

基于灰色关联度的AHP权重矩阵构建方法改进 及在农地评价中的应用

汪权方^{1,2}, 晏群³, 徐慧¹, 王新生^{1,2}, 张景雄⁴, 李兆华^{1,2}, 陈志杰¹

(1. 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062; 2. 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062;
3. 湖北省农业资源区划办, 武汉 430071; 4. 武汉大学测绘学院, 武汉 430079)

摘要:合理确定评价指标的权重是准确测度农业土地资源可持续利用能力的关键所在。本文依据灰色关联度对层次分析法(AHP)中判断矩阵的构建方法进行了改进,并获取各项评价指标的权重。在此基础上,分别采用多目标线性加权函数综合评价模型和障碍因子诊断模型,对2001-2012年湖北省枣阳市的农业土地资源可持续利用水平及其制约因素进行评估和辨析。结果显示:基于灰色关联分析法(GRA)改进后的AHP方法在确定指标权重时不仅能有效降低主观赋权的影响,也可避免熵值法等客观赋权法所存在的弊端;地均农业生产总值、人均耕地面积、化肥使用强度、有效灌溉面积、年降水量、人均GDP和农村居民家庭人均纯收入是制约枣阳市农业土地资源可持续利用的最主要因素,但在不同年份各因素的阻碍度表现不一。2001年以来,枣阳市农业土地资源利用的社会经济可持续性水平较高,综合可持续利用水平指数整体上呈增加的态势;但在生态可持续方面,2006年之后不仅明显低于之前年份,而且也显著低于同时期的社会经济可持续性。

关键词:农业土地资源;可持续利用能力;层次分析法;灰色关联分析法;障碍因子诊断;湖北省枣阳市

1 引言

土地作为人类生存和发展的基础,其能否可持续利用是人类生存和发展的关键。土地资源可持续性利用评价历来备受关注,其中,农业土地资源可持续利用水平的测度是该项研究的热点问题之一(傅伯杰等, 1997; 郑新奇等, 2000; 陈百明, 2002)。通过建立指标体系构建农业土地资源可持续利用评价模型,据此对区域农业土地资源利用状况进行定量评价,所得的结果不仅可以直观地展示该区域农业土地可持续利用过程中存在的问题、利用水平的高低等,而且能够明确该区域的农业土地利用模式是否具有可持续性。因此,在区域农业土地资源可持续利用水平测度中,定量方法得到了普

遍应用(王凌云, 2008; 赵艳等, 2011, Xu et al, 2014)。纵观该方面的既有研究,层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)的应用非常广泛(Bannai, 1998; Dai et al, 2001; 孙雁等, 2010; 张志, 2013; Chandio et al, 2014)。在层次分析法中,构建判断矩阵的关键在于如何合理确定各项评价指标的相对重要性(Vaidya et al, 2006),常用方法是专家咨询法(Delphi)(王凌云, 2008),即建立专家系统,请相关专家依据自身的经验对属于同一层次的各项评价指标通过两两比较方式来确定相对重要性。但专家咨询法实质上是一种主观赋权方法,当评价对象数目较多、指标体系较复杂时,往往会受到人的思维定势以及客观事物的复杂性或对事物认识的片面性等因素影响,从而导致通过两两比较的方式对每

收稿日期:2016-06;修订日期:2016-08。

基金项目:国家自然科学基金项目(41471375, 40601003);国家重大科学研究计划项目(2010CB950902);农业部—农业农村资源监测统计项目(06162130111242026) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41471375, No.40601003; National Basic Research Program of China, No.2010CB950902; Project of Agricultural and Rural Resources Monitoring of Ministry of Agriculture, China, No.06162130111242026]。

作者简介:汪权方(1974-),女,安徽枞阳人,博士,副教授,主要从事农情遥感和LUCC研究,E-mail: 326624352@qq.com。

引用格式:汪权方, 晏群, 徐慧, 等. 2016. 基于灰色关联度的AHP权重矩阵构建方法改进及在农地评价中的应用[J]. 地理科学进展, 35(10): 1249-1257. [Wang Q F, Yan Q, Xu H, et al. 2016. A modified Analytic Hierarchy Process method based on Grey Relation Analysis and its application in evaluating sustainability of agricultural land use in Zaoyang City, Hubei Province[J]. Progress in Geography, 35(10): 1249-1257.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.10.008

两个指标之间的重要程度进行判断出现困难(赵静等, 2000)。为克服Delphi法的主观赋权所带来的影响, 鄢然等(2012)采用熵值法这一客观赋权法来确定评价指标的权重。熵值法是通过计算各评价指标的信息熵, 根据指标数值之间的变化规律, 以指标数值之间的差异大小来衡量各指标对系统的影响, 从而在确定权重时能够减少主观赋权所带来的影响(鄢然等, 2012), 但是这种客观赋权法不仅舍弃了层次分析法最显著的内在优势——“把判断各要素相对重要性的步骤留给了人脑, 从而能够处理许多传统的最优化技术无法解决的实际问题”(赵静等, 2000), 同时也没有考虑到农业土地资源可持续利用能力评价系统实际上是一个灰色系统, 位于同一层次各评价因素之间并不是相互独立的, 它们之间的关系往往呈现较强的不确定性和模糊性, 因此, 单纯依据各评价指标信息熵的数值大小、完全抛弃人(专家)的认知过程来确定各指标权重的做法显然走入了“名义客观、事实上背离客观”的误区。

