

基于层次分析法的植保机械适用性综合评价方法

龚艳 张晓 刘燕 王果 陈晓 陈小兵

(农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

摘要:为综合评价植保机械的适用性,从技术指标、经济指标、作业条件指标3方面建立植保机械评价指标体系,利用层次分析法,对专家调查表进行汇总计算,采用专家判断矩阵加权几何平均法,确定各评价指标的权重。同时采用试验测评法、跟踪测评法和用户调查测评法交叉组合的方式获取3级指标分值,再通过分析计算,得到各级指标分值,从而构建植保机械适用性综合评价指标体系。最后对自走式喷杆喷雾机进行判定评分,从而得出单项指标评价和综合指标评价结果。建立植保机械适用性综合评价指标体系,为植保机械的推广应用提供了科学依据,同时对植保机械技术性能、作业质量等的优化提升具有指导意义。

关键词: 植保机械; 适用性; 评价体系; 层次分析法

中图分类号: S499; N945.16 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)09-0073-06

Comprehensive Evaluation Method for Applicability of Plant Protection Machinery Based on Analytic Hierarchy Process

Gong Yan Zhang Xiao Liu Yan Wang Guo Chen Xiao Chen Xiaobing

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to comprehensively evaluate the applicability of plant protection machinery, this paper established the evaluation index system from three aspects: technical index, economic index and operation condition index, used analytic hierarchy process to calculate the results of the expert questionnaires based on the structure model of the evaluation system, and determined the weights of each evaluation index by using judgment matrix and weighted geometric average method. And then it obtained the scores of the third level indicators by the method of test, as well as survey and evaluation of users, and then got the index scores of all levels through analysis and calculation. Finally the comprehensive evaluation index system for the applicability of plant protection machinery was built. This paper evaluated the self-propelled boom sprayer for example, and obtained the conclusions of the single index evaluation and the comprehensive evaluation. This can provide scientific basis for popularization and application of plant protection machinery by the comprehensive evaluation system, at the same time, it has guiding significance to the optimization and promotion of mechanical performance and operations quality of plant protection machinery.

Key words: plant protection machinery; applicability; evaluation system; analytic hierarchy process

引言

随着我国规模化农业生产水平的提升和产业结

构调整,农业生产活动对植保机械产品的需求及依赖性不断增加^[1-3]。与此同时,我国植保机械产品的研发、生产和销售取得长足的发展,新型植保机械

收稿日期: 2016-05-25 修回日期: 2016-07-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401296)、公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203025)和江苏省科技自主创新资金项目(CX(14)2101)

作者简介: 龚艳(1976—),女,研究员,主要从事植保施药技术与装备研究,E-mail: 254482460@qq.com

通信作者: 陈小兵(1963—),男,研究员,主要从事植保施药技术与装备研究,E-mail: chxibi@126.com

不断涌现,植保机械化程度显著增加。国内外对农业系统(技术)的评价主要是基于可持续发展的理念,通过构建生态、社会、经济等方面指标,采用层次分析法、主成分分析法、模糊聚类等方法进行综合分析^[4-8]。但是,国内大部分列入植保机械产品支持推广目录的产品,由于没有科学完整的适用性评价方法,造成产品适用性评价不充分,导致不少农户购置的植保机械使用条件不符、经济效益差、防治效果不理想、农残污染严重,造成了巨大的经济损失,甚至严重影响农业生产。针对上述问题,本文构建植保机械适用性评价体系模型,明确各级评价指标因素,基于层次分析法确定各级指标权重,利用模糊矩阵等方法确定各级指标分值。通过理论和实践研究,最终建立植保机械适用性综合评价体系与方法。

1 植保机械适用性评价指标体系

植保机械的适用性是指其满足使用条件的能力,使用条件包括技术指标、经济指标、作业条件指标等;也可以说是作业性能相对特定使用条件的协调融合程度。我国幅员辽阔,土壤及生态环境类型多样,作物种类、种植结构繁杂^[9],而植保机械性能好和使用方法是否得当直接影响防治效果和工作

