

木合塔尔·艾买提, 肖鹏南, 徐 涛. 基于耗散结构理论的粮食生产系统发展状态分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 1043-1050.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.029

基于耗散结构理论的粮食生产系统发展状态分析

木合塔尔·艾买提¹, 肖鹏南², 徐 涛²

(1.喀什大学生命与地理科学学院, 新疆 喀什 844006; 2.华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 为评价湖北省粮食生产系统发展状态和影响因素, 基于熵值法和耗散结构理论, 建立了粮食生产系统正、负熵值计算指标体系。研究表明: ①湖北省粮食生产系统具有开放性、远离平衡性、熵流非线性、涨落现象等特征, 满足耗散结构理论条件。②2000–2016 年湖北省粮食生产系统内熵为 0.893, 外熵为 -0.905, 系统总熵 -0.012, 系统处于有序发展状态。③单位面积粮食产量是反映内熵的主要因素, 农民人均纯收入和政府粮食最低收购价是影响外熵的主要因素。④2000–2016 年湖北省粮食生产系统负熵不断增加, 系统总熵逐渐减小, 系统向有序态方向发展。⑤湖北省粮食生产能力不断提高, 2016 年湖北省生产的粮食能养活大约为 7×10^7 人。总之, 基于耗散结构理论的粮食生产系统发展状态判断结果较为科学、符合实际, 能准确地反映粮食生产系统的发展情况。

关键词: 粮食生产系统; 耗散结构理论; 熵值法

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-1043-08

Based on dissipative structure theory analysis about development status of grain production system

Muhtar · AMAT¹, XIAO Peng-nan², XU Tao²

(1. College of Life and Geography Sciences, Kashi University, Kashi 844006, China; 2. College of Urban & Environment Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: To evaluate the development status and influencing factors of grain production system in Hubei province, calculation index system of positive and negative entropy values for grain production system was established based on entropy method and dissipative structure theory. The results showed that, firstly, the grain production system of Hubei province had the characteristics such as openness, far from equilibrium state, nonlinear entropy flow, non-linearity and fluctuation, which met the theoretical conditions of dissipative structure. Secondly, the internal entropy of the grain production system in Hubei province was 0.893, the external entropy was -0.905 and the total entropy was -0.012 in 2000–2016, the grain production system was in an orderly development state. Thirdly, the grain production per unit area was the main factor reflecting internal entropy, the farmers' per capita net income and the governmental lowest purchasing price for grain were the main factors affecting external entropy. Fourthly, in 2000–2016, the negative entropy of grain production system in Hubei province increased continuously, the total entropy of the system decreased gradually and the system developed towards orderly state. Fifthly, the grain production capacity of Hubei province increased continuously. In 2016, grain produced in Hubei province could feed about 70 million people.

In conclusion, the development status of grain production system judged by the dissipative structure theory is relatively scientific and practical, which can reflect the development of the grain production system accurately.

Key words: grain production system; dissipative structure theory; entropy method

收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271534)

作者简介: 木合塔尔·艾买提(1982–), 男, 新疆喀什人, 博士, 副教授, 主要从事人文地理与资源环境评价等研究。(E-mail) muhtar99@sina.com

通讯作者: 肖鹏南, (E-mail) maikedang@mails.ccnu.edu.cn

粮食是人类赖以生存的物质基础,也是生产活动的产物之一。粮食生产是人类最基础的生产活动,粮食生产与自然和社会之间存在着复杂的关系。粮食与其所处的外部环境共同形成了粮食生产系统,粮食生产系统是开放,输入-输出层次分明,系统结构清晰,受到人文因素和自然因素的共同影响,不断地发生变化的社会系统。粮食生产系统是人地系统的一部分,它的发展情况能反应人口(P)、资源(R)、环境(E)和发展(D)的关系^[1]和发展状态。随着社会经济的发展,人口迅速膨胀,人类对粮食的需求不断增加,加之资源枯竭、生态失衡、环境恶化等问题,人地矛盾越来越突出^[2-3]。在这一大背景下,研究区域粮食生产系统发展情况和影响因素,具有十分重要的理论意义和实践价值。