灰色关联分析法(Grey Relation Analysis, GRA)是灰色系统理论体系的核心内容之一(邓聚龙, 1990)。鉴于土地可持续利用综合评价系统是一个灰色系统, 鄢然等(2012)和赵旭等(2013)曾将GRA方法单独或与AHP方法结合进行土地资源可持续利用评价, 但是他们亦使用了熵值法来确定各评价指标的初始权重。另外, GRA法与AHP方法不同, 它通过建立整体比较机制来克服两两比较的局限性; 在灰色关联空间中, 可辨别系统因子的权重, 确定因子的序化关系, 划分系统主行为(邓聚龙, 1990)。因此, 利用GRA法与Delphi法相结合所形成的组合赋权法来建立判断矩阵并确定评价指标的相对重要性, 无疑能使AHP的评价结果更具科学性和准确性, 实现主观性与客观性的有机统一。

鄂北岗地是湖北省重要的粮棉油生产基地, 但由于区域内固有的气象气候、水文地貌和经常性的干旱等因素的影响, 使得该地区在农业土地资源的利用广度和深度以及农业生产的可持续发展等方面都受到了较大的限制(袁本华, 2005)。对于鄂北岗地农业土地资源的利用状况, 迄今尚无可持续性评价研究。基于此, 本文将在前人相关研究的基础上, 以在鄂北岗地农业土地资源利用方面具有高度代表性的枣阳市为研究对象, 探索一种将GRA和Delphi法相结合的组合赋权法及其在合理确定指标权重中的具体应用, 从而实现AHP法的改进, 在

此基础上进行枣阳市农业土地资源整体利用水平的定量评价, 以及农业土地资源可持续利用的障碍因子诊断。

2 评价指标体系的构建

农业土地资源(简称农地)具有经济性、社会性和资源性; 可持续理论包含经济可持续性、生态可持续性以及社会可持续性, 因此在构建农业土地资源可持续利用评价指标体系时需要将二者综合考虑(王凌云, 2008)。

本着科学性、系统性、动态性和可操作性的原则, 结合鄂北岗地和枣阳市的实际情况, 以农业土地资源可持续利用能力作为目标层(A), 构建基于农地产出可持续性(B_1)、资源投入可持续性(B_2)、生态环境可持续(B_3)和社会经济可持续性(B_4)4个准则层的枣阳市农业土地资源可持续利用能力评价指标体系(表1)。各项指标值或直接来源于《枣阳市统计年鉴》(2001-2013), 或根据年鉴中的相关数据计算得到。另外, 依据各指标与农业土地资源可持续利用之间的关系, 将所有评价指标分为以下3类: ①正作用指标, 即“该指标值的大小与农业土地资源可持续利用是正相关关系”, 例如人均耕地面积、有效灌溉面积、地均农业生产总值等, 其值越大, 可持续利用水平越高; ②负作用指标, 即“该指标值的大小与农业土地资源可持续利用是负相关关系”, 例如化肥使用强度、农村居民恩格尔系数等, 其值越大, 可持续利用水平越低; ③适度型指标, 即该类型的指标值不宜过大也不宜过小, 如年降水量等, 否则会削弱农业土地资源的可持续利用能力。

3 评价方法及其应用

3.1 评价指标的权重确定

为合理确定AHP递阶层次分析结构中各评价指标的相对重要性, 采用GRA法对AHP法进行改进。基本思路为: 首先请相关专家从位于同一层次的所有评价指标中选出一个主指标作为参考数列, 例如对于准则层中的农地产出可持续性(B_1)选取“地均农业生产总值”(C_{11})作为主指标; 然后分别计算各主指标与同一层次中其他指标之间的灰色关联度, 相关专家再依据关联度的计算结果, 采用1-9标度法(Vaidya et al, 2006)来确定各评价指标的相

表1 枣阳市农业土地资源可持续利用能力评价指标体系

Tab.1 Evaluation system of sustainable agro-land use in Zaoyang City of Hubei Province

目标层	准则层	指标层	指标性质	指标计算方法
区域农业土地资源可持续利用能力 (A)	农地产出可持续性(B ₁)	C ₁₁ 地均农业生产总值/(万元/hm ²)	正向型	农业生产总值/土地面积
		C ₁₂ 人均粮食产量/(kg/人)	正向型	粮食总产量/人口数
		C ₁₃ 耕地的粮食产出/(kg/hm ²)	正向型	粮食产量/耕地面积
		C ₁₄ 农业占 GDP 的比重/%	适度型	第一产业产值/地区生产总值
		C ₁₅ 农林牧渔业增加值/万元	正向型	—
	资源投入可持续性(B ₂)	C ₂₁ 人均耕地面积/(hm ² /人)	正向型	耕地面积/人口数
		C ₂₂ 化肥使用强度/(kg/hm ²)	负向型	化肥使用量/耕地面积
		C ₂₃ 农业机械化水平/(kW/hm ²)	正向型	农机总动力/耕地面积
		C ₂₄ 农业从业人员比重/%	适度型	农业从业人员数/人口总数
		C ₂₅ 耕地复种指数/%	适度型	农作物总播种面积/耕地面积
	生态环境可持续性(B ₃)	C ₃₁ 有效灌溉面积/hm ²	正向型	—
		C ₃₂ 森林覆盖率/%	正向型	—
		C ₃₃ 年降水量/mm	适度型	—
		C ₃₄ 土地垦殖率/%	适度型	耕地面积/土地总面积
		C ₃₅ 耕地面积波动系数/%	负向型	相邻年份的耕地面积变化绝对值/上一年度耕地面积
	社会经济可持续性(B ₄)	C ₄₁ 农村居民人均纯收入/元	正向型	—
		C ₄₂ 人均 GDP/元	正向型	—
		C ₄₃ 人口自然增长率/%o	适度型	—
		C ₄₄ 农村居民恩格尔系数/%	负向型	—
		C ₄₅ 人口密度/(人/km ²)	适度型	人口数/土地面积

