

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.046

基于能值分析的设施葡萄可持续性评估系统设计*

张小栓¹ 路施泽¹ 冯建英² 温茜¹ 田东¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 以设施葡萄为研究对象,基于数据库技术、网络技术和能值分析理论,系统分析了设施葡萄栽培的业务流程,构建了可持续性评估模型,采用面向对象的C#语言开发了C/S架构的设施葡萄可持续性评估系统,并在河北省昌黎县葡萄种植基地进行了系统测试。结果表明:该系统是运用信息化技术解决葡萄生产领域实际问题的有益尝试,可以有效地评估设施葡萄栽培系统的可持续性,辨识影响其可持续发展的关键因素;促进葡萄园生产的规范化管理,提高设施葡萄产业可持续发展能力。

关键词: 设施葡萄 可持续发展 能值分析 评估系统

中图分类号: TP315; S62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)05-0264-06

Design and Implementation of Sustainability Assessment System for Greenhouse Viticulture Based on Emergy Analysis

Zhang Xiaoshuan¹ Lu Shize¹ Feng Jianying² Wen Qian¹ Tian Dong¹

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

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: An assessment system for sustainability in the greenhouse viticulture was developed based on the database technology, network technology and emergy analysis theory. Firstly, a complex analysis on production process of greenhouse viticulture was conducted and a model to assess sustainability based on emergy was proposed. Then, the data from Changli county was acquired to test the system. Results showed that the system could assess the sustainability of the greenhouse viticulture system effectively, and identified the key factor in sustainable development, as well as promoted the standardized management of plantation production and improved the capacity for sustainable development of greenhouse viticulture industry.

Key words: Greenhouse viticulture Sustainability Emergy analysis Assessment system

引言

近年来兴起的设施葡萄种植模式有效提高了葡萄的品质,并可延长葡萄上市供应周期,为农民致富、农业结构调整做出了重要贡献^[1~2]。但是对经济效益的过多追求,并由于缺少整体规划,设施葡萄种植模式也出现了一系列的可持续发展问题^[3]。目前对可持续发展问题的研究有许多理论和方法,其中由美国著名生态学家、能量分析学家 Odum 于 20 世纪 80 年代综合系统生态学、能量生态学和生

态经济学原理发展而来的能值理论^[4~5],因为能够客观评价自然资源与经济投入的价值,已被广泛应用于生态系统的可持续性评估中^[6~8]。能值分析是一个繁复的数据计算过程,通常按照固定的分析步骤进行^[9]。传统分析过程由人力计算,枯燥而易出错。而信息系统、专家系统、决策支持系统以数据库技术为基础,能够将现实世界的信息及数据进行抽象并形式化的表达^[10],信息系统在农业领域已被广泛应用^[11~14]。

本文以能值理论为基础,分析设施葡萄生产各

收稿日期: 2012-05-04 修回日期: 2012-06-04
* 国家自然科学基金资助项目(41101573)、中国农业大学研究生科研创新专项(2012YJ104)和中国农业大学研究生项目(2012YJ289)
作者简介: 张小栓,副教授,主要从事农业系统工程、农业信息化技术研究,E-mail: zhxsuan@cau.edu.cn

个环节,利用数据库技术、网络技术,采用 C#编程语言,通过构建统一的可持续性评估系统,实现对设施葡萄可持续性的动态监测和评估。

1 系统分析与设计

1.1 系统目标

该评估系统是为了实现对设施葡萄生产过程中环境压力的监测,并从能值角度通过一套指标体系对设施葡萄生产系统的环境压力和可持续性进行评估。围绕设施葡萄的生产流程:设施建造—园地改良—苗木定植—设施外管理(整形修剪、肥水管理、病虫害防控)—设施内管理(休眠调控—整形修剪、肥水管理、病虫害防控、花果管理)—树体采后管理—棚膜回收—设施维护,对各环节的物质流与货币流进行剖析,用信息化的方式展现能值流、库和相关参数的变化规律。评估系统用特定的指标来表征设施葡萄的经济效益、环境效益与社会效益,以可视化的方式将评估结果——对象的可持续发展能力予以展现。同时在设施葡萄可持续发展能力实现信息化监测与评估的基础之上,从技术的可获得性、经济的可承受性和实施的合理性出发,构建适合中国国情的便于政府监管、使用者操作的设施葡萄可持续性监测与评估系统。