耗散结构理论的创立人是比利时科学家普利高津。他认为:一个远离平衡的开放体系,通过与外界交换物质和能量,在外界条件变化达到一定阈值时,能从原来的无序状态变为时间、空间或功能的有序状态,这种非平衡条件下的、稳定的、有序的结构称为耗散结构^[4]。此后湛恩华等^[5]和刘瑞显等^[6]利用耗散结构理论解决了经济、社会、生态等实际问题,在现实生活中解决了与自然科学相关的难题,而且在社会经济系统也发挥了较好的作用。自 1978 年开始,耗散结构理论被中国学者所接受,应用于理论研究及实际应用,并提出新概念和新方法,丰富了耗散结构理论的内容。李慧明^[7]通过研究得出可采取提高资源开发利用的技术水平、资源循环使用等措施增加系统中的负熵流的结论。申维^[8]利用耗散结构、自组织、突变理论研究水资源、土地演变、生态系统发展等地球科学问题,认为耗散结构理论是研究系统可持续发展和演变情况的最好方法之一。杨国华等^[9]运用耗散结构理论研究半干旱生态区的生态建设,并得到形成复合生态系统的稳定层级结构。陈磊等^[10]等运用耗散结构理论分析了四川省耕地生态系统的生态安全级别与演变趋势,认为耕地系统是开放系统,其特征适合用耗散结构理论来分析和说明。此外,谷国锋等^[11]、程结晶等^[12]应用耗散结构理论研究系统形成与演化机制,阐述数据管理系统的有序发展状态。目前,对粮食生产系统发展及驱动力的分析方法主要集中在主成分分析法^[13]、系统生态学方法^[14]、趋势面分析方法^[15]、耦合协调分析法^[16]和系统动力学方法^[17]等,运用耗散结构理论分析粮食生产系统的研究比较少见。

耗散结构理论用于开放的输入-输出系统,理论内容清晰明了,计算步骤和方法较为简便,结果能较好地反应系统情况,因此,耗散结构理论现已被广泛应用于社会系统和城市系统的可持续发展、经济系统的发展、土地结构及生态效应、人与资源系统的协调性、水资源利用和分配、粮食生产系统结构的演化及农业可持续发展研究等领域^[18-19]。粮食生产系统的发展状态对国家和区域发展具有基础性影响,借鉴熵值法和耗散结构理论定量研究地域粮食生产系统的发展状况具有一定的科学价值。本研究运用耗散结构理论,评价湖北省粮食生产系统的发展状态,为区域可持续发展、保护耕地资源、处理人地关系、制定发展规划等方面提供科学依据。

1 研究方法

1.1 熵值法

德国物理学家克劳修斯于 1850 年首次提出熵的概念,将其作为热力学过程不可逆程度的一种量度^[20]。经过许多科学家的研究和分析熵的概念得到进一步的发展,特别是玻尔兹曼和香农等人从统计学和信息论的角度丰富了该理论包含的内容和研究方法。在热力学中,熵(S)是一个状态参数,描述动态的、复杂的、不可逆的状态,是一个表示研究对象演化特征和发展状态的指标^[21]。

$$S = k \ln W \quad (1)$$

式(1)中,S 是系统熵,k 是玻尔兹曼常数,W 是热力学几率。

1948 年香农将前人的成果予以总结,强调了“信息量”这个概念。他把信息熵与统计力学熵概念相联系,将熵的概念引入信息论中,用熵值来表征信源的特性,给出了信息熵公式:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \text{ 其中 } k > 0, k = 1/\ln n \quad (2)$$

$$E = \sum_{j=1}^m e_j w_j \quad (j=1, 2, 3, \dots, m) \quad (3)$$

式中, p_{ij} 是j项指标下第i个评价对象的特征比重, e_j 是第j指标的熵值, w_j 是第j指标的权重,E 是系统熵值。

一个系统的熵值或系统中各组成要素(指标)的熵值可利用公式(2)和公式(3)计算并根据此值进行评价。系统中某项指标的熵值越大,意味着指标提供的有效信息量越小,权重也越小,反之则越大。由熵值法的原理可知,各指标的熵值在 0 与 1 之间。通过

