

“四位一体”生态农业模式区域适宜性
评价与实证研究

陈 豫^{1,2},杨改河^{1,2},冯永忠^{1,2},任广鑫^{1,2}

(1 西北农林科技大学 农学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西省循环农业工程技术研究中心,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价是“四位一体”生态农业模式合理布局的关键,建立“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价模型,可以为国家和政府及相关部门进行“四位一体”生态农业模式布局提供科学的理论依据和决策支持。【方法】根据“四位一体”生态农业模式的区域影响因素和评价指标建立的原则、方法,从气候、能源、社会经济、水文因素 4 个层次中选取 15 个评价指标,构建了“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系。运用层次分析法、专家咨询法确定了评价指标的权重,建立了评价模型。并以陕西省为例,对安塞县、陇县、西乡县发展“四位一体”生态农业模式区域适宜性进行了比较研究。【结果】3 个地区发展“四位一体”生态农业模式区域适宜性顺序为陇县>西乡县>安塞县。【结论】研究结果与实际情况比较吻合,说明该评价理论具有一定的应用价值。

【关键词】 四位一体;生态农业模式;区域适宜性评价
【中图分类号】 F301.24 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)09-0045-06

Evaluations and empirical studies on the regional suitability of
“Four-in-One” eco-agricultural models

CHEN Yu^{1,2}, YANG Gai-he^{1,2}, FENG Yong-zhong^{1,2}, REN Guang-xin^{1,2}

(1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The evaluation of regional suitability of the “Four-in-One” eco-agricultural model is the key of the reasonable layout for the “Four-in-One” eco-agricultural model. It provides a scientific theory base and decision support for the country and the government. 【Method】 15 evaluation indexes from 4 catalogues-climate, energy, social economy, hydrology were chosen to set up the suitability evaluation index system according to it’s principles. The weight of index was defined by Analytic Hierarchy Process(AHP) and Delphi and the appraising model was established. Taking Shaanxi Province as an example, a demonstration analysis was done to compare and study the way of developing the “Four-in-One” eco-agricultural model region suitability in Ansai County, Long County and Xixiang County. 【Result】 The results show that the adaptabilities of these three counties to develop the “Four-in-One” eco-agricultural model is: Long>Xixiang>Ansai. 【Conclusion】 The results tally with the practical situations, and it illuminates that the evaluation theory is practical to some degree.

* 【收稿日期】 2007-10-09
 【基金项目】 科技部农业科技成果转化项目(05EFN217100423);国家农业结构调整项目(06-07-05B);陕西省重大科技专项计划项目(2006KZ09-G5);陕西省科技攻关项目(2005K01-G17-03);国家自然科学基金项目(30700482)
 【作者简介】 陈 豫(1983—),女,新疆博乐人,在读博士,主要从事旱区农业资源管理研究。
 E-mail:chenyu-2006@163.com;Tel:13201647310
 【通讯作者】 杨改河(1957—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事资源与环境生态研究。

Key words: Four-in-One; eco-agricultural model; evaluation of regional suitability

“四位一体”生态农业模式^[1-3]是依据生态学、经济学、系统工程学原理,以土地资源为基础,以太阳能为动力,以沼气为纽带,将种植业、养殖业相结合,通过生物能转化技术,在农户土地上将日光温室、高效沼气池、畜禽圈和卫生厕所相结合,在全封闭状态下形成农业生产的良性循环,从而达到低成本、高效益的生产目的。“四位一体”生态农业模式是目前北方农村推广比较普遍的模式之一,特别是在冬季比较寒冷的地区。发展“四位一体”生态农业模式是对自然资源与科技结合生产领域的拓宽,是无公害农业与农业产业化的结合,符合农业生产实际,切合农村特点,具有强大的生命力和广阔的发展前景^[4]。但沼气的发酵、日光温室的建设、种植业和养殖业的发展与区域自然地理特征息息相关,由于我国不同地区的自然资源和社会经济环境存在巨大的差异性,因此,各地发展“四位一体”生态农业模式具有明显的区域特性,不可一刀切。科学评价“四位一体”生态农业模式的区域适宜性,对于“四位一体”生态农业模式的合理布局、农业和农村经济结构的调整以及国家巨额资金的合理使用,无疑都具有十分重要的意义。为此,本研究根据“四位一体”生态农业模式的区域影响因素和评价指标建立的原则、方法,运用层次分析法、专家咨询法建立了“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价模型,以期为国家及相关部门进行“四位一体”生态农业模式布局提供科学的理论依据和决策支持。