1.2 系统流程设计

设施葡萄可持续性评估系统针对的是规模化、工厂化的设施葡萄种植园,园内生产流程规范、统一。通过对葡萄园的建园、种植、管理到收获和产后处理等生产流程进行剖析,设计了信息采集、数据运算处理、结果展示、信息查询、通信和扩展等功能模块。在企业生产档案的基础上,结合当地年鉴以及相关各部门的统计数据,通过系统的信息采集模块自动或人工为系统提供基础数据;生产流程的基本信息经数据处理模块运算处理后,通过结果展示模块以图表或其他用户选择的方式予以展现;用户和环保部门可以通过系统进行查询,不同用户赋予不同权限,以保证系统安全;通信模块可以实现不同系统间的数据同步与共享,扩展模块是预留接口,可用于集成其他模块和功能。系统流程如图 1 所示。

1.3 系统结构设计

设施葡萄可持续性评估系统以单个种植园为评估对象,通过对生产流程中各种信息的汇集与处理,从能值的角度评估该葡萄园的经济效益与环境效益,即可持续发展水平;通过对区域内所有设施栽培对象评估结果的融合,实现区域内设施葡萄产业可持续性评估。

系统采用模块化的思路进行设计,从功能的角

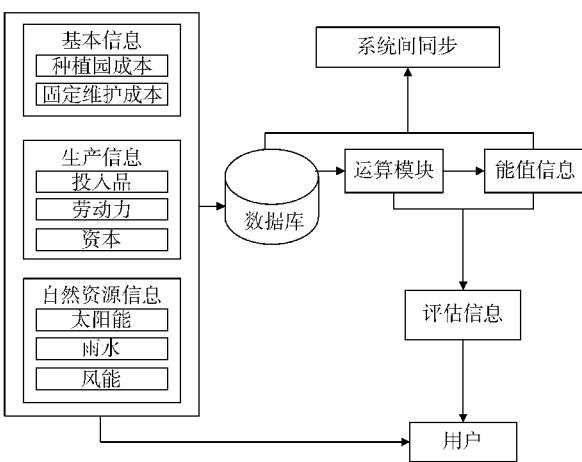


图 1 可持续性评估系统流程图

Fig. 1 Flow chart of sustainability assessment system

度划分,评估系统由 3 部分组成。①生产记录子系统,能值分析的基础是对评估对象全生产过程的投入与产出进行分析,所以需要对生产流程进行详细记录。②能值化运算模块,通过能值转换率将不同的能量与物质转换成统一的可比较的能值,这一模块主要功能是生成能值分析表。③用户界面,信息系统的特点不只是数据处理与分析的便捷,还包括结果的可视化;通过设计友好的用户界面,将评估结果以图表或其他用户选择的模式进行展现,同时用户还可以进行权限内的查询,如种植园用户不仅可以查询评估结果,还可以查询生产数据,而环境监测部门用户不可以查询种植园涉密生产信息。