构建系统熵指标体系,在数据整理、数据标准化和指标比重计算等数据处理^[22-23]之后,计算得到由 n 个对象和 m 个指标组成的一个系统的熵值。

1.2 耗散结构理论

耗散结构理论强调当一个系统接近平衡时原有的结构就会趋于消亡,只有当系统远离平衡时才能产生新的有序结构。一个远离平衡的开放系统与外界交换物质、能量才能发展变化。耗散结构定义为:在远离平衡的条件下,借助于外界的能量流和物质流而维持的一种空间或时间的有序结构^[24-25]。一个系统要处于耗散结构,必须满足 4 个条件,根据这些条件,耗散结构系统可以概括为:在非平衡条件下,依靠物质、能量、信息不断输入和输出来维持其内部非线性相互作用的有序系统^[26-27]。根据耗散结构理论,系统熵值变化受外部环境的影响,而影响系统结构与稳定的熵可分为内熵和外熵,系统熵可用以下模型来表示:

$$dS = diS + deS \quad (4)$$

式 4 中 dS 为系统中总熵值的变化, diS 为系统内熵, deS 为系统外熵。

内熵是系统内部发展所导致的熵变化,也称为熵产生(diS);另一部分是系统与外界交换能量与物质引起的熵变化,称为熵流(deS)。 dS 的大小取决于 diS 和 deS 的代数和。如果系统中总熵流为正值,即 $dS > 0$, 则系统的无序程度将增加;如果系统中总熵流为负值,即 $dS < 0$, 则系统的有序程度将增加^[28]。系统有序状态是系统发展的目标,通过采取各种措施和方法找出系统负熵源,进而利用负熵系统,保证系统不断向有序的方向发展。

2 粮食生产系统耗散结构特征剖析

2.1 粮食生产系统

粮食生产系统是由粮食生产活动和影响粮食生产量的各种外部环境和因素组成的,具有满足人类身体物质需求的多因素、多目标系统。人类的发展离不开粮食,随着人类社会的发展,人口数量越来越多,人与粮食之间的关系越来越紧密,人依靠粮食生活,没有粮食人类不会发展,甚至崩溃^[29]。

粮食生产系统在结构、功能、组成要素以及组成要素之间的关系等方面符合系统的特征。它是由若干个要素组成,各要素之间存在相互关系,这种相互关系决定了系统的结构,通过系统结构可判断系统

功能。粮食生产系统在耗散结构理论下结构和功能之间的关系以及与内熵和外熵的交换如图 1 所示。

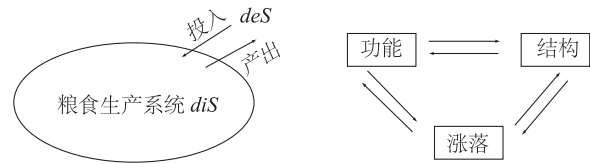


图1 粮食生产系统熵流和耗散结构演变模式

Fig.1 Entropy flow and dissipative structural evolution model of grain production system

在粮食生产系统中,人与粮食之间存在着相互依赖和相互促进的关系。粮食生产系统与外界不断地进行物质和能量交换,从外界接受能量,同时也向外界释放能量。粮食生产系统自身产生的信息熵为内熵,而外界产生的信息熵为外熵,外熵和内熵之间的关系是投入-产出关系。粮食生产系统是以人为主的,以粮食生产为目标的,以人类的劳动和技术为投入量和耕地的粮食产量为产出量的耦合系统。粮食生产系统的有序发展对经济和社会的发展,社会稳定、生态安全、国家综合实力增强等都有不可缺少的作用。

2.2 粮食生产系统的耗散结构特征

2.2.1 开放性特征 粮食生产系统是开放系统,是人地系统的子系统。粮食系统在发展过程中离不开人类社会和自然界的物质和能量投入。人类在生产生活过程中不断地对周围外部环境投入物质、能量和信息,也不断地从环境中得到生存必须的物质、能量和信息。所以,粮食生产系统不断地跟外部环境进行联系以保持自身健康有序的发展。

2.2.2 远离平衡态特征 根据耗散结构理论,任何系统若要处于远离平衡态,必须与外界进行能量交换。对于粮食生产系统来说,如果粮食生产系统处于平衡态或接近平衡态,系统会出现衰落甚至灭亡,但是粮食生产系统总是不断地接收外部能量,实现远离平衡态。所以粮食生产系统不断地产生正熵(内熵),并从外界接收负熵(外熵),由此实现系统的“新陈代谢”。