1 “四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系的建立

1.1 指标体系构建的原则和方法

指标体系的建立是一个复杂的系统工程,“四位一体”生态农业模式区域适宜性问题涉及自然、生态、经济、社会等方面,是一个复杂的多种因素相互作用的整体。指标体系的好坏直接关系到评价的精确性和科学性。所以,在建立评价指标体系时,需遵循主导性,定量与定性相结合,简单、易获取性,可操作性的原则。

层次分析法^[5](Analytic Hierarchy Process, AHP)作为一种系统分析工具,根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解为不同的组成因素,按照因素间的相互关联以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合,形成一个多层次的分析结构模型,并最

终把系统分析归结为最底层(供决策的方案、措施等)相对于最高层(总目标)相对重要性权值的确定和相对优劣次序的排序问题。为此,本研究采用层次分析法构建指标体系。层次分析法基本步骤包括建立层次分析模型、构造判断矩阵、判断矩阵求解及一致性检验。

1.2 评价指标体系层次结构的建立

“四位一体”生态农业模式的结构包括日光温室、高效沼气池、畜禽圈和卫生厕所,其中受区域环境影响较大的是日光温室和高效沼气池。因此,在建立“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系时,应主要考虑影响日光温室和高效沼气池的区域因素。根据“四位一体”生态农业模式的特点,影响“四位一体”生态农业模式发展的制约因素有自然因素和社会经济因素。自然因素以气候条件为主,社会经济因素以各地的经济发展水平为主。

(1)气候指标。气候条件对“四位一体”生态农业模式的发展有显著影响,是沼气产气量和日光温室发展密切相关的区域因子。温度是沼气发酵的重要外部条件,温度适宜则细菌繁殖旺盛,活力强,厌氧分解和生成甲烷的速度快,产气多^[6],是沼气产气量的关键。因此,本研究选择年平均温度和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数来评价沼气系统的温度适宜性,其中年平均温度从总体上评价不同地区是否具有沼气发酵的适宜温度, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数评价不同地区沼气的使用周期。气候环境对日光温室的作用,主要是外界大气候和日光温室内小气候对作物生长和发育产生的影响。温室内小气候是可以通过调控手段进行调节的,而室外大气候的影响只能通过气候区划来合理布局日光温室,以趋利避害。在日光温室生产中,温、光、水、气、肥中的温度和光照条件地域差异相对较大,是对作物生长起关键性作用的因子,所以评价指标主要选择温度与光照相关的因素指标^[7];大风、积雪对设施载荷也有影响^[8];有效生长积温不仅是表达热量最直观的指标,而且代表着蔬菜露地栽培中生长季的长短。关于中国温室的气候区划,陈端生等^[9-10]、张纪增等^[11]、崔读昌^[12]、吕国华等^[13]、邱仲华等^[14]、齐玉春等^[15]、汪李平等^[16]分别从不同角度对全国、国内部分地区或省内进行了温室区划,根据其区划指标及本研究目的主要选择以下因子作为温室的气候评价指标:冬季晴天日数、年极端最低气温、年日照时数、30年一遇最大风速、冬季平均温

度、30 年一遇最大积雪深度。以上气候指标中年平均温度、冬季平均温度、年极端最低气温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数、年日照时数、冬季晴天日数反映了对日光温室作物生长起关键性作用的温度和光照条件的地域差异；30 年一遇最大风速、30 年一遇最大积雪深度衡量不同地区气候对日光温室设施载荷的影响。

(2)能源指标。能源状况为影响“四位一体”生态农业模式中是否建立沼气系统的重要因素。一方面，沼气发酵除与适宜的温度有关外，还需要充足的发酵原料；另一方面，随着农村经济的发展和农民收入的增加，地区差异正在逐步扩大，农村生活用能中商品能源的比例正以较快的速度增加。为此，本研究选择的能源指标包括生物质资源量、商品能源获取的难易程度。其中生物质资源量评价不同区域沼气发酵原料是否充足；商品能源获取的难易程度定性反映各区域农民的能源消费结构，从经济角度评价不同区域发展沼气的适宜性。

