MVPTCS		

注：表中字母分别表示上文中提到的 8 个标准中的 7 个对应标准。

2.2 评价指标体系的层次框架设计

最高层又叫目标层，对于温室智能控制系统评价而言，目标层是评价控制系统的适用性，将总目标设为 GI；中间层 AI 是由实现目标所必需的几个环节或因素构成的，温室智能控制系统适用性评价体系中的对象性、易用性、有效性、可靠性和经济性为指标评价体系的中间层，该中间层的每一个要素也有不同的因素或环节构成下一层中间层。最低层 CI 一般为方案层，温室智能控制系统适用性评价体系的最低层由 26 个指标构成。温室智能控制系统适用性评价指标体系的层次结构清晰地显示整个系统的层次性与关联性。

在图 2 中，由于温室智能控制系统不同等级的适用性属性之间不能确定是否存在联系，所以中间层指标层之间以及中间层与具体指标层之间用虚实线箭头连接。

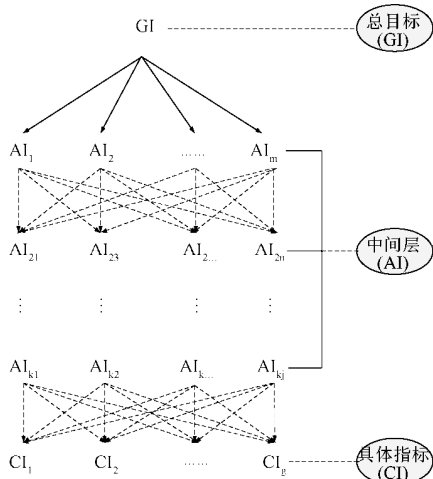


图 2 温室智能控制系统适用性评价指标体系层次框架图
Fig.2 Hierarchy structure of indexes system of applicability evaluation of greenhouse intelligent control system

2.3 适用性评价指标选择模型

适用性评价指标^[18]选择模型的构建如下：

2.3.1 构造关系矩阵 $R_{(j \times g)}$

根据控制系统适应性评价指标体系层次框架，构建关系矩阵 R ， R 代表第 n 层指标与第 $n-1$ 层指标之间的关系，矩阵 $R_{(j \times g)}$ 中 j 代表 $n-1$ 层的第 j 个指标， g 代表第 n 层的第 g 个指标。当指标 g 与指标 j 有关联时， $r_{jg}=1$ ，如没有关联则， $r_{jg}=0$ 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1g} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{j1} & \cdots & r_{jg} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.3.2 构造入选标准度矩阵 $C_{(g \times 7)}$

根据 8 个指标入选标准，构建一个 g 行 7 列的入选标准矩阵，用于单个指标的优化与选取。

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{17} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{g1} & \cdots & c_{g7} \end{bmatrix} = [C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_g]' \quad (2)$$

其中， g 代表第 n 层的指标数，7 代表 7 个入选条件。当指标满足其中的条件 i 时， $c_{gi}=1$ ；若不满足其中的条件，则 $c_{gi}=0$ 。

在第一步中删除不能满足条件的 6 个指标，对于同时满足可测、敏感、典型性、可控制以及稳定 5 个入选条件的指标直接入选；对于一些介于之间的指标，则先做待定处理。根据上述原则，构建一个基于此 5 项入选条件的向量，满足上述 5 项入选条件的项值为 1，其余待定 2 项值为 0。

$$L = [1, 1, 0, 1, 1, 0, 1] \quad (3)$$

2.3.3 温室智能控制系统适用性评价指标优化

为了达到指标体系的完备性以及简洁性的要求，入选矩阵对指标优化的目标函数可设为

$$\min z = \sum_{m=1}^g c_{im} \quad (4)$$

同时，需要满足如下约束条件：当评价指标满足之前设定的 5 个标准时入选，即

$$c_{im}=1 \text{ if } L \times C_m' \geq 5 \quad (5)$$

其中， $c_{im}=1$ 代表具体指标层中的第 m 个指标入选，若 $c_{im}=0$ 则第 m 个指标不入选。

构建向量 $CI=[c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ig}]$ ，为了保证指标层之间的联系性，则需要满足

$$CI \times R' > 0 \quad (6)$$

式 (6) 表示下层指标与上层指标具有联系性。

为达到指标体系完备性的要求，要通过式 (7) 使指标体系的权重之和达到一定的精度要求。本文选择常用主成分分析法要求的 0.85 作为指标完备性的一个标准。

$$CI \times W_{ci}' \geq 0.85 \quad (7)$$

其中， $W_{ci}=[W_{c1}, W_{c2}, \dots, W_{cg}]$ ，是由所有具体指标权重组成的矩阵。

3 评价指标选择模型的实证分析

3.1 寿光温室智能控制系统的基本情况

经过最近几年的建设，山东寿光市已经建立了多种蔬菜科技信息服务系统以及温室智能控制系统。但由于功能过剩造成的成本增加，用户的接受度降低以及科技文化水平较低的用户无法接受对操作人员科技水平要求