效益,随着现代农业的发展,新的植保机械不断出现,由于结构特征与技术特征不同,应用范围也不同,因此应根据使用条件选择适宜的植保机械及其部件^[10]。然而,多年来由于重视程度不够及现实条件的制约,目前我国尚无科学规范和统一完整的植保机械适用性评价方法。

1.1 体系构建

构建的评价指标体系应能综合反映植保机械适用性,同时兼顾评价指标体系的可操作性。构建评价指标体系的原则主要有:全面性原则、客观性原则、科学性原则、实用性原则。植保机械评价第1级指标,主要从技术、经济、作业条件3方面选取指标,技术指标的主要来源是颁布实施的相关技术标准、规范、鉴定大纲;经济指标、作业条件指标主要通过文献查阅、实地调研、专家座谈等方式确定。

植保机械评价指标体系的结构模型采用3级(A、B、C)指标体系,整个指标体系由技术指标、经济指标、作业条件指标3个一级评价指标、6个二级评价指标、23个三级评价指标构成,结构模型如图1所示。其中技术指标包括机器性能、作业质量2类二级指标;经济指标包括使用效益、利用效率2类二级指标;作业条件指标包括自然条件、作物条件2类二级指标。

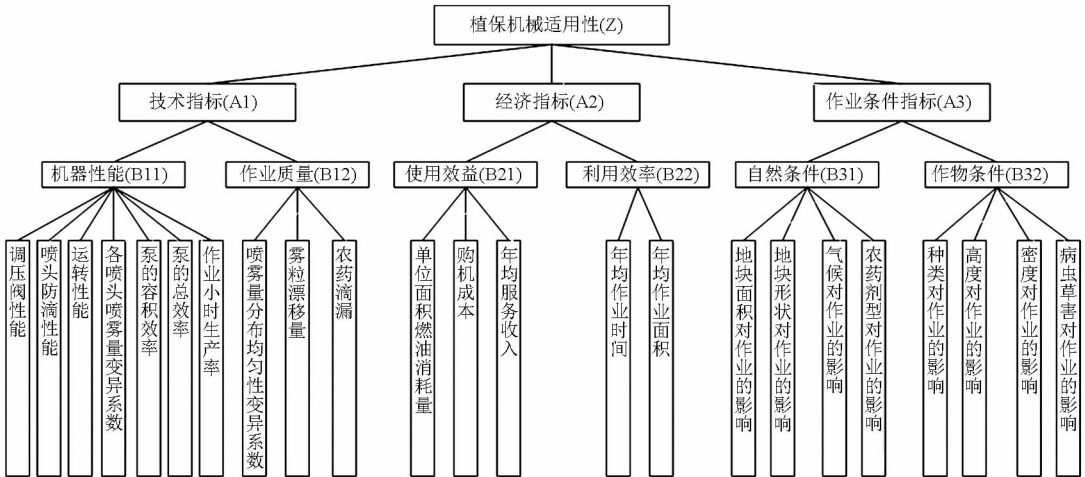


图1 植保机械评价指标体系模型图

Fig.1 Evaluation index system model of plant protection machinery

1.2 评价指标权重的研究方法

评价指标权重分析采用层次分析法。本文选择层次分析法(AHP)对植保机械适用性评价指标权重值进行测算。AHP是一种解决多目标复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法^[11-15]。该方法是将复杂问题分解成多个组成因素,形成一个多目标、多层次的模型,有序的递阶层次结构;通过两两比较的方式确定层次中诸要素的相对重要性,然后再转为对这些元素的整体权重进行排序判断,最后确立各元素的权重^[16]。目前,系统工程中处理定