(3)社会经济指标。建立“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系时，应充分考虑各区域的社会经济状况。在经济贫困、生态环境恶劣的地区，农民经济承受能力差，政府补贴资金较少，大部分建池和建温室经费仍需农民自筹，经济困难农民负担不起。加上经济落后地区信息闭塞，民众文

化水平偏低，对有一定科技含量的沼气池及温室的利用、管理技术接受能力有限。为此，本研究选择了农民年均收入、国家投资、农民平均文化水平 3 个指标作为社会经济指标。其中农民年均收入评价不同区域的经济发展水平，从而反映农民是否具有购买商品能源的经济能力，是影响“四位一体”生态农业模式中沼气系统发展的关键因素；农民年均收入和国家投资主要评价农民是否能负担建池和日光温室的经费；农民平均文化水平评价农民对有一定科技含量的沼气池和日光温室利用及其管理技术的接受能力，是决定“四位一体”生态农业模式系统能否持续使用的关键。

(4)水文指标。水源状况是影响“四位一体”生态农业模式中日光温室种植业系统发展的关键因素。随着我国工业、农业和城市建设的飞速发展，对水的需求量日益增加，在水资源短缺地区水已成为经济发展的限制性因素。发展“四位一体”生态农业模式，日光温室中主要种植蔬菜，蔬菜对水的需求量很大。与其他农作物相比，蔬菜对水分的反应也尤为敏感。蔬菜生长期间灌水较为频繁，且能否及时灌水对蔬菜产量有明显影响^[17]。因此，本研究选取年径流深度和年降雨量两个指标来衡量不同区域的水源状况。

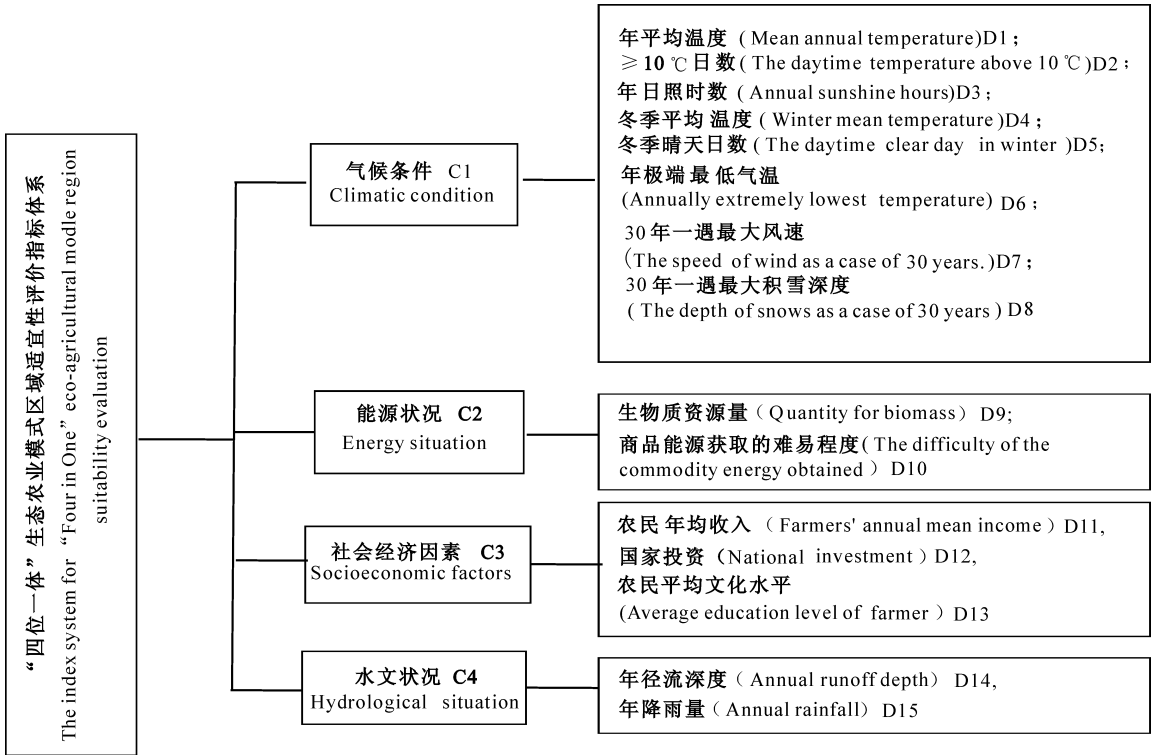


图 1 “四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系

Fig. 1 Index system for the evaluation of the “Four-in-One” eco-agricultural model region suitability