对重要性,并构建判断矩阵;最后,通过判断矩阵逐层计算各项指标对相应上一层(准则层和目标层)重要性的赋值结果,最终得到各项指标相对总目标的权重系数。

3.1.1 指标层的灰色关联度计算

分别选取地均农业生产总值、人均耕地面积、有效灌溉面积和农村居民家庭人均纯收入作为对应准则层下的主指标;利用这些主指标及与各主指标位于同一层次的其他指标 2000-2012 年间的历年统计值即可分别形成参考序列和比较序列;然后再采用均值化法对这 2 个待分析序列进行无量纲化处理。利用无量纲化结果,采用面向多元单序列的灰色关联度计算公式(邓聚龙, 1990),得到分准则层下各项主指标与其他指标之间的灰色关联度(表 2)。

3.1.2 指标层的判断矩阵构建及权重确定

根据灰色关联度的评价结果,由相关专家采用 1-9 标度法对属于同一层次的各项评价指标判定相对重要性,形成判断矩阵。为鉴别判断矩阵的可接受性,利用一致性指标(CI)和平均一致性指标(RI)的比值CR进行一致性检验(赵静等, 2000)。依据判断矩阵,可得各指标对应准则层(B)的权重W_c(表 3)。

表2 枣阳市农业土地资源可持续利用能力评价指标间的灰色关联度

Tab.2 Grey correlation degrees between different indices in the evaluation system of sustainable agro-land use in Zaoyang City of Hubei Province

	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
C ₁₁	0.83	0.80	0.60	0.91
	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
C ₂₁	0.78	0.48	0.53	0.90
	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₄	C ₃₅
C ₃₃	0.891	0.882	0.882	0.689
	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅
C ₄₁	0.81	0.79	0.63	0.65

3.1.3 准则层权重的确定

农地产出可持续、资源投入可持续、生态环境可持续和经济社会可持续是农业土地资源可持续利用系统的重要组成部分,共同构成一个统一整体,若过分强调某一方面的持续性则有可能破坏其他方面的持续性。因此,4个准则层(农地产出可持续性B₁、资源投入可持续性B₂、生态环境可持续B₃和社会可持续性B₄)的重要性应该是相等的(王凌云, 2008),它们对应于目标层A的权重W_B都等于0.25。

3.1.4 各项指标对应于目标层的权重

利用式(1)计算各项指标对应于目标层*A*的权重(*W*),所得结果见表4。

$$W=W_B\times W_C \tag{1}$$

式中:*W_C*为各项评价指标对应于准则层*B*的权重;*W_B*为各准则层对应于目标层*A*的权重(在本文中均等于0.25)。

3.2 综合评价模型的构建

依照上述指标体系及权重的层次划分,采用多目标线性加权法(王凌云, 2008)逐级计算农业土地资源分项可持续利用水平(农地产出可持续性、资源投入可持续性、生态环境可持续性、社会经济可持续性)和农业土地资源综合可持续利用水平,具体计算公式为:

$$Z_t=\sum W_j\times X_{jt} \tag{2}$$

$$X_{jt}=\sum U_{ij}\times Z_{it} \tag{3}$$

式中:*Z_t*是第*t*年农业土地资源可持续利用水平的综合评定结果;*W_j*是第*j*个子系统相对于总目标层次的权重;*X_{jt}*是第*j*个子系统第*t*年的可持续发展综合评定系数;*U_{ij}*是子系统*j*中第*i*项指标的权重;

*Z_{it}*是第*i*项指标在第*t*年的评价系数。

由式(2)-(3)可知,*W_j*、*U_{ij}*和*Z_{it}*是获取农业土地资源可持续利用水平评价系数的3个关键因子。从*W_j*和*U_{ij}*的定义来看,本文中的*W_j*是指各准则层的权重,*U_{ij}*按照式(1)进行计算,而*Z_{it}*的计算方法取决于评价指标与农业土地资源可持续利用之间的关系:若评价指标属于正作用指标,则按式(4)进行计算;若属于负作用指标,则按式(5)计算;若属于适度型指标,那么当这类指标的实际值小于目标值时,采用适于正作用指标的式(4),反之则采用适于负作用指标的式(5)进行计算。

$$Z_{it}=C_{it}/C_{i,t-1} \tag{4}$$

$$Z_{it}=C_{i,t-1}/C_{it} \tag{5}$$

式中:*C_{it}*和*C_{i,t-1}*分别是第*i*项指标在第*t*年和*t-1*年的统计值。

依据上述方法,以2001年为基准,可得出枣阳市历年的农业土地资源可持续利用能力的评价结果(表5)。

3.3 障碍因子诊断

农业土地资源可持续利用能力评价的最终目的在于改变农业发展过程中不合理的土地利用行为,从而为农业可持续发展奠定坚实基础。利用上述综合评价模型所得到的评价结果只能体现研究区域农业土地资源的可持续利用状况,并不能直观地反映区域内农业土地资源可持续利用的阻碍因素(肖梅等, 2015)。障碍因子诊断模型是通过综合考虑每项评价指标的现实值与其目标值之间的差距以及各指标对总目标的贡献度,从而找出阻碍研究区域农业土地资源可持续利用的主要因素(张志, 2013; 刘柠源, 2015)。该模型由3个部分组成:“因子贡献度”“指标偏离度”和“障碍度”。其中:因子贡献度表示单项因素对总目标的影响程度;指标偏离度是指评价指标的实有值与其目标值之间的差距;障碍度表示各项指标对区域农业土地资源可持续性利用能力的影响大小,其计算公式为:

表3 各项指标相对准则层的权重
Tab.3 Weights of evaluation factors to principal level in Analytic Hierarchy Process

农地产出可持续性 <i>B₁</i>					
	<i>C₁₁</i>	<i>C₁₂</i>	<i>C₁₃</i>	<i>C₁₄</i>	<i>C₁₅</i>
权重	0.391	0.166	0.273	0.093	0.077
资源投入可持续性 <i>B₂</i>					
	<i>C₂₁</i>	<i>C₂₂</i>	<i>C₂₃</i>	<i>C₂₄</i>	<i>C₂₅</i>
权重	0.408	0.238	0.166	0.062	0.126
生态环境可持续 <i>B₃</i>					
	<i>C₃₁</i>	<i>C₃₂</i>	<i>C₃₃</i>	<i>C₃₄</i>	<i>C₃₅</i>
权重	0.316	0.081	0.385	0.166	0.052
社会可持续性 <i>B₄</i>					
	<i>C₄₁</i>	<i>C₄₂</i>	<i>C₄₃</i>	<i>C₄₄</i>	<i>C₄₅</i>
权重	0.378	0.304	0.056	0.110	0.152

表4 各评价指标相对总目标的权重
Tab.4 Weights of evaluation factors to objective level in Analytic Hierarchy Process

	<i>C₁₁</i>	<i>C₁₂</i>	<i>C₁₃</i>	<i>C₁₄</i>	<i>C₁₅</i>	<i>C₂₁</i>	<i>C₂₂</i>	<i>C₂₃</i>	<i>C₂₄</i>	<i>C₂₅</i>
权重 <i>W_i</i>	0.098	0.042	0.068	0.023	0.019	0.102	0.059	0.042	0.016	0.031
排序	2	10	7	15	17	1	8	11	18	13
	<i>C₃₁</i>	<i>C₃₂</i>	<i>C₃₃</i>	<i>C₃₄</i>	<i>C₃₅</i>	<i>C₄₁</i>	<i>C₄₂</i>	<i>C₄₃</i>	<i>C₄₄</i>	<i>C₄₅</i>
权重 <i>W_i</i>	0.079	0.02	0.096	0.042	0.013	0.095	0.076	0.014	0.027	0.038
排序	5	16	3	9	20	4	6	19	14	12

$$D_{ij,t} = 1 - Y_{ij,t} \tag{6}$$

$$H_{ij,t} = (D_{ij,t} \times U_{ij}) / \sum (D_{ij,t} \times U_{ij}) \tag{7}$$

式中： $D_{ij,t}$ 为第 t 年第 j 个子系统中第 i 项评价指标的偏离度； $H_{ij,t}$ 为第 t 年第 j 个子系统中第 i 项评价指标的障碍度系数，其值越大，对总目标的阻碍力越强； U_{ij} 为第 j 个子系统中第 i 项评价指标相对目标层的权重； $Y_{ij,t}$ 为第 t 年第 j 个子系统中第 i 项评价指标的极值标准化值，计算公式如下：

$$Y_{ij,t} = (C_{ij,t} - \min C_{ij,t}) / (\max C_{ij,t} - \min C_{ij,t}) \tag{8}$$

式中： $C_{ij,t}$ 是第 t 年第 j 个子系统第 i 项指标的原始值。

根据式(6)-(8)，结合表4中各评价指标对总目标的影响程度(权重)，可以求得每年每个评价指标的障碍度系数。表6是按照障碍度系数从大到小的顺序，对2001-2012年阻碍枣阳市农业土地资源可

持续利用能力的主要因素进行筛选后所得的结果。

4 结果与分析

4.1 农业土地资源可持续利用水平分析

2001-2012年枣阳市的农业土地资源可持续利用综合水平整体上呈上行态势，至2012年该项指标增长到0.5388，约为2001年的2倍，可见该市对农业土地资源综合利用的能力明显增强。在此期间，农地产出和社会经济可持续性也有明显增长，并且在2005年之前，这两项指标都略低于农业土地资源可持续利用的综合水平；2005年之后，该市农业土地资源利用的社会经济可持续性显著提升，明显超过农业土地资源可持续利用综合水平(表6、图1)，其原因主要在于枣阳市的人均GDP和农村居民家

表5 2001年以来枣阳市农业土地资源可持续利用能力评价结果
Tab.5 Result of sustainable agro-land use evaluation in Zaoyang City of Hubei Province since 2001

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年
农地产出可持续性 B_1	0.25	0.26	0.23	0.28	0.29	0.30	0.36	0.40	0.43	0.44	0.52	0.61
资源投入可持续性 B_2	0.25	0.24	0.24	0.24	0.25	0.28	0.29	0.31	0.32	0.33	0.33	0.33
生态环境可持续性 B_3	0.25	0.38	0.33	0.43	0.48	0.29	0.35	0.36	0.36	0.30	0.29	0.33
经济社会可持续性 B_4	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.37	0.41	0.46	0.51	0.59	0.80	0.89
农业土地资源可持续利用水平 A	0.25	0.29	0.27	0.31	0.34	0.31	0.35	0.38	0.40	0.42	0.48	0.54

表6 2001-2012年枣阳市农业土地资源可持续利用的主要阻碍因素
Tab.6 Main obstacles of sustainable agro-land use in Zaoyang City of Hubei Province, 2001-2012