高的系统，使这些系统的普及率较低。针对寿光现有设施农业缺乏有效环境控制手段的问题，构建适合寿光地区的特色蔬菜种植大棚智能控制系统，根据温室内的温湿度、光照、土壤水分等监测数据，实时调整控制湿帘风机、喷淋滴灌、内外遮阳、顶窗侧窗、加温补光等设备，保证维持最适宜作物生长的温室环境，为蔬菜花卉优质、高产、高效、健康发展创造条件。

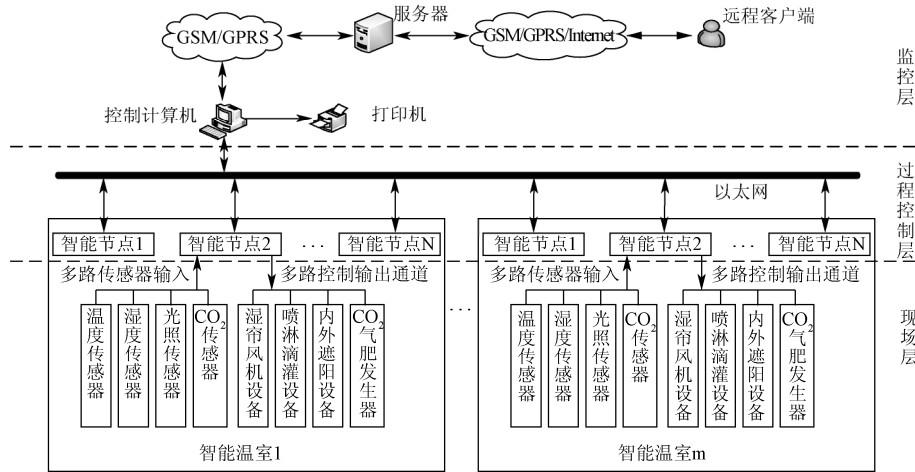


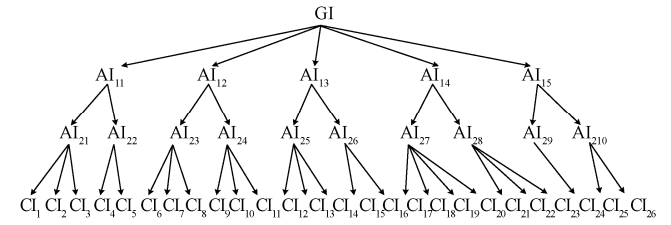
图 3 寿光温室智能控制系统结构图

Fig.3 Structure of greenhouse intelligent control system in Shouguang

3.2 寿光温室智能控制系统评价指标树的构建

根据温室智能控制系统适用性的属性和寿光市温室智能控制系统的具体情况，将适用性评价指标体系分为 4 层（图 4）。在图 4 中，第 1 层即总目标 GI 为温室智能控制系统适用性。中间层指标包括 2 层，其中第 2 层为对象性 (AI₁₁)、易用性 (AI₁₂)、有效性 (AI₁₃)、可靠性 (AI₁₄) 及经济性 (AI₁₅)，第 3 层为用户对象 (AI₂₁)、种植对象 (AI₂₂)、易学习 (AI₂₃)、易操作 (AI₂₄)、基本功能 (AI₂₅)、辅助功能 (AI₂₆)、硬件可靠性 (AI₂₇)、软件可靠性 (AI₂₈)、建造费用 (AI₂₉)、使用费用 (AI₂₁₀)。指标层为用户满意程度 (CI₁)、受教育程度 (CI₂)、计算机应用水平 (CI₃)、作物附加值 (CI₄)、作物适应性 (CI₅)、界面简洁程度 (CI₆)、技术用语 (CI₇)、帮助文档 (CI₈)、视窗数量 (CI₉)、操作步骤数量 (CI₁₀)、过程提示 (CI₁₁)、环境参数实时监控 (CI₁₂)、各执行机构的驱动 (CI₁₃)、环境控制精度 (CI₁₄)、系统可扩展性 (CI₁₅)、警报提醒 (CI₁₆)、元器件选择 (CI₁₇)、抗干扰措施 (CI₁₈)、气候防护 (CI₁₉)、使用年限 (CI₂₀)、