为了使“四位一体”生态农业模式的布局合理,经过系统的分析和筛选,本研究中“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系包括气候、能源、社会经济、水文 4 个准则层。在气候准则层中包括年平均温度、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数、冬季晴天日数、年极端最低气温、年日照时数、30 年一遇最大风速、冬季平均温度、30 年一遇最大积雪深度 8 个指标;能源准则层包括生物质资源量、商品能源获取的难易程度 2 个指标;社会经济准则层包括农民年均收入、国家投资、农民平均文化水平 3 个指标;水文准则层包括年径流深度和年降雨量 2 个指标。“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系由 4 个准则层,共计 15 个指标构成,层次结构见图 1。

1.3 评价指标权重的确定

本研究以结合层次分析法 (Analytic Hierarchy

Process,AHP)和 Delphi 法(专家咨询法)作为评价指标权重的主要方法。按照层次分析法构造层次结构模型和判断矩阵,设计不同层次的判断矩阵表,给定评判标准。本研究将“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系每一层级两两因子间的重要性程度分为 9 个层次,等级依次为绝对重要、极重要、重要、比较重要、同等重要、较不重要、不重要、极不重要、绝对不重要,分值分别记为 9,7,5,3,1,1/3,1/5,1/7 和 1/9,以及处于两标度之间的中间值 2,4,6,8 或 1/2,1/4,1/6,1/8。由相关专家和有实践经验的技术人员对每一矩阵进行对偶比较打分,得到判断矩阵,计算权重;利用 Seaty 检验标准进行一致性检验^[18-20],具有满意的一致性;最终确定了指标层各指标的组合权重,如表 1。

表 1 “四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标的权重
Table 1 Index weight for the evaluation of the “Four-in-One”eco-agricultural model region suitability

		准则层 The criterions layer				各指标相对于 目标层的权重 Relatively weight of each index
		C1	C2	C3	C4	
		0.472 8	0.149 9	0.228 4	0.148 9	
指标层 Index layer	D1	0.220 6				0.104 3
	D2	0.179 4				0.084 8
	D3	0.166 1				0.078 5
	D4	0.166 1				0.078 5
	D5	0.147 8				0.069 9
	D6	0.045 6				0.021 6
	D7	0.037 2				0.017 6
	D8	0.037 2				0.017 6
	D9		0.5			0.075 0
	D10		0.5			0.075 0
	D11			0.244 9		0.055 9
	D12			0.244 9		0.055 9
	D13			0.510 2		0.116 5
	D14				0.5	0.074 5
	D15				0.5	0.074 5

2 “四位一体”生态农业模式区域适宜性评价方法

2.1 评价指标值无量纲化处理

由于“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系的定量指标有量纲,量纲的存在会对计算结果产生影响,为了使评价结果更客观、准确,在进行计算前,应对原始数据进行无量纲化处理。本文采用 Z-Score 法,将指标原始数据转化为无量纲的标准值,方法如下:

$$x_i=\frac{X_i-\overline{X}}{s}。$$

(1)

式中: x_i 为指标层某指标的评价标准值; X_i 为原始

数据; $\overline{X}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nX_i$,为该指标 n 个原始数据的平均

值; $s=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n(X_i-\overline{X})^2}$,为该指标的标准差。对

于定性指标,通过向被评估“四位一体”生态农业模式区域适宜性专家发放问卷调查,让专家结合不同区域的实际情况对定性指标进行打分,分值控制在 $[0,1]$ 。问卷收回后,通过统计分析,采用算术平均法最终确定这些指标的值。

2.2 评价模型

根据上述确定的各指标相应权重,利用下式计算“四位一体”生态农业模式区域适宜性的综合量化值。

$$T=\sum_{i=1}^{15}W_ix_i。$$

(2)

式中： T 为综合量化值， x_i 为指标层某指标的评价标准值， W_i 为指标层 D 中各指标相对于目标层的权重。

3 实证分析

本研究选取陕西省安塞县、陇县、西乡县 3 个地区，应用建立的评价模型对这 3 个地区“四位一体”生态农业模式区域适宜性进行评价。3 个地区 30

表 2 陕西省安塞县、陇县、西乡县 15 个指标的评价标准值

Fig. 2 Standard value of 15 indexes in Ansai, Longxian, Xixiang in Shaanxi Province