2001年		2002年		2003年		2004年		2005年		2006年	
因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%
C_{11}	13.25	C_{11}	13.19	C_{21}	12.86	C_{21}	13.94	C_{21}	14.64	C_{31}	13.23
C_{23}	12.83	C_{41}	12.90	C_{11}	11.87	C_{11}	11.83	C_{11}	13.09	C_{11}	11.48
C_{21}	10.73	C_{21}	11.47	C_{41}	11.60	C_{41}	11.75	C_{41}	12.87	C_{41}	10.87
C_{33}	10.30	C_{42}	10.34	C_{42}	9.19	C_{42}	9.69	C_{42}	10.56	C_{21}	10.52
C_{14}	8.05	C_{33}	8.08	C_{13}	8.60	C_{33}	6.49	C_{13}	6.88	C_{42}	9.02
C_{34}	6.92	C_{22}	6.19	C_{33}	6.27	C_{22}	6.38	C_{22}	6.82	C_{33}	7.97
C_{15}	6.40	C_{13}	5.87	C_{22}	6.19	C_{13}	6.34	C_{45}	5.81	C_{22}	7.43
C_{31}	5.63	C_{34}	5.75	C_{12}	5.23	C_{45}	5.19	C_{23}	5.14	C_{13}	5.29
2007年		2008年		2009年		2010年		2011年		2012年	
因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%	因子	障碍度/%
C_{11}	11.72	C_{11}	11.22	C_{33}	13.47	C_{33}	15.66	C_{33}	29.70	C_{33}	34.31
C_{41}	11.67	C_{41}	10.95	C_{31}	12.33	C_{11}	12.63	C_{11}	10.65	C_{44}	15.60
C_{21}	11.58	C_{31}	10.90	C_{42}	11.54	C_{42}	11.37	C_{14}	9.24	C_{14}	13.25
C_{31}	10.82	C_{21}	10.66	C_{11}	11.43	C_{22}	11.35	C_{41}	7.57	C_{32}	11.44
C_{42}	10.16	C_{42}	10.54	C_{41}	11.31	C_{41}	9.28	C_{25}	6.81	C_{24}	8.80
C_{22}	8.12	C_{22}	8.96	C_{22}	10.41	C_{25}	7.15	C_{24}	6.60	C_{35}	6.92
C_{33}	6.48	C_{33}	8.21	C_{25}	7.03	C_{45}	5.52	C_{44}	6.38	C_{25}	6.84
C_{45}	6.18	C_{45}	4.47	C_{14}	3.67	C_{31}	5.05	C_{21}	5.41	C_{22}	1.85

庭人均纯收入自2005年以来都持续大幅度增加。

就资源投入可持续性而言,自2000年以来,枣阳市虽然在农业机械化水平和化肥使用强度方面有明显提高,但农业从业人员所占的比重则明显下降,人均耕地面积和耕地复种指数在多数年份有所减少但变化幅度很小。在这些因素的共同作用下,该市的资源投入可持续性指数比较稳定,年际变化幅度都在5%的范围内(表6、图1)。

在生态环境可持续性方面,自2006年以来,枣阳市农业土地资源利用的生态环境可持续性指数不仅表现出较明显降低的趋势,并且低于该市农业土地资源的可持续利用综合水平;而在2006年之前,枣阳市农业土地资源的生态环境可持续利用指数则明显高于包括农地产出可持续性等在内的其他所有的可持续性指数(表6、图1)。另外,枣阳市水资源本来就匮乏,年降水量是制约该市农业土地资源可持续利用水平的主要生态因素,但从2009年开始,年降水量严重偏少,只有710 mm甚至更少(例如2011年仅590.1 mm),从而造成该市农业土地资源利用的生态环境可持续性指数不仅显著偏低,并且明显低于农地产出可持续性和社会经济可持续性。这一结果表明:枣阳市在现阶段更注重农业产出和社会经济的发展,农业土地质量和生态环境的持续发展则处于次要地位,土地开发利用的“生态优先”理念未能得到落实。然而,农业资源利用必须是与农业发展(经济效益)、农业生态环境整体性维持(生态效益)和农村社会发展(社会效益)三大效益均衡和协调的发展,从而来推动建立良性循环的农业资源高效利用机制(王国刚, 2012)。如果农

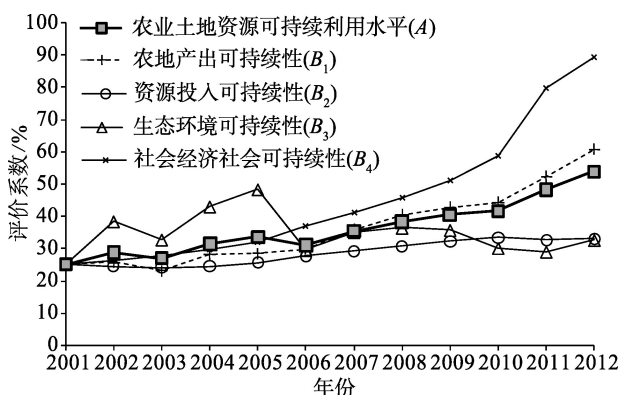


图1 2001-2012年枣阳市农业土地资源可持续利用能力综合评价

Fig.1 Sustainability of agro-land use in Zaoyang City of Hubei Province, 2001-2012