模块化程度 (CI₂₁)、诊断能力 (CI₂₂)、恢复能力 (CI₂₃)、购买费用 (CI₂₄)、运行费用 (CI₂₅)、维护费用 (CI₂₆)。



注：图中符号含义见是上文。

图 4 温室智能控制系统适用性评价指标树

Fig.4 Indexes tree of applicability evaluation of greenhouse intelligent control system

3.3 评价指标权重的设定

根据温室智能控制系统适用性评价指标树的层次结构，采用专家打分法对所有的指标赋权重（表 2）。通过表 2 可知，易用性指标对温室智能控制系统的影响最大，其次是有效性指标，影响最小的是经济性指标。

表 2 指标权重

Table 2 Weight of indexes

GI	AI ₁₁	AI ₁₂	AI ₁₃	AI ₁₄	AI ₁₅							
1	0.19	0.24	0.20	0.19	0.18							
AI ₂₁	AI ₂₂	AI ₂₃	AI ₂₄	AI ₂₅	AI ₂₆	AI ₂₇	AI ₂₈	AI ₂₉	AI ₂₁₀			
0.0855	0.1045	0.1104	0.1296	0.124	0.076	0.0988	0.0912	0.0864	0.0936			
CI ₁	CI ₂	CI ₃	CI ₄	CI ₅	CI ₆	CI ₇	CI ₈	CI ₉	CI ₁₀	CI ₁₁	CI ₁₂	CI ₁₃
0.0222	0.0282	0.0351	0.0617	0.0428	0.0431	0.0353	0.032	0.0428	0.0363	0.0505	0.0446	0.0422
CI ₁₄	CI ₁₅	CI ₁₆	CI ₁₇	CI ₁₈	CI ₁₉	CI ₂₀	CI ₂₁	CI ₂₂	CI ₂₃	CI ₂₄	CI ₂₅	CI ₂₆
0.0372	0.0137	0.0623	0.0247	0.0306	0.0247	0.0188	0.0283	0.0301	0.0328	0.0864	0.0496	0.044

3.4 评价指标体系优化与选择

按照入选标准矩阵公式，结合温室智能控制系统适用性评价指标树，构造入选标准矩阵 $C_{(26 \times 7)}$ ，关系矩阵 $R_{(10 \times 26)}$ 。

根据温室智能控制系统适用性评价指标选择模型，可计算得到：

$$L \cdot C' = [1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix}$$

由此，可以确定 $CI=[ci_1, 1, 1, 1, 1, 1, ci_6, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ci_{14}, 1, 1, 1, 1, 1, ci_{19}, 1, ci_{21}, 1, 1, 1, 1, 1]$ ，表明还有 5 个指标需要进一步确定能否入选。

同时为了防止指标体系层级之间的脱节，保证指标体系各层之间的关联度，需要使 $CI \times R' > 0$ 。当 $CI \times R' > 0$ 时，代表指标体系间上层与下层之间的指标具有联系；当 $CI \times R \leq 0$ 时，说明下层指标与上层之间不具有联系。其中 $CI \times R'=[ci_1+2, 2, ci_6+2, 3, ci_{14}+2, 2, ci_{19}+3, ci_{21}+2, 1, 2]$ 。

为了保证指标简洁性的同时兼顾完备性的目标，本研究运用主成分分析法对指标进行删减，计算式为 $CI \times W_{ci} \geq 0.85$ 。

$$CI \times W_{ci}=[ci_1, 1, 1, 1, 1, 1, ci_6, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, ci_{14}, 1, 1, 1, 1, 1, ci_{19}, 1, ci_{21}, 1, 1, 1, 1, 1] \times W_{ci}=0.0222ci_1+0.1678+0.0431ci_6+ 0.02857+ 0.0372ci_{14}+0.1313+0.0247ci_{19}+0.0188+0.0283ci_{21}+0.2429>0.85$$