地区 County	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
安塞县 Ansai	0.612	0.855	0.891	-0.67	0.902 5	-0.66	-0.45	0.66	0.254	0.876	0.93	0.957	0.65	-0.52	-0.51
陇县 Longxian	0.745	0.953	0.816	-0.07	0.756 8	-0.58	-0.36	0.24	0.895	0.824	0.92	0.966	0.12	-0.28	-0.32
西乡县 Xixiang	0.897	0.961	0.523	0.74	0.459 5	-0.45	0.61	-0.75	0.376	0.573	0.66	0.946	-0.75	0.62	0.46

根据式(2)，计算出这 3 个地区发展“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价的综合量化值， $T1=0.395\ 4$ ； $T2=0.459\ 0$ ； $T3=0.448\ 2$ 。从综合量化值可以看出， $T2>T3>T1$ ，表明陇县较适宜发展“四位一体”生态农业模式，其次是西乡县，安塞县相对较差。这与实际情况比较吻合，陇县光、热资源丰富，冬季温度高，晴天日数多，生物质资源丰富，有充足的水源；西乡县虽冬季温度较高，水源充足，但光照不足，冬季阴天日数多且生物质资源相对较少；安塞县光、热资源不足，冬季温度低，水资源和生物质资源短缺且有丰富的煤矿资源。

4 讨 论

目前，我国提出的“生态家园富民计划”，为我国沼气生态农业发展提供了良好的机遇，“四位一体”生态农业模式也将进入快速发展阶段。“四位一体”生态农业模式的合理布局，关系到“四位一体”生态农业模式的可持续发展。本文提出的“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价指标体系和评价模型，可以用于横向比较，具有合理有序、便于操作的优点，结合实例研究得到了较为客观的评价结果，在评价指标构建和评价模型建立上具有一定的借鉴意义，可为国家和政府及相关部门进行“四位一体”生态农业模式区域适宜性评价提供科学的理论依据和决策支持。目前，国内对于“四位一体”生态农业模式区域适宜性工作开展的人还较少，完整的评价体系还未建立。本研究在“四位一体”生态农业模式区域

年(1971~2000 年)的气象数据(D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,D15)和水文数据(D14)的平均值数据分别来源于陕西省气象局和陕西省水文局；3 个地区 3 年(2002~2004 年)的能源及社会经济数据(D9,D11,D12,D13)的平均值数据来源于中国资源环境经济人口数据库；D10 数据通过发放调查问卷获取。根据式(1)计算得到 3 个地区 15 个指标评价的标准值，如表 2。

适宜性评价方面做了一些尝试性的工作，但仍需要对这个问题进行继续研究和探讨。

[参考文献]

[1] 张国强.“四位一体”农村能源生态模式[J].河南农业,2002(8):30.
Zhang G Q. “Four in one” ecological model of rural energy [J]. Henan Agriculture, 2002(8):30. (in Chinese)

[2] 张国强.“四位一体”农村能源生态模式技术[J].农家参谋,2002(2):19.
Zhang G Q. “Four in one” ecological model technology of rural energy [J]. Staff of Farm, 2002(2):19. (in Chinese)

[3] 党常英,张兴东.“四位一体”种养生态模式的应用[J].可再生能源,2004,115(3):53-54.
Dang C Y, Zhang X D. Application of “Four-in-one” eco-agricultural model [J]. Renewable Energy, 2004, 115(3):53-54. (in Chinese)

[4] 常毓英,王全英.“四位一体”生态温室前景广阔[J].农业科技通讯,1999,4:27.
Chang Y Y, Wang Q Y. “Four in one” ecological greenhouse with wide culture prospect [J]. Agricultural Technology Communication, 1999, 4:27. (in Chinese)

[5] 赵焕臣,许树柏,和金生.层次分析法——一种建议的新决策方法[M].北京:科学出版社,1986.
Zhao H C, Xu S P, He J S. Analytic Hierarchy Process—— A new approach of decision making [M]. Beijing: Science Press, 1986. (in Chinese)

[6] 周孟津,张榕林,蒯金印.沼气实用技术[M].北京:化学工业出版社,2004:34-39.
Zhou M J, Zhang R L, Lin J Y. Practical technology of biogas [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 34-39. (in Chinese)