系统的结构设计如图 2 所示。

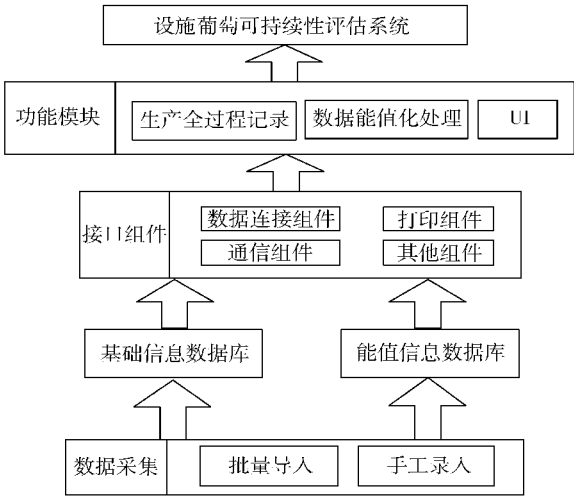


图 2 可持续性评估系统结构图

Fig. 2 Structural diagram of sustainability assessment system

2 关键算法与模型

2.1 设施葡萄系统能值边界

对设施葡萄进行能值分析,既有能值分析的普

遍规律,也有其特殊性。本研究综合考虑系统边界、分析系统从外界获取的自然资源及购入的资源能值,跟踪设施葡萄的生产流程,把其中的各种生态流(能流、物流、货币流、信息流、人口流以及生物物种流等)在能值尺度上统一起来。设施葡萄的系统能值图见图3。

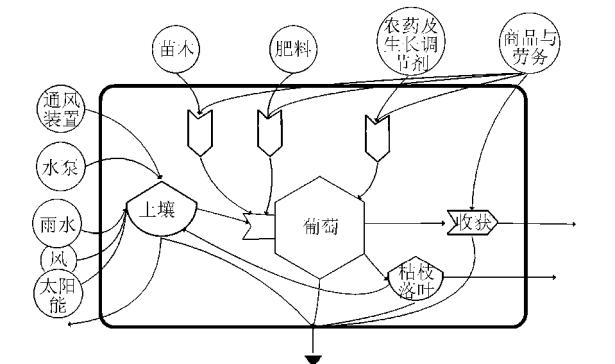


图3 葡萄设施栽培系统能值图

Fig. 3 Emergy diagram of greenhouse viticulture system

2.2 可持续性参数选择

对于一个如图4所示的生态经济系统而言,可持续性评估包括两方面:社会经济利益和生态环境效益。从能值的角度来看,前者要求系统能值产出收益要高,即系统能值产出给人类带来的利益高;后者则要求对环境负反馈要小。这些用能值测度的指标主要有能值产出率(EYR)、能值投资率(EIR)、环境负载率(ELR)、可持续发展指数(ESI)等。

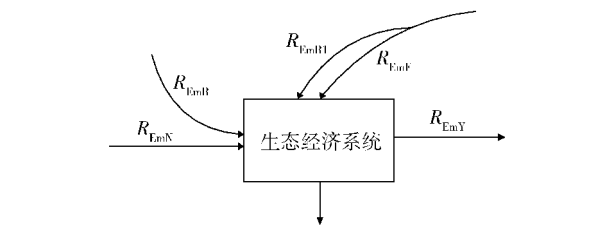


图4 生态经济系统投入产出示意图

Fig. 4 Ecological and economic input-output diagram

综合考虑设施葡萄生产的特点和能值分析的需求,本系统选取了4个比较成熟,也是最常用的指标作为设施葡萄可持续性评估参数。

(1) 环境负载率,是系统不可更新能源投入能值总量与可更新资源能值投入总量之比,即

$$R_{ELR} = (R_{EmF} + R_{EmN}) / (R_{EmR} + R_{EmR1}) \quad (1)$$

式中 R_{ELR} ——环境负载率

R_{EmR} ——自然环境投入的可更新资源能值

R_{EmN} ——自然环境投入的不可更新资源能值

R_{EmF} ——人类经济社会反馈投入的不可更新资源能值

R_{EmR1} ——人类经济社会反馈投入的可更新资源能值

环境负载率通常反映农业生态系统在生产过程中对自然环境系统的压力大小。系统的环境负载率越高意味着对不可更新资源的过度开发,将导致系统功能的退化或消失。

(2) 能值产出率,是系统总产出能值与社会经济投入能值之比,即

$$R_{EYR} = R_{EmY} / (R_{EmF} + R_{EmR1}) \quad (2)$$

式中 R_{EYR} ——能值产出率 R_{EmY} ——产出能值

在同样经济投入的前提下,系统能值产出率越高意味着系统总产出越高,经济效益越好,具备较高的经济回报效益。

(3) 能值投资率,是经济输入能值与自然资源输入能值之比,即

$$R_{EIR} = (R_{EmF} + R_{EmR1}) / (R_{EmR} + R_{EmN}) \quad (3)$$

式中 R_{EIR} ——能值投资率

能值投资率反映系统本地资源和外界资源的依赖关系。过低的能值投资率说明系统过于依赖本地资源的使用,外界经济投入太少,不利于提高系统的总产出。而过高的能值投资率说明系统的自然环境需要承受大量的经济活动,不利于自然资源的可持续利用。因此将该指标保持在一个恰当的比值方可使系统更具竞争力。