性与定量相结合问题时,AHP是一种比较简单易行且又行之有效的系统分析方法^[17-19]。其确定流程如图2所示。

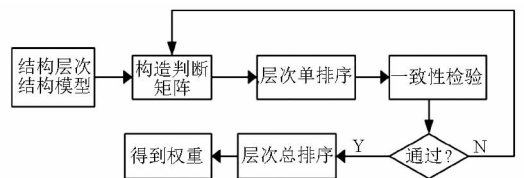


图2 权重确定流程图

Fig.2 Flow chart of weight determination

(1) 构造判断矩阵

以上层相应元素为评价准则,对本层次元素进行两两比较,进而确定元素之间的相对重要性。设 P_s 为评价准则, S_1, S_2, \dots, S_n 为评价因素, 依据判断矩阵标度定义对评价因素进行两两比较判断, 构成判断矩阵, 即

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 层次单排序

确定某一层次各因素对上一层次某因素的影响程度,并依次排出顺序。根据判断矩阵计算出各因素的相对权重向量,计算方法采用特征根法。

$$EW = \lambda_{max} W \quad (2)$$

式中 λ_{max} —— E 的最大特征根

W —— λ_{max} 的正规化特征向量

(3) 一致性指标检验

层次单排序的一致性检验,则要计算一致性指标 CI 。 $\lambda_{max} - n$ 越小, CI 越小,矩阵的一致性越好, CI 为零时矩阵具有完全一致性。

$$C = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中 n ——判断矩阵的阶数

C ——一致性指标

检验判断矩阵是否具有满意的一致性,将一致性指标 CI 和平均随机一致性指标 RI 进行比较,计算判断矩阵的一致性比例,记作

$$R = \frac{C}{I} \quad (4)$$

式中 I ——平均随机一致性指标

当 $R < 0.1$ 时,判断矩阵通过一致性检验;当 $R \geq 0.1$ 时,判断矩阵没有通过一致性检验,需调整矩阵重新检验。

1.3 评价指标权重的确定

根据植保机械适用性评价指标体系,结合层次分析法的基本原理,设计确定权重的专家调查表。植保机械适用性具有区域差异性,技术、经济、环境不同,不同地区评价指标权重不同,要选择不同区域和专业领域的专家进行调查。本研究在东北、西北、华北、华东 4 个典型区域,选取推广、鉴定、监理、植保等政府部门及植保专业化服务组织的专家进行调查。将回收的专家调查表进行汇总计算,采用专家判断矩阵加权几何平均法,运用 Yaahp 分析软件进行汇总计算,归一化处理后,各级指标权重见表 1。

表 1 植保机械评价指标权重

Tab. 1 Evaluation index weight of plant protection machinery

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重		
技术指标 (A1)	0.333 3	机器性能 (B11)	0.261 0	调压阀性能 (C111)	0.291 4		
				喷头防滴性能 (C112)	0.144 8		
				运转性能 (C113)	0.360 7		
				各喷头喷雾量变异系数 (C114)	0.079 5		
				泵的容积效率 (C115)	0.041 2		
				泵的总效率 (C116)	0.041 2		
				作业小时生产率 (C117)	0.041 2		
				作业质量 (B12)	0.739 0	喷雾量分布均匀性变异系数 (C121)	0.363 9
						雾粒漂移量 (C122)	0.150 9
		农药滴漏 (C123)	0.485 1				
		经济指标 (A2)	0.333 3	使用效益 (B21)	0.863 4	单位面积燃油消耗量 (C211)	0.107 7
						购机成本 (C212)	0.446 2
年均服务收入 (C213)	0.446 2						
年均作业时间 (C221)	0.189 4						
利用效率 (B22)	0.136 6			年均作业面积 (C222)	0.810 6		
				自然条件 (B31)	0.445 3	地块面积对作业的影响 (C311)	0.181 5
						地块形状对作业的影响 (C312)	0.051 1
气候对作业的影响 (C313)	0.568 5						
农药剂型对作业的影响 (C314)	0.198 8						
作物条件 (B32)	0.554 7	种类对作业的影响 (C321)	0.076 7				
		高度对作业的影响 (C322)	0.600 6				
		密度对作业的影响 (C323)	0.246 0				
		病虫草害对作业的影响 (C324)	0.076 7				