- [7] 齐玉春,陈端生.我国东部淮河以北地区节能型日光温室蔬菜生产的气候分区[J].农业工程学报,1998,14(增刊):42-47.
Qi Y C, Chen D S. The climatic regionalization for vegetable production in energy-saving solar greenhouse north of Huaihe River in eastern of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14 (Supplement): 42-47. (in Chinese)
- [8] 周长吉.对我国“十五”温室产业发展的建议[C].发展中的中国工厂化农业可持续发展论文集.北京:北京出版社,2000.
Zhou C J. Suggestion on development of “tenth five” greenhouse industry in China [C]. Symposium of the development of China factory agriculture sustainable development. Beijing: Beijing Press, 2000. (in Chinese)
- [9] 陈端生.我国若干地区加温温室总耗煤量的计算[J].园艺,1984,3-4:25-29.
Chen D S. Calculation of coal consumption in the heating greenhouse in China [J]. Horticulture, 1984, 3-4: 25-29. (in Chinese)
- [10] 陈端生,徐师华,刘步洲.我国加温温室蔬菜合理布局的探讨[J].农业工程学报,1985,1(2):36-42.
Chen D S, Xu S H, Liu B Z. A study of on optical distribution of heating greenhouse in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1985, 1 (2): 36-42. (in Chinese)
- [11] 张纪增.日光温室栽培区的划分[J].农村实用工程技术,1991(3):12.
Zhang J Z. Study on the division of solar greenhouse cultivation area in China [J]. Rural Practical Engineering Technology, 1991(3): 12. (in Chinese)
- [12] 崔读昌.中国农业气候学[M].杭州:浙江科学技术出版社,1999.
Cui D C. China agricultural climatology [M]. Hangzhou: Science and Technology of Zhejiang China Press, 1999. (in Chinese)
- [13] 吕国华,汪洪礼,史为民,等.新疆节能日光温室发展区划与结构优化探讨[J].农业工程学报,1996,12(增刊):48-51.
Lu G H, Wang H L, Shi W M, et al. Study on development regionalization and structure optimization of energy saving solar greenhouse in Xinjiang China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12 (Supplement): 48-51. (in Chinese)
- [14] 邱仲华,康永颖,王捷,等.甘肃高效节能日光温室区划初报[J].农业工程学报,1996,12(增刊):143-144.
Qiu Z H, Kang Y J, Wang J, et al. Preliminary report on regionalization of efficient energy saving solar greenhouse in Gansu China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12 (Supplement): 143-144. (in Chinese)
- [15] 齐玉春,陈端生.我国东部淮河以北地区节能型日光温室蔬菜生产的气候区划风险初探[J].农业工程学报,1998,14(增刊):32-36.
Qi Y C, Chen D S. Elementarily probing into risks of the climatic regionalization for vegetable production in energy-saving solar greenhouse north of Huaihe River in eastern of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14 (Supplement): 32-36. (in Chinese)
- [16] 汪李平,向长萍.我国节能型日光温室的气候区划[J].农业工程学报,1998,14(增刊):36-40.
Wang L P, Xiang C P. The climatic regionalization of energy-saving solar greenhouse in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14 (Supplement): 36-40. (in Chinese)
- [17] 姜来岭,隋艳梅,唐高霞.蔬菜的需水特性与灌溉方式[J].吉林农业,2004,172(6):21.
Jiang L L, Sui Y M, Tang G X. Water requiring property and irrigation method of vegetable [J]. Jilin Agriculture, 2004, 172 (6): 21. (in Chinese)
- [18] 孙霞,尹林克,孟林,等.塔河中下游退耕适宜性评价的指标体系及其权重[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):169-173.
Sun X, Yin L K, Meng L, et al. The suitability assessment index system of reverting farmland in middle and lower reaches of Tarim River [J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2004, 22 (2): 169-173. (in Chinese)
- [19] 许树柏.实用决策方法——层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1986:6-22.
Xu S B. Practical decision method——The Analytic Hierarchy Process-AHP [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1986: 6-22. (in Chinese)
- [20] 马立平.层次分析法[J].北京统计,2000(7):38-39.
Ma L P. The analytic hierarchy process [J]. Beijing Statistics, 2000 (7): 38-39.