(4) 可持续发展指数,是系统能值产出率与环境负载率之比,即

$$I_{ESI} = R_{EYR} / R_{ELR} \quad (4)$$

式中 I_{ESI} ——可持续发展指数

系统的能值产出率越大,环境负荷率越小,则ESI值就越高,该系统的可持续发展程度就越高。显然,若系统的能值产出率高而环境负荷率又相对较低,则它是可持续的,反之是不可持续的。但并不是ESI值越高,可持续性就越高。当 $10 > I_{ESI} > 1$ 时表明经济系统富有活力和发展潜力; $I_{ESI} > 10$ 则是经济不发达的象征;当 $I_{ESI} < 1$ 时,为消费型经济系统^[15]。

2.3 能值转换率

能值分析的基础是能值转换率,即一种产品或服务形成过程中直接和间接消耗的另外一种能量的总和,通常以太阳能作为基准。只有通过能值转换率,才能将不同能质的能量与物质在统一的尺度下进行比较与运算。本系统中涉及到的能值转换率主要参考蓝盛芳与Odum的研究^[4~5],另外考虑时空因素系统设置了能值转换率可调的功能(表1)。

某一种物质或能量的能值计算方法为

$$F_{Em} = F_{Ej} F_{Tm} \quad (5)$$

式中 F_{Em} ——能值 F_{Tm} ——能值转换率

F_{Ej} ——能量(质量或货币)

表 1 昌黎县葡萄生产系统能值分析表

Tab.1 Emergy analysis of grape product system in Changli country

项目	原始数据		能值转化率	能值
	参数	数值		/ sej·a ⁻¹
可更新环境资源(R)	太阳能/J	1.68×10 ¹²	1.00 sej/J ^[4]	1.68×10 ¹²
	地球循环能/J	9.11×10 ⁹	2.90×10 ⁴ sej/J ^[16]	2.64×10 ¹³
	小计			2.81×10 ¹³
不可更新环境资源(N)	表土层损失/kg	0	6.25×10 ⁴ sej/kg ^[4]	0
	小计			0
不可更新工业辅助能(F)	氮肥/kg	3.60×10 ¹	3.80×10 ¹² sej/kg ^[4]	1.37×10 ¹⁴
	磷肥/kg	1.80×10 ¹	3.90×10 ¹² sej/kg ^[4]	7.02×10 ¹³
	钾肥/kg	2.88×10 ¹	1.10×10 ¹² sej/kg ^[4]	3.17×10 ¹³
	复合肥/kg	3.60×10 ¹	2.80×10 ¹² sej/kg ^[4]	1.01×10 ¹⁴
	农药/kg	4.32×10 ¹	1.62×10 ¹² sej/kg ^[4]	7.00×10 ¹³
	钢、铁/kg	4.40×10 ²	1.40×10 ¹² sej/kg ^[4]	6.16×10 ¹⁴
	水泥/kg	1.70×10 ³	3.30×10 ¹² sej/kg ^[4]	5.61×10 ¹⁵
	塑料/kg	2.06×10 ¹	3.80×10 ¹¹ sej/kg ^[4]	7.83×10 ¹²
	电力/J	9.52×10 ⁴	1.59×10 ⁵ sej/J ^[4]	1.51×10 ¹⁰
	灌溉水/m ³	1.80×10 ¹	8.99×10 ⁴ sej/m ³ ^[16]	1.62×10 ⁶
	小计			6.64×10 ¹⁵
可更新有机能(R1)	有机肥/kg	2.15×10 ³	2.70×10 ⁹ sej/kg ^[4]	5.81×10 ¹²
	劳动力/ \$	1.98×10 ³	1.98×10 ¹¹ sej/ \$ ^[17]	3.92×10 ¹⁴
	果苗/ \$	5.00×10 ²	1.98×10 ¹¹ sej/ \$ ^[17]	9.90×10 ¹³
	小计			4.97×10 ¹⁴
总计				7.41×10 ¹⁵
葡萄产量/kg		5.00×10 ³	9.91×10 ¹¹ sej/kg ^[16]	4.96×10 ¹⁵