1.4 指标分值的确定

1.4.1 三级指标分值的确定

针对上述4个典型作业区域的农业生产作业条件布点试验,利用试验检测结果得到分值;并针对4个区域的农业生产作业条件下实际用户进行跟踪考核,利用考核结果得到分值;同时对4个区域的农业生产作业条件下的一定数量的用户进行使用情况调查,利用调查结果得到分值。综合采用试验测评法、跟踪测评法和用户调查测评法的交叉组合的结果得到分值。下面以技术指标 A1 评判为例,详细阐述其指标分值的确定过程。

(1) 建立模糊矩阵

确定评价指标集,根据表1可知,评价指标为10个,分别记为 u_1, u_2, \dots, u_{10} ,则这10个评价指标构成指标集 U ;确定评价等级集,根据实际需要将评价结果划分为5个等级,分别记为 v_1, v_2, \dots, v_5 ,则这5个评价结果构成评价等级集 V 。

针对评价指标 u_i 作出 v_k 等级评定的人员数为 N_{ik} ,参与等级评定的人员总数为 N ,则隶属度

$$m_{ik} = \frac{N_{ik}}{N} \quad (i=1, 2, \dots, 10; k=1, 2, \dots, 5) \quad (5)$$

构建模糊矩阵,针对每个评价指标 u_i 都有一个相应隶属度函数(向量)

$$\mathbf{M}_i = (m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{i5}) \quad (6)$$

整个评价指标集内各个指标的隶属度函数组成隶属度矩阵,即模糊矩阵 \mathbf{F} , \mathbf{F} 中的 $f_{i,q}$ 和 \mathbf{M}_i 中的 m_{iq} 是一一对应的。

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,5} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,5} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{10,1} & f_{10,2} & \dots & f_{10,5} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2) 确定评价等级标度值函数

设评价指标各等级标度值为 x_1, x_2, \dots, x_5 ,评价指标等级标度值组成向量为

$$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_5) = (0, 25, 50, 75, 100) \quad (8)$$

(3) 三级指标分值(三级单项适用指数)的确定

设 $y_{c1}, y_{c2}, \dots, y_{c10}$ 为三级各指标分值,则

$$\mathbf{Y}_c = \mathbf{F}\mathbf{X}^T = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,5} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,5} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{10,1} & f_{10,2} & \dots & f_{10,5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{c1} & y_{c2} & \dots & y_{c10} \end{bmatrix} \quad (9)$$

1.4.2 二级指标分值(二级单项适用指数)的确定

对应 B11 的各三级指标权重向量为

$$\mathbf{W}_{B11} = (w_{c1}, w_{c2}, \dots, w_{c7}) \quad (10)$$

则对应的各三级指标分值向量为

$$\mathbf{Y}_{B11C} = (y_{c1}, y_{c2}, \dots, y_{c7}) \quad (11)$$

机器性能 B11 指标分值为 Y_{B11} ,则

$$\mathbf{Y}_{B11} = \mathbf{W}_{B11} \mathbf{Y}_{B11C}^T = \begin{bmatrix} w_{c1} & w_{c2} & \dots & w_{c7} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{c1} \\ y_{c2} \\ \vdots \\ y_{c7} \end{bmatrix} \quad (12)$$

同理得出 B12 的分值,从而得到二级指标的分值函数。

1.4.3 一级指标分值(一级单项适用指数)的确定

设技术指标 A1 的各二级指标权重向量为

$$\mathbf{W}_{A1} = (w_{B11}, w_{B12}) \quad (13)$$

设对应的各二级指标分值向量为

$$\mathbf{Y}_{A1B} = (y_{B11}, y_{B12}) \quad (14)$$

技术指标 A1 分值为 Y_{A1} ,则

$$\mathbf{Y}_{A1} = \mathbf{W}_{A1} \mathbf{Y}_{A1B}^T = \begin{bmatrix} w_{B11} & w_{B12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{B11} \\ y_{B12} \end{bmatrix} \quad (15)$$