业土地资源利用只重视经济效益,而忽视社会效益和生态效益,反过来必将制约农业的进一步发展。

4.2 农业土地资源可持续利用的主要制约因素

从障碍度系数计算结果来看(图2),2001-2012年间对枣阳市农业土地资源可持续利用能力发展产生较大阻力的因素为障碍度系数大于5%的因素,包括地均农业生产总值(C_{11})、人均耕地面积(C_{21})、化肥使用强度(C_{22})、有效灌溉面积(C_{31})、年降水量(C_{33})、农村居民家庭人均纯收入(C_{41})和人均GDP(C_{42})等,其中地均农业生产总值(C_{11})、人均耕地面积(C_{21})、年降水量(C_{33})和农村居民家庭人均纯收入(C_{41})长期以来一直是最主要阻碍因素。不过,在不同年份上述因子的阻碍程度并不相同(表6)。例如,地均农业生产总值对枣阳市2001-2012年农业土地资源可持续利用能力发展的阻碍程度一直高于10%;年降水量在2009-2012年间对研究区域农业土地资源可持续利用能力发展的障碍度始终大于其他因素,甚至在2012年高达34.31%;但在其他年份,年降水量(C_{33})的障碍度系数基本上都小于地均农业生产总值(C_{11})、人均耕地面积(C_{21})、农村居民家庭人均纯收入(C_{41})和有效灌溉面积(C_{31})。

5 结论与讨论

5.1 结论

合理确定各项评价指标的相对重要性是AHP法中判断矩阵构建的关键环节。采用灰色关联度对AHP中指标层的判断矩阵构建和指标权重计算方法进行改进,既可克服单纯使用Delphi法确定指标权重时存在的主观赋权影响,也可避免熵值法等客观赋权法在确定指标权重时,因仅仅依据各评价指标信息熵的数值大小而难以反映实际情况的弊端。本文利用基于GRA改进后的AHP权重确定方法,结合多目标线性加权法对地处鄂北岗地的枣阳市农业土地资源可持续利用水平进行了综合评价,评价结果较好地契合了该市自2000年以来农业土地资源开发利用的实际状况。目前,枣阳市农业土地资源利用的社会经济可持续性水平较高,农业土地资源可持续利用能力的整体发展态势良好。不过,这种态势是建立在农业土地资源利用的生态可持续能力指数较低、“生态优先”的开发利用模式缺失、干旱频发而导致区域水资源供需矛盾日趋严峻的基础之上,长此以往必将不可持续。因此,枣阳

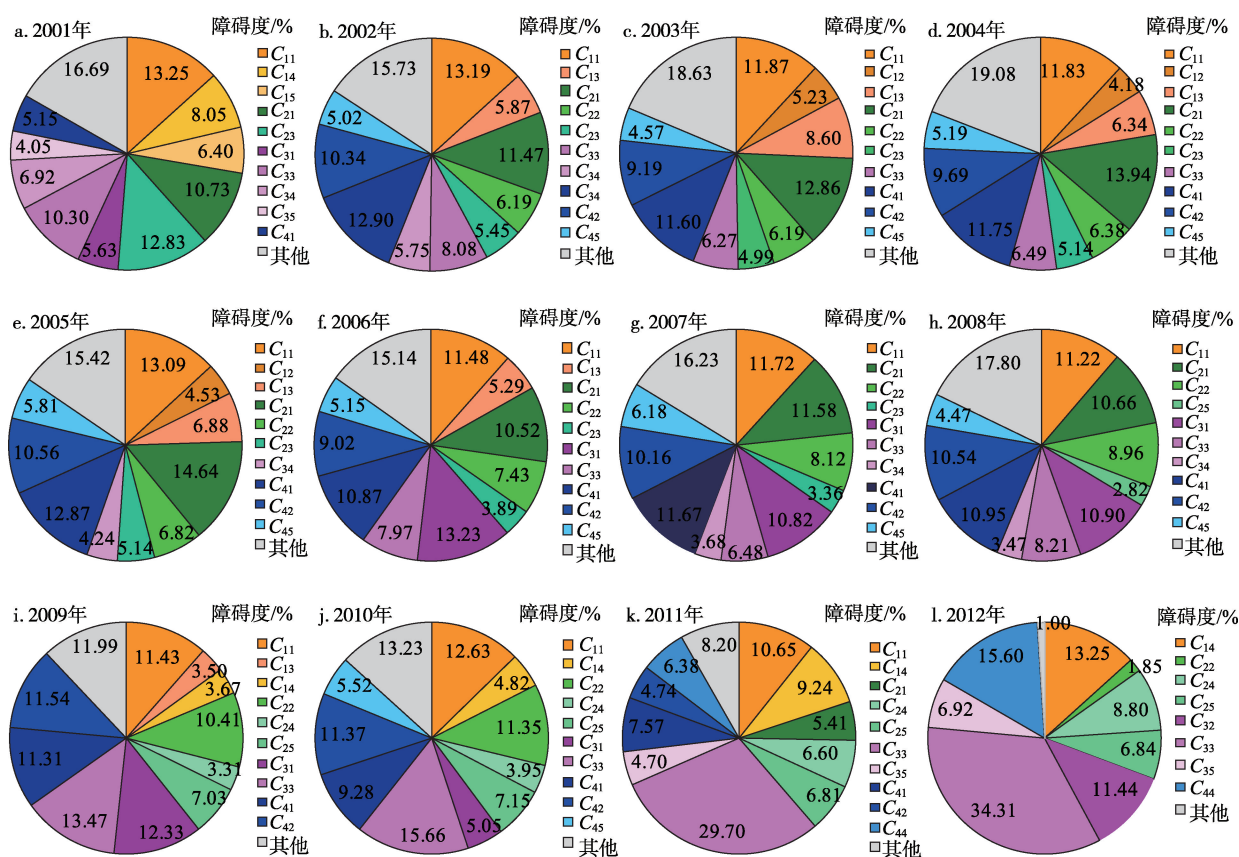


图2 2001-2012年枣阳市农业土地资源可持续利用的主要制约因素及其障碍度系数的年际变化

Fig.2 Drag coefficients of main obstacles for sustainable agro-land use in Zaoyang City of Hubei Province, 2001-2012