系统总能值计算式为

$$F_{Es} = \sum_{i=1}^n F_{Eim} = \sum_{i=1}^n F_{Eij} F_{Tim} \tag{6}$$

式中 F_{Es} ——系统总能值

3 系统实现与应用

3.1 系统开发与实现

系统旨在从能值理论的角度,监测与评估设施葡萄栽培生态系统的可持续发展能力。通过跟踪整个生产过程,记录设施葡萄栽培生态系统的能值投入产出情况,向用户提供信息管理、历史数据查询及可视化展示评估结果等功能。数据批量导入与人工录入相结合简化了传统能值评价繁琐的录入过程,另外关键参数的可定制性使系统的兼容性与可移植性更强。

设施葡萄可持续性评估系统有 3 个主要功能模块组成:设施葡萄生产过程记录、能值化运算、用户界面。系统基于当前主流的.NET Framework 3.0 框架,结合数据库技术、网络技术、信息系统原理和方法,采用面向对象的 C#作为开发语言。服务端由装载 Windows Server 2003 服务器专用操作系统的 X86 架构机器承担,系统采用客户端/服务器(C/S)的结构,客户端需要具备.NET 3.0 以上组件。为了便于

不同用户的使用,系统开发了较为友好的用户界面,见图 5。

3.2 系统应用与测试

3.2.1 系统测试对象

设施葡萄可持续性评估系统开发完成后,选择我国葡萄生产基地——昌黎县对评估系统进行了测试。

昌黎县地处河北省东北部,年均气温 11℃,平均年降水量 695.6 mm,年均日照时数达 2 800 h,适宜葡萄生长。昌黎县葡萄栽培历史悠久,是国家命名的“中国酿酒葡萄之乡”,主栽品种为玫瑰香、巨峰、龙眼,因此适合作为评估系统测试的对象。

3.2.2 测试结果与分析

昌黎县葡萄生产的基本数据来源于调研,将基础数据导入系统后,能值分析的过程由系统自动完成,并按照给定的参数进行可持续性评估。对能值投入分析结果见表 2。

根据用户的需求,系统可输出不同的能值指标。在此选择了 4 个主要指标,结果列于表 3。同时为便于分析,将结果与河北省种植业的能值指标作比较。

昌黎县设施葡萄的环境负载率高于种植业的值,说明设施葡萄较种植业对环境压力大;但设施葡萄产业的能值产出率高于种植业平均水平,同时其能值投资率远高于种植业平均水平。这表明设施葡