同理得出经济指标(A2)、作业条件指标(A3)的分值,从而得到一级指标的分值函数。

1.4.4 综合指标分值(综合适用指数)的确定

设一级指标的权重向量为

$$\mathbf{W}_Z = (w_{A1}, w_{A2}, w_{A3}) \quad (16)$$

设一级指标分值向量为

$$\mathbf{Y}_A = (y_{A1}, y_{A2}, y_{A3}) \quad (17)$$

因此可得出植保机械适用性评价指标体系的综合指标分值(综合适用指数) Y_Z 为

$$\mathbf{Y}_Z = \mathbf{W}_Z \mathbf{Y}_A^T = \begin{bmatrix} w_{A1} & w_{A2} & w_{A3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{A1} \\ y_{A2} \\ y_{A3} \end{bmatrix} \quad (18)$$

依据综合指标的分值,将植保机械适用性评价分5个等级,具体划分为:(0,20]很差,(20,40]较差,(40,60]一般,(60,80]较好,(80,100]很好。

2 实例

2.1 背景

选取目前市场上应用较为广泛的某型号自走式喷杆喷雾机为评价样机,主要机具作业幅宽为10 m,药箱容量为1 000 L,最大行走速度为9 km/h,喷头类型为扇形雾喷头,雾锥角为110°,单个喷头喷量为1.2 L/min(0.3 MPa 时),喷头数量为19个,间隔500 mm,喷头高度可调,具体如图3所示。

2.2 指标评分结果

为了能科学、系统地评价该自走式喷杆喷雾机,主要选取东北地区、华北地区、华东地区的小麦、水稻等矮秆作物区域进行试验,并对上述地区的农机



图3 自走式喷杆喷雾机

Fig. 3 Self-propelled boom sprayer

表2 自走式喷杆喷雾机各级指标分值

Tab. 2 Index scores at all levels of self-propelled boom sprayer

一级指标	一级计算分值	二级指标	二级计算分值	三级指标	三级计算分值				
技术指标 (A1)	52. 18	机器性能 (B11)	61. 80	调压阀性能 (C111)	67. 50				
				喷头防滴性能 (C112)	52. 50				
				运转性能 (C113)	65. 00				
				各喷头喷雾量变异系数 (C114)	50. 00				
		作业质量 (B12)	48. 78			泵的容积效率 (C115)	55. 00		
						泵的总效率 (C116)	57. 50		
						作业小时生产率 (C117)	60. 00		
						喷雾量分布均匀性变异系数 (C121)	50. 00		
经济指标 (A2)	67. 79	使用效益 (B21)	68. 08	雾粒漂移量 (C122)	50. 00				
				农药滴漏 (C123)	47. 50				
				单位面积燃油消耗量 (C211)	62. 50				
		利用效率 (B22)	65. 95			购机成本 (C212)	70. 00		
						年均服务收入 (C213)	67. 50		
						年均作业时间 (C221)	70. 00		
作业条件指标 (A3)	41. 52	自然条件 (B31)	43. 30	年均作业面积 (C222)	65. 00				
				作物条件 (B32)	41. 18			地块面积对作业的影响 (C311)	45. 00
								地块形状对作业的影响 (C312)	55. 00
		气候对作业的影响 (C313)	35. 00						
						农药剂型对作业的影响 (C314)	62. 50		
						种类对作业的影响 (C321)	47. 50		
高度对作业的影响 (C322)	35. 00								
				密度对作业的影响 (C323)	50. 00				
				病虫草害对作业的影响 (C324)	55. 00				
总计					53. 49				