市要克服上述农业土地资源开发利用的局限性,亟需改变“注重农业的产出和经济发展,而把农业土地质量和生态环境的持续发展置于次要地位”的社会经济发展理念。

农业土地资源可持续利用水平的评价结果主要反映区域农业土地资源的可持续利用状况,并不能确定区域内农业土地资源可持续利用的阻碍因素。本文利用GRA与Delphi法相结合而获得各指标对总目标的贡献度来建立障碍因子诊断模型,并据此对研究区域在不同时期农业土地资源可持续利用的主要制约因素进行了识别。枣阳市农业土地资源可持续利用水平是多种因素共同作用的结果,但各因子所起的作用和阻碍程度并不相同。总体来看,地均农业生产总值、人均耕地面积、化肥使用强度、有效灌溉面积、年降水量、人均GDP和农村居民家庭人均纯收入是制约枣阳市2001-2012年农业土地资源可持续利用能力发展的最主要因素,其中,年降水量减少是枣阳市在2009年以后农业土地资源可持续利用面临的最大障碍,地均农业生产总值对2001-2012年间农业土地资源可持续利用能力

的阻碍程度高于10%。

5.2 讨论

本文提出将灰色关联度与Delphi法相结合的组合赋权法应用于基于AHP的农业土地资源可持续利用能力评价,其初衷是既减轻层次分析法中主观赋权所带来的人为影响,同时又可避免“客观赋权法”难以兼顾农业土地资源可持续利用能力评价系统实际上是一个灰色系统,而客观赋权的结果难以真实反映实际情况的弊端。但依据灰色关联度的计算结果,只能对属于同一层次的各项评价指标之间的重要性进行相对的判定,并没有确定灰色关联度的数值与1-9标度法中各个标度值之间的一一对应关系,由此导致相关专家在参考灰色关联度来确定各评价指标的具体标度值时,仍需要借助一定的主观经验。此外,土地的自然属性如土壤性状等对农业土地资源的可持续利用能力会产生一定的影响,但由于长时段的土地资源自然属性方面的数据资料难以获取,因而未将该类指标纳入研究区域农业土地资源的可持续利用能力评价指标体系。未来需进一步研究和明确灰色关联度与标度值之

间的对应关系以及研究区内土壤自然属性与农业土地资源可持续利用能力之间的关联程度,以使得AHP的评价结果更具科学性和准确性,最终实现主观性与客观性的有机统一。

参考文献(References)

- 邓聚龙. 1990. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社. [Deng J L. 1990. Huise xitong lilun jiaocheng[M]. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology Press.]
- 陈百明. 2002. 区域土地可持续利用指标体系框架的构建与评价[J]. 地理科学进展, 21(3): 204-215. [Chen B M. 2002. Design and evaluation of indicator system of regional land for sustainable use[J]. Progress in Geography, 21(3): 204-215.]
- 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 1997. 土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 自然资源学报, 12(2): 112-118. [Fu B J, Chen L D, Ma C. 1997. The index system and method of land sustainable use evaluation[J]. Journal of Natural Resources, 12(2): 112-118.]
- 刘柠源. 2015. 武汉都市农业土地可持续利用评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学. [Liu N Y. 2015. Study on development of urban agriculture and sustainable land use in Wuhan[D]. Wuhan, China: Huazhong Normal University.]
- 孙雁, 刘友兆. 2010. 基于细碎化的土地资源可持续利用评价: 以江西分宜县为例[J]. 自然资源学报, 25(5): 802-810. [Sun Y, Liu Y Z. 2010. Evaluation of land use sustainability based on land fragmentation: A case on Fenxi County, Jiangxi Province[J]. Journal of Natural Resources, 25(5): 802-810.]
- 王国刚, 杨德刚, 张新焕, 等. 2012. 农业发展效益评价方法与案例研究[J]. 中国沙漠, 32(2): 580-585. [Wang G G, Yang D G, Zhang X H, et al. 2012. The evaluation method of agriculture performance and case study[J]. Journal of Desert Research, 32(2): 580-585.]
- 王凌云. 2008. 农业土地资源可持续利用水平综合评价研究[D]. 南京: 南京农业大学. [Wang L Y. 2008. Research on the comprehensive evaluation of sustainable utilization level of agricultural land resources[D]. Nanjing, China: Nanjing Agricultural University.]
- 肖梅, 王金洲. 2015. 湖北省农业循环发展综合评价及障碍度分析[J]. 长江大学学报: 社会科学版, 38(9): 38-43, 51. [Xiao M, Wang J Z. 2015. Hubeisheng nongye xunhuan fazhan zonghe pingjia ji zhang'ai du fenxi[J]. Journal of Yangtze University: Social Sciences, 38(9): 38-43, 51.]
- 鄢然, 雷国平, 孙丽娜, 等. 2012. 基于灰色关联法的哈尔滨市土地可持续利用评价研究[J]. 水土保持研究, 19(1): 154-158. [Yan R, Lei G P, Sun L N, et al. 2012. Evaluation on the sustainable land use in urban area of Harbin based on Grey Relation Analysis[J]. Research of Soil and Water Conservation, 9(1): 154-158.]
- 袁本华. 2005. 鄂北岗地农业经济持续发展战略探讨[J]. 湖北社会科学, (2): 55-57. [Yuan B H. 2005. Discussing the sustainable development strategy of agricultural economy in the upland of northern Hubei[J]. Social Sciences in Hubei, (2): 55-57.]
- 张志. 2013. 都市农业发展与土地可持续利用研究: 以武汉城市圈为例[D]. 武汉: 华中农业大学. [Zhang Z. 2013. Study on development of urban agriculture and sustainable land use: A case study of Wuhan Metropolitan Areas[D]. Wuhan, China: Huazhong Agricultural University.]
- 赵静, 但琦. 2000. 数学建模与数学实验[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社. [Zhao J, Dan Q. 2000. Mathematical modeling and mathematical experiments[M]. 3rd ed. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 赵旭, 叶剑平, 薛姝. 2013. 基于改进灰色关联分析法的湖南省城市土地可持续利用评价[J]. 水土保持通报, 33(3): 265-269, 324. [Zhao X, Ye J P, Xue S. 2013. Evaluation of urban land sustainable use in Hunan Province based on improved grey relational analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 33(3): 265-269, 324.]
- 赵艳, 濮励杰, 张健, 等. 2011. 基于三角模型的城市土地可持续利用评价: 以江苏省无锡市为例[J]. 经济地理, 31(5): 810-815, 838. [Zhao Y, Pu L J, Zhang J, et al. 2011. Triangle model evaluation of urban land sustainable use: A case study of Wuxi, Jiangsu[J]. Economic Geography, 31(5): 810-815, 838.]
- 郑新奇, 范纯增. 2000. 农业土地资源可持续利用水平评估研究: 以山东省为例[J]. 经济地理, 20(4): 97-100. [Zheng X Q, Fan C Z. 2000. Study on the evaluation of agricultural land sustainable use: A case of Shandong Province[J]. Economic Geography, 20(4): 97-100.]
- Banai R. 1998. Transit-oriented development suitability analysis by the analytic hierarchy process and a geographic information system: A prototype procedure[J]. Journal of Public Transportation, 2(1): 43-65.
- Chandio I A, Talpur M A H, Memon F A. 2014. Use of the analytic hierarchy process technique for land-use analysis[J]. Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, 33(4): 471-475.
- Dai F C, Lee C F, Zhang X H. 2001. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: A case study[J]. Engineering Geology, 61(4): 257-271.
- Vaidya O S, Kumar S. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications[J]. European Journal of Operational Research, 169(1): 1-29.
- Xu E Q, Zhang H Q, Yang Y, et al. 2014. Integrating a spatially explicit tradeoff analysis for sustainable land use optimal allocation[J]. Sustainability, 6(12): 8909-8930.