则 $0.0222ci_1 + 0.0431ci_6 + 0.0372ci_{14} + 0.0247ci_{19} + 0.0283ci_{21} > 0.0035$ ，因为 $ci_m=0$ 或 1，要使上式大于 0.0035，则 ci_m 不能全为 0。

同时目标函数： $\min z = \sum_{m=1}^g ci_m = 21 + ci_1 + ci_6 + ci_{14} + ci_{19} + ci_{21}$ ，要想使目标函数有最优解，且 ci_m 不能全为 0，则可使其中 4 个同时为 0。在 $ci_1, ci_6, ci_{14}, ci_{19}, ci_{21}$ 中，权重最大的是 ci_6 ，其他 4 个的权重较小，则将其舍弃，仅保留 ci_6 。

因此，最终入选温室智能控制系统适用性评价指标的是以下 22 个：受教育程度(CI_2)、计算机应用水平(CI_3)、作物附加值(CI_4)、作物适应性(CI_5)、界面简洁程度

(CI_6)、技术用语(CI_7)、帮助文档(CI_8)、视窗数量(CI_9)、操作步骤数量(CI_{10})、过程提示(CI_{11})、环境参数实时监控(CI_{12})、各执行机构的驱动(CI_{13})、系统可扩展性(CI_{15})、报警提醒(CI_{16})、元器件选择(CI_{17})、抗干扰措施(CI_{19})、使用年限(CI_{20})、诊断能力(CI_{22})、恢复能力(CI_{23})、建造费用(CI_{24})、运行费用(CI_{25})、维护费用(CI_{26})。

通过计算 $CI \times W_{ci}'$ ，可知该评价指标体系的完备性达到 88.96%，最终获得的各个指标能够很好地反应温室智能控制系统适用性的各种属性，且在确保评价指标体系简洁的基础上，保证了指标设置的完备性和全面性。

3.5 评价指标体系优化结果分析与比较

本文温室智能控制系统适用性评价指标与现有其他评价指标的不同在于：1)原有指标^[7,9-11]一般从社会评价、经济评价、技术评价、性能评价等方面入手，所包含的指标数一般较少，不能全面涵盖温室智能控制系统适用性的各个方面；本文将评价指标按照对象性、易用性、有效性、可靠性、经济性分为五类，经过筛选剔除对控制系统适用性影响较小的指标，最终剩余适用性指标 22 个，使评价指标体系的冗余性降低，但仍可将原有的评价指标都包含其中，在冗余性降低的同时保证了指标的完备；2)原有评价指标体系^[7,9-11]中的个别指标表述模糊，例如性能评价方面与技术评价方面所包含的指标之间的界限不够明显，存在一定的重复；本文评价指标定义表达明确清晰，经过模型选择后的指标之间界限明确；3)原有评价指标体系^[7,9-11]对指标的设置存在一定的随意性，没有经过完整的技术方法或是选择模型对指标进行筛选。本文首先通过分析影响温室智能控制系统适用性的因素，总结出影响适用性的属性，再经过初选与模型构建，筛选出相应的指标，该方法科学可行，避免了人为主观因素的影响产生的随意和重复。

4 结论

温室智能控制系统评价指标的选取对评价温室控制系统的适用性有重要意义。为减少或避免这些问题的出现，本研究通过初步选择，从 32 个指标中优选了 26 个，之后通过构建模型进一步将指标优选到 22 个。实证研究表明，该方法能够有效地减少指标设置的随意性，保证了指标体系的完备性以及简洁性，为温室智能控制系统的适用性评价奠定了良好基础。

[参 考 文 献]

[1] 陈广庆, 孙爱芹, 徐克宝. 基于 PLC 和组态软件的温室控制系统设计[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19827—19828.
Chen Guangqing, Xun Aiqin, Xu Kebao. The monitor and control system for greenhouse based on PLC and configuration software[J]. Journal of Anhui Agriculture, 2010, 38(34): 19827—19828. (in Chinese with English abstract)

[2] Folmer Eelke, Bosch Jan. Architecting for usability: a survey [J]. Journal of Systems and Software, 2004, 70(1/2): 61—78.

[3] Shackel B. Human Factors for Informatics Usability [M].