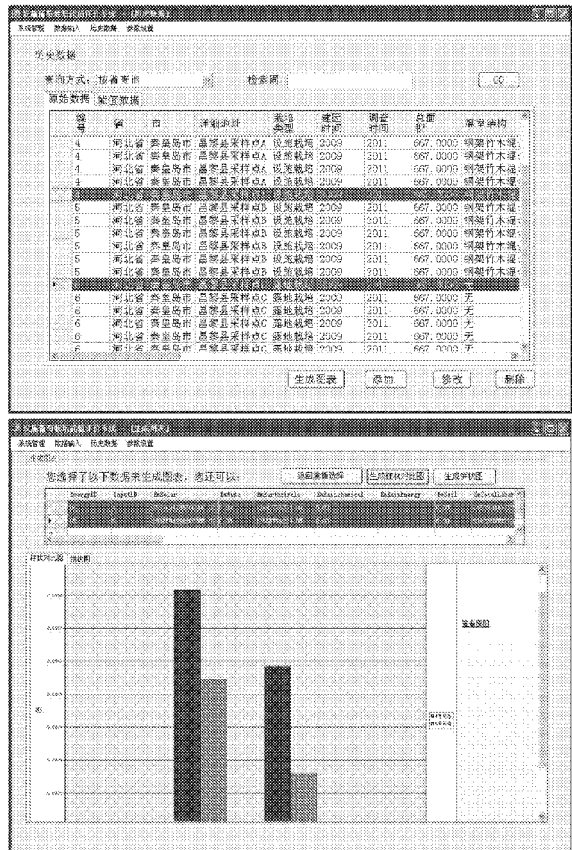


图5 可持续性评估系统界面示例

Fig.5 Interface example of sustainability assessment system

表2 系统能值投入组成表

Tab.2 Composition of emergy input

项目	能值/ $\text{sej} \cdot \text{a}^{-1}$	比例/%
可更新环境资源 R	2.66×10^{14}	3.59
不可更新工业辅助能 F	6.64×10^{15}	89.70
可更新有机能 R1	4.97×10^{14}	6.71

表3 系统计算结果与对照

Tab.3 Results and comparison of proposed system

项目	ELR	EYR	EIR	能值转化率 $/\text{sej} \cdot \text{J}^{-1}$
昌黎葡萄	8.71	0.69	26.9	1.48×10^{12}
河北种植业 ^[17]	1.13	0.51	3.75	1.30×10^5

萄系统的能值效率较高,对投入品的利用率高。即从可持续发展角度来衡量,设施葡萄具有竞争力。

设施葡萄系统的能值投资率很高,这一方面说明昌黎县的设施葡萄产业经济发展程度很高(设施葡萄是当地的主要产业,政府支持度高),但是这个值远高于河北省种植业的平均水平。这需要当地决策部门注意调控,因为这意味着设施葡萄的规模可能发展过大,不利于该区域的整体可持续发展。

以昌黎县设施葡萄产业为实例对评估系统进行的测试过程中,充分体现了系统在能值分析与可持续性评估中的优势,提高了能值分析的效率与准确性,能够为设施葡萄产业的发展和结构调整提供实时依据,促进经济效益和环境效益的提升。

4 结论

(1)在分析设施葡萄生产过程的基础上,设计开发了设施葡萄可持续性评估系统,实现了信息采集、数据运算处理、结果展示、信息查询、通信和扩展等功能。测试结果表明,基于能值分析的可持续性评估能够客观评价对象的经济效益与环境效益,用统一的标准来衡量自然资源和经济投入的价值,弥补了传统能量分析中不同类型能量不能直接比较以及不能客观评价环境代价的缺陷。

(2)系统以能值理论为依据,用信息化的方式构建可持续性评估系统。评估系统可满足不同用户的需求:种植者可以将其作为生产管理系统,记录葡萄生产整个流程的相关信息;环境监测机构可以通过系统实时监测产业的环境负载;评估结果可为政策制定者提供决策依据。

(3)在昌黎县的应用表明,设施葡萄生产模式比传统种植业能值效率高;但其能值投资率远高于传统种植业,同样能值投入中购买能值所占比例也较大,这说明设施葡萄的经济发展程度很高;整体评估结果认为当地设施葡萄发展规模过大。同时使用该系统可规范种植园生产管理,促进设施葡萄产业的可持续发展。

参 考 文 献

1 王华,赵现华,刘晶,等. 葡萄与葡萄酒生产可持续发展研究进展[J]. 中国农业科学,2010,43(15): 3 204 ~ 3 213.
Wang Hua, Zhao Xianhua, Liu Jing, et al. Research progress in sustainable development of grape and wine production[J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(15): 3 204 ~ 3 213. (in Chinese)

2 翟衡,杜远鹏,孙庆华,等. 论我国葡萄产业的发展[J]. 果树学报,2007,24(6):820 ~ 825.
Zhai Heng, Du Yuanpeng, Sun Qinghua, et al. On the development situation of Chinese grape industry[J]. Journal of Fruit Science, 2007,24(6):820 ~ 825. (in Chinese)