A modified Analytic Hierarchy Process method based on Grey Relation Analysis and its application in evaluating sustainability of agricultural land use in Zaoyang City, Hubei Province

WANG Quanfang^{1,2}, YAN Qun³, XU Hui¹, WANG Xinsheng^{1,2},
ZHANG Jingxiong⁴, LI Zhaohua^{1,2}, CHEN Zhijie¹

(1. School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China;
2. Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response (Hubei University), Wuhan 430062, China; 3. Agricultural Regional Planning Office of Hubei Province, Wuhan 430071, China;
4. School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Analytic Hierarchy Process (AHP) method has been widely applied to measure sustainability of agricultural land use by determining the weight of each evaluation factor. Delphi method was often used in existing AHP-based weight calculation of the evaluation factors. Delphi method is built on an expert weighting model and therefore difficult to avoid subjective judgment of experts. In this article, a modified AHP method is proposed to calculate the weight of each evaluation factor using the Grey Relation Analysis (GRA) method to solve the problem in using the Delphi method. Using Zaoyang City, a representative area in agricultural land use in northern Hubei Province, China, as the case study area, an evaluation system of sustainable agriculture land use was first established considering a hierarchy of levels including goals, rules, and criteria. The rule level consists of four aspects: agriculture land output sustainability, resource input sustainability, ecological sustainability, and socioeconomic sustainability. Second, experts chose one characteristic factor at the criterion level for each rule element to constitute reference variable sequence and the other factors in the same rule level to constitute comparative variable sequence in GRA. Third, grey relation coefficients were calculated between the characteristic factor and the other factors in the corresponding comparative variable sequence. In constructing a pairwise comparison matrix, experts gave each factor at criterion level a dominant value between 1 and 9 based on the grey relation coefficients. Then calculations were performed to find the satisfactory maximum Eigen value, consistency index CI, consistency ratio CR, and lastly, vectors of weights for factors at the criterion level were obtained, reflecting the relative importance of the various factors to the goal hierarchy in the AHP. Using the weights resulted from this procedure, sustainability of agricultural land use in Zaoyang City was calculated using a Multi-Objective Liner Functions Comprehensive Evaluation (MOLFCV) model, and the obstacles to sustainable agricultural land use in the city were identified. The results show that the sustainability of comprehensive land use of the city increased from 2001 to 2012 while the ecological sustainability of agriculture land resource use was strongly lower than the socioeconomic sustainability since 2006. The reason directly lies in the increasing use of chemical fertilizers and pesticides and the continual decline of annual precipitation in the farmland area. However, it was the lack of awareness and priority of ecological environment protection in the local agricultural land use that resulted in lower ecological sustainability than economic and social sustainability of agricultural land use in Zaoyang City. Moreover, obstacles for sustainable agriculture land use in Zaoyang City included suboptimal total agricultural output per hectare of land, per capita area of cultivated land, amount of fertilizer applied per hectare of cultivated land, effective irrigated area, annual precipitation, per capita GDP, and net income of rural households.

Key words: agricultural land resource; sustainability of land use; Analytic Hierarchy Process (AHP); Grey Relation Analysis (GRA); identification of obstacles; Zaoyang City of Hubei Province