- Cambridge: Cambridge University Press, 1991, pp. 21—38.
- [4] Nielsen J. Usability Engineering[M]. San Diego: Academic press, 1993.
- [5] ISO/IEC 9241-11: Ergonomic Requirements for Office work with Visual Display Terminals (VDTs) – Part 11: Guidance on Usability[S], 1998.
- [6] ISO/IEC 9126-1 Standard, Software Engineering – Product Quality – Part 1: Quality Model[S], 2001.
- [7] 张潜. 温室环境测控系统的适用性研究与实现[D]. 浙江: 浙江大学, 2009.
Zhan Qian. Study on the Usability of the Greenhouse Environment Monitor and Control System and its Realization [D]. Zhejiang: Zhenjiang University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [8] Adrian Fernandez, Emilio Insfran, Silvia Abrahão. Usability evaluation methods for the web: A systematic mapping study [J]. Information and Software Technology, 2011, 53(8): 789—871.
- [9] 魏云冰, 孙玉胜, 崔光照, 等. 基于可拓学理论的日光温室设计质量综合评价[J]. 江苏大学学报, 2008, 29(3): 198—201.
Wei Yunbing, Sun Yusheng, Cui Guangzhao. et al. Comprehensive evaluation approach for design quality of solar greenhouses based on extension theory[J]. Journal of Jiangsu University, 2008, 29(3): 198—201. (in Chinese with English abstract)
- [10] 徐向峰. 基于模糊物元的日光温室群环境控制系统评价研究[J]. 中国农机化, 2010(1): 67—69, 74.
Xu Xiangfeng. Research of the appraisalment about sunlight greenhouse cluster surroundings control system on the basis of fuzzy matter-element method[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(1): 67—69, 74. (in Chinese with English abstract)
- [11] 齐亚峰, 杨薇, 朱惠斌, 等. 温室整体性能模糊综合评判方法及软件实现[J]. 农机化研究, 2009, 31(6): 24—26.
Qi Yafeng, Yang Wei, Zhu Huibin, et al. Fuzzy multifactorial evaluation of greenhouse general performances and software [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(6): 24—26. (in Chinese with English abstract)
- [12] 约瑟夫, 戈弗雷. 朱兰质量手册: 第5版[M]. 焦叔斌, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2003.
- [13] Dale V H, Beyeler S C. Challenges in the development and use of ecological indicators[J]. Ecological Indicators, 2001, 1(1): 3—10.
- [14] Lin T, Lin J Y, Cui S H, et al. Using a network framework to quantitatively select ecological indicators[J]. Ecological Indicators, 2009, 9(6): 1114—1120.
- [15] 张淑娟, 王双喜, 何勇. 基于模糊综合评价法的日光温室设计质量评价[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5): 67—70.
Zhang Shujuan, Wang Shuangxi, He Yong. The evaluation of design quality of a sunlight greenhouse based on the fuzzy method[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2002, 33(5): 67—70. (in Chinese with English abstract)
- [16] 徐向峰, 侯强, 孙康. 基于模糊物元方法的温室区域适应性评价研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(1): 87—90.
Xu Xiangfeng, Hou Qiang, Sun Kang. Adaptability of the greenhouse on the basis of fuzzy matter-element methods[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2009, 25(1): 87—90. (in Chinese with English abstract)
- [17] 杨薇. 温室整体性能模糊综合评判方法[J]. 温室园艺, 2009(2): 17—19.
Yang Wei. Fuzzy multifactorial evaluation of greenhouse general performances[J]. Agriculture Engineering Technology, 2009(2): 17—19. (in Chinese with English abstract)
- [18] 涂武斌. 我国农村区域生态系统健康评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2011.
Tu Wubin. Study on the Ecosystem Health Assessment of China's Regional Rural Areas[D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)

Indicators selecting model for applicability evaluation of greenhouse intelligent control system

Li Lin¹, Zhang Lingxian¹, Li Daoliang¹, Qin Xiangyang², Liu Xue^{1*}

(1. Department of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the problem of randomness and repetitiveness, the paper explored the methodology for selection and optimization of indicators for the applicability evaluation of greenhouse intelligent control systems indicators based on analyzing the factors influencing the greenhouse intelligent control system. An indicator selection model for applicability assessment of greenhouse intelligent control system was constructed and Shouguang Vegetable Greenhouse was taken as an example for empirical study, which showed that the indicators could be optimized from 32 to 22 by using the selection model and the completeness of indexes system reached as high as 88.96%. Consequently, the objective to reduce the randomness, completeness and simplicity of indicators selection can achieve. The results can provide a foundation for further applicability evaluation of greenhouse intelligent control systems.

Key words: greenhouse, intelligent control system, models, applicability evaluation, indicators optimization