2.2.3 非线性特征 粮食生产系统在发展过程中会受到自然、人文等多种因素的影响。人地之间的相互作用纷繁复杂,无法用简单的线性原理进行分析。粮食生产系统正是通过复杂的非线性能量交换,不断地调整结构,从原来的结构逐步稳定到新的耗散结构。

2.2.4 涨落特征 自然、人文等多种因素的变化都会对粮食生产系统产生影响,这些因素的涨落变化使粮食生产系统也出现涨落现象。粮食生产系统由于受到人为因素及自然因素的影响,系统中的内部要素之间以及子系统之间都为非线性关系。农业结构不断地调整使粮食生产系统向着非线性方向发展。因此粮食生产系统具备涨落特征,是个耗散结构。

3 粮食生产系统的熵与分析

3.1 粮食生产系统的熵

根据熵理论和耗散结构理论,要分析粮食生产系统是否形成耗散结构,需要分析该系统中熵的构成。跟其他耗散结构系统一样,粮食生产系统的熵由来自于系统内部的正熵以及来源于外部环境的负熵构成。粮食生产系统的正熵是系统运行过程中产生的不利于系统发展的信息量。粮食生产系统的内部熵由粮食生产量的变化熵和人口的变化熵 2 个部分组成,将 2 个熵合二为一,更具有代表性,因此用人均粮食生产量代表系统的内部熵。粮食生产系统内熵(diS)的计算公式为:

$$diS = \text{粮食生产量(产出)} \quad (5)$$

粮食生产系统外熵主要表现为系统与环境和社会经济发展之间的关系,因此它主要包括耕地资源($deS1$)、科技投入水平($deS2$)、区域经济发展($deS3$)、环境质量($deS4$)。因此,粮食生产系统的负熵计算公式为:

$$deS = deS1 + deS2 + deS3 + deS4 \quad (6)$$

为了对粮食生产系统是否形成耗散结构进行判定,本研究建立了可从整体上代表粮食生产系统内部环境和外部环境的,并可用于评价的正、负熵指标体系。构建对系统正熵指标体系的依据从整体上来说就是系统内部运行所涉及到的各种行为及要素。对于粮食生产系统来说,人是影响正熵的主要因素,提高粮食产量满足人对粮食的需求为目的,保护耕地质量的前提下增加经济收入是粮食系统的基础,因此粮食系统正熵指标包括人均粮食产量等 5 个指标;构建负熵指标体系的依据是系统运行所面临的各種外部环境要素,以粮食生产系统与外部环境的直接关系为依据,从经济、资源、环境、技术等方面考虑,构建由森林覆盖率和人均 GDP 等 12 个指标所构成的负熵指标体系(表 1)。

表 1 粮食生产系统正、负熵指标体系

Table 1 Positive and negative entropy indices for grain production system

熵指标	影响因素	指标	熵值的影响
正熵指标	产出	农业产值占 GDP 的比重	表示经济效益,粮食生产经济目的
		单位面积粮食产量	实际物质性要素,系统发展标志性要素
		人均粮食产量	表示粮食生产系统内在关系,系统发展根本性要素
		主要粮食作物单位面积收入	表示经济效益,影响粮食生产积极性,是粮食生产的动机
		耕地土壤有机质含量	表示耕地土壤质量,影响粮食生产
负熵指标	资源	耕地面积	表示资源基础,粮食生产的保障
		粮食作物播种面积	表示粮食生产的重要性、粮食生产基地
		有效灌溉面积	表示粮食生产保证,反映粮食生产量保证水平
		农业机械总动力	表示农业现代化情况,反映粮食生产技术水平
		农村用电量	表示农村发展情况,间接提高粮食生产量
	技术	农药使用量	表示生产投入量,保证粮食生产量的增多
		农村用电量	表示农村发展情况,间接提高粮食生产量
		地区生产总值	表示经济发展情况,提高投入量,增加粮食生产量
	经济	农民人均纯收入	表示农民收入情况,提高投入量,促进农民积极性
		政府粮食最低收购价	表示市场和政府政策对粮食生产的影响
		森林覆盖率	表示森林覆盖率对粮食生产量的影响
	环境	生态环境状况指数	生态环境良好对粮食生产的影响
		水质达标率	表示环境污染对粮食生产的影响