标评价结论。综合讨论可知,该机具在技术指标(A1)评分中差异性较大,机器性能(B11)指标较好,但其作业质量(B12)不佳;待评样机现场试验过程中,存在雾滴漂移、喷雾量分布均匀性较差等现象,可知该机具在用户使用过程中仍存在较多问题。

经济指标(A2)评分较好,作业条件指标(A3)评分较差,使用时对自然条件(B31)和作物条件(B32)要求较高,使用时局限性较大。试验时,北方连片大田作业区域,样机使用范围广,作业效率高,具有明显优势,但在南方田块分散且不规则的作业区域,机具不易灵活移动,容易受地块因素限制,影响作业效率,且机具不能很好地适应作物不同生长期的作业要求,容易造成农药浪费,尤其水稻后期封行后,机具下田作业时,作物倒伏现象明显,造成一定程度的减产。

鉴定推广站、监理站、植保站、植保专业化服务组织等领域的专家和用户进行调查,利用植保机械适用性综合评价指标体系,对该植保机械的各级指标进行评分,具体分值如表2所示。

2.3 讨论

依据已确定的一级单项适用指数、二级单项适用指数、三级单项适用指数,可得出该机具的单项指

根据样机的综合指标分值,可得出其综合指标评价结论为一般。通过样机现场试验可知,其结果与指标体系评分结果基本一致,因此可知利用该植保机械适用性评价体系能得出较为客观、科学的评判结论。针对该机具的各个单项指标的评价结论,可对该植保机械的技术性能、作业质量等进行针对性的优化与提升,为进一步提高该植保机械适用性水平以及推广应用提供了科学依据。

3 结束语

针对植保机械适用性评价体系研究,从技术指标、经济指标、作业条件指标3方面构建了植保机械适用性综合评价指标体系,确定了具体评价指标,制定了植保机械适用性评价指标的打分准则,采用试验测评法、跟踪测评法和用户调查测评法的交叉组

合的结果得到分值。并以植保机械中自走式喷杆喷雾机为例,依据该机具的各项性能参数进行判定评分,从而得出单项指标评价和综合指标评价结论。通过上述研究可知,利用该评价体系能对植保机械