3 王海波,王孝娣,王宝亮,等. 中国北方设施葡萄产业现状、存在问题及发展对策[J]. 农业工程技术·温室园艺, 2011(1): 21 ~ 24.
Wang Haibo, Wang Xiaoti, Wang Baoliang, et al. Northern China facilities grape industry status, existing problems and development strategies [J]. Agricultural Engineering Technology Greenhouse Gardening, 2011(1):21 ~ 24. (in Chinese)

- 4 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 129 ~ 131.
Lan Shengfang, Qin Pei. Emergy analysis of ecosystems [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 129 ~ 131. (in Chinese)
- 5 Odum H T. Self-organization, transformity and information[J]. Science, 1988, 25(4 882): 1 132 ~ 1 139.
- 6 Brown M T, Odum H T, Jorgensen S E. Energy hierarchy and transformity in the universe[J]. Ecological Modelling, 2004(178): 17 ~ 28.
- 7 陆宏芳, 沈善瑞, 陈洁, 等. 生态经济系统的一种整合评价方法: 能值理论与分析方法[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 121 ~ 126.
Lu Hongfang, Shen Shanrui, Chen Jie, et al. A synthesis evaluation method of economical ecosystem: emergy theory and analysis method [J]. Ecology and Environment Sciences, 2005, 14(1): 121 ~ 126. (in Chinese)
- 8 董孝斌, 高旺盛, 严茂超, 等. 基于能值理论的农牧交错带两个典型县域生态经济系统的耦合效应分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 1 ~ 6.
Dong Xiaobin, Gao Wangsheng, Yan Maochao, et al. Emergy evaluation of the coupling effects of ecological economic systems of two selected counties in the eco-tone between agriculture and pasture in the north China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2005, 21(11): 1 ~ 6. (in Chinese)
- 9 Ulgiati S, Odum H T, Bastianoni S. Emergy use, environmental loading and sustainability: an emergy analysis of Italy[J]. Ecological Modeling, 1994, 73(3 ~ 4): 215 ~ 268.
- 10 Jean-Paul van Belle, Jane Nash, Mike Eccles. Discovering information systems[M]. Global Text Project, 2003.
- 11 刘小勇, 常态玉, 盛建东, 等. GIS 系统集成技术在农业工程信息系统中的应用[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 123 ~ 126.
Liu Xiaoyong, Chang Taiyu, Sheng Jiandong, et al. Application of GIS systemic integrated technique in agricultural engineering information system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 123 ~ 126. (in Chinese)
- 12 张书慧, 马成林, 吴才聪, 等. 地理信息系统在精确农业变量施肥中的应用[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 92 ~ 95.
Zhang Shuhui, Ma Chenglin, Wu Caicong, et al. Application of GIS systemic integrated technique in agricultural engineering information system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(3): 92 ~ 95. (in Chinese)
- 13 Hussain T, Wardman R H, Shamey R, et al. A knowledge-based expert system for dyeing of cotton. Part 1: design and development [J]. Coloration Technology, 2005, 121(1): 53 ~ 58.
- 14 李莉, 刘刚. 基于蓝牙技术的温室环境监测系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 97 ~ 100.
Li Li, Liu Gang. Design of greenhouse environment monitoring and controlling system based on bluetooth technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 97 ~ 100. (in Chinese)
- 15 陆宏芳, 蓝盛芳, 彭少麟, 等. 系统可持续发展的能值评价指标的新拓展[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 150 ~ 154.
Lu Hongfang, Lan Shengfang, Peng Shaolin, et al. Extending study on emergy indices for sustainable development [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2003, 24(3): 150 ~ 154. (in Chinese)
- 16 Pizzigallo A C I, Granai C, Borsa S. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86(2): 396 ~ 406. (in Chinese)
- 17 龚宇, 花家嘉, 高桂芹, 等. 河北种植生态经济系统能值分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(15): 200 ~ 205.
Gong Yu, Hua Jiajia, Gao Guiqin, et al. Emergy analysis of eco-economic system of planting in Hebei province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(15): 200 ~ 205. (in Chinese)