适用性得出较为客观的结论,为植保机械的推广应用等提供了较为科学规范和统一完整的评价方法,并为植保机械适用性评价工作的全面深入开展提供了基础。

参 考 文 献

- 邱白晶,闫润,马靖,等. 变量喷雾技术研究进展分析[J]. 农业机械学报,2015,46(3):59-72.
QIU Baijing, YAN Run, MA Jing, et al. Research progress analysis of variable rate sprayer technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(3):59-72. (in Chinese)
- 陈焱焱,刘权,邵陆寿,等. 智能型喷雾机械控制策略与软件实现[J]. 农业机械学报,2009,40(1):79-83.
CHEN Yanyan, LIU Qian, SHAO Lushou, et al. Control strategy and program implementation of intelligent sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(1):79-83. (in Chinese)
- 傅泽田,祁力钧,王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. 农业机械学报,2007,38(1):189-192.
FU Zetian, QI Lijun, WANG Junhong. Developmental tendency and strategies of precision pesticide application techniques [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(1):189-192. (in Chinese)
- RIGBY D. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice[J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 463-478.
- 李向东,汤永禄,隋鹏,等. 四川盆地稻田保护性耕作制可持续性评价研究[J]. 作物学报,2007,33(6):942-948.
LI Xiangdong, TANG Yonglu, SUI Peng, et al. The evaluation on sustainability of paddy field conservation farming system (CFS) in Sichuan Basin, China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(6):942-948. (in Chinese)
- CHEN Yuanquan, SHI Yanqin, YANG Bin, et al. Comprehensive assessment on ecological health in intensive-farmland under different tillage and fertilization measures: case study of northeast and north plain and Yangtze Basin of China [C] // Annual Conference Proceeding of China Agriculture System Engineering Society, 2010: 178-188.
- 隋鹏,张海林,高旺盛,等. AHP改进模型在作物灌水制度综合效益评价中的应用研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):200-203.
SUI Peng, ZHANG Hailin, GAO Wangsheng, et al. Case analysis on comprehensive benefit of irrigation system of corps by improved model of AHP and comparison with its antetype[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(4): 200-203. (in Chinese)
- CAUWENBERGH N V, BIALA K, BIEDERS C, et al. SAFE: a hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2007,120(2-4):229-242.
- 张东彦,兰玉彬,陈立平,等. 中国农业航空施药技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报,2014,45(10):53-59.
ZHANG Dongyan, LAN Yubin, CHEN Liping, et al. Current status and future trends of agricultural aerial spraying technology in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(10):53-59. (in Chinese)
- 张慧春,郑加强,周宏平. 智能植保机械专题数据库设计技术研究[J]. 农业工程学报,2009,25(1):154-157.
ZHANG Huichun, ZHENG Jiaqiang, ZHOU Hongping. Specialized database technology for intelligent plant protection machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(1):154-157. (in Chinese)
- SAATY T L. The analytical hierarchy process: planning priority setting, resource allocation[M]. New York: McGraw Hill, 1980.
- 倪九派,李萍,魏朝富,等. 基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J]. 农业工程学报,2009,25(5):202-209.
NI Jiupai, LI Ping, WEI Chaofu, et al. Potentialities evaluation of regional land consolidation based on AHP and entropy weight method[J]. Transactions of the CSAE,2009, 25(5): 202-209. (in Chinese)
- 张淑娟,何勇,葛晓锋,等. 改进层次分析法用于农用运输车综合性能的评价[J]. 农业工程学报,2002,18(6):91-94.
ZHANG Shujuan, HE Yong, GE Xiaofeng, et al. Application of improved AHP method in the evaluation of agricultural transportation tractor synthesis capability[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 91-94. (in Chinese)
- 张海涛,周勇,汪善勤,等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然力[J]. 农业工程学报,2003,19(2):219-223.
ZHANG Haitao, ZHOU Yong, WANG Shanqin, et al. Natural productivity evaluation of cultivated land based on GIS and RS data in Houhu Farm of Jiangnan Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(2):219-223. (in Chinese)
- 代丽,朱爱华,赵匀. 应用层次分析法计算插播机构优化目标的权重[J]. 农业工程学报,2013,29(2):60-65.
DAI Li, ZHU Aihua, ZHAO Yun. Using AHP to calculate optimization objective weights of transplanting mechanism [J]. Transactions of the CSAE,2013, 29(2): 60-65. (in Chinese)
- 钱建平,李海燕,杨信廷. 基于可追溯系统的农产品生产企业质量安全信用评价指标体系构建[J]. 中国安全科学学报,2009,19(6):135-141.
QIAN Jianping, LI Haiyan, YANG Xinting. Establishment of quality safety credit evaluation index system for farm product enterprise based on traceability system[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(6):135-141. (in Chinese)
- 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术,2009,32(2):183-185.
LI Kai. Application of analytical hierarchy process to integrate evaluation of eco-environment [J]. Environmental Science & Technology,2009,32(2):183-185. (in Chinese)
- 邵建敏,张学昌,阎玉光. 机械多目标优化设计中的权重确定[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2001,16(2):32-34.
SHAO Jianmin, ZHANG Xuechang, YAN Yuguang. Study on the distributor of weight factor in the mechanical multi-target optimization design[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry: Natural Science, 2001,16(2):32-34. (in Chinese)
- 肖峻,王成山,罗凤章,等. 区间层次分析法的权重求解方法初探[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(11):1597-1600.
XIAO Jun, WANG Chengshan, LUO Fengzhang, et al. Exploration on the methods of weight calculation in the interval-based AHP [J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(11): 1597-1600. (in Chinese)