表 1 中的 17 个指标中生态环境状况指数和水质量达标率指标数据来自于湖北省环境质量公报(2001-2017 年),政府粮食最低收购价数据来自于湖北省人民政府网站,耕地面积数据来自于湖北省国土资源综合统计年报(2001-2017 年),其余指标数据来自于湖北省统计年鉴(2001-2017 年)、湖北省国民经济与社会发展公报(2001-2017 年)及中国

农村统计年鉴、湖北农村统计年鉴等书籍及中国知网、国家统计局、湖北省统计局等网站。

3.2 湖北省粮食生产系统熵值与分析

根据熵值法模型和计算步骤^[30-31],算出湖北省粮食生产系统各指标的熵值和 17 年的正熵值和负熵值,计算结果如表 2 所示。

表 2 湖北省粮食生产系统各指标熵值和熵权值

Table 2 Entropy value and entropy weight of different indices for grain production system in Hubei province

熵	影响因素	指标	熵值	熵权值
内熵(0.893)	产出(0.893)	农业产值占 GDP 的比重	0.788	0.236
		单位面积粮食产量	0.652	0.313
		人均粮食产量	0.898	0.231
		主要粮食作物单位面积收入	0.927	0.135
		耕地土壤有机质含量	0.973	0.085
外熵(-0.905)	资源(-0.229)	耕地面积	-0.886	0.083
		粮食作物播种面积	-0.928	0.084
		有效灌溉面积	-0.924	0.084
		农业机械总动力	-0.910	0.084
	技术(-0.225)	农药使用量	-0.868	0.082
		农村用电量	-0.864	0.081
		地区生产总值	-0.935	0.085
		农民人均纯收入	-0.942	0.085
	经济(-0.237)	政府粮食最低收购价	-0.926	0.084
		森林覆盖率	-0.881	0.082
		生态环境状况指数	-0.819	0.080
	环境(-0.214)	水质量达标率	-0.896	0.084

由表 2 可知,粮食生产系统内熵值为 0.893,熵值较高,粮食生产系统内部信息交换关系较强,系统内部单位面积粮食产量的熵权值较大,表明产出要素中主要的要素熵值最小(0.652),对粮食系统熵值作用较大,反映的内部信息量最多;耕地土壤有机质含量熵权值为 0.085,产出指标中信息量较小。粮食系统外熵值为-0.905,绝对值高于系统内熵值,系统总熵值为-0.012($dS<0$),表明粮食生产系统与外部环境的信息交换超过内部信息交换量,系统发展的外部环境对系统发展作用较大。负熵指标中粮食作物播种面积、有效灌溉面积、农业机械总动力、地区生产总值、农民人均纯收入、政府粮食最低收购价、水质量达标率的熵值绝对值大于内熵值,表

明这些因素对湖北省粮食生产的影响或作用较大。

3.3 湖北省粮食生产系统耗散结构态

为了解湖北省粮食生产系统年度发展情况,以人均粮食产量为基础,确定粮食消费标准($350\text{ kg}\leq$ 温饱水平 $<400\text{ kg}$,小康水平 $\geq 400\text{ kg}$),结合粮食生产系统的年度熵值,判断湖北省年度(2001-2017 年)粮食生产系统状态和粮食消费水平,结果见表 3。

根据熵值计算模型可以断定,系统年度熵值取值范围是 $[0,1]$,按照极值法规定粮食生产系统熵值在 $[0,0.17)$ 系统处于远离平衡态,在 $[0.17,0.34)$ 系统处于基本远离平衡态,在 $[0.34,0.68)$ 系统处于过渡态(如果大于 0.51,靠近平衡态;小于 0.51,远离平衡态),在 $[0.68,0.85)$ 系统处于基本

平衡态,在 $[0.85, 1.00]$ 系统处于平衡态。

由表3可知,2000年湖北省粮食生产的人-粮发展水平处于温饱状态,小康水平标准下的超载人口约为 9.976×10^6 人,2008年超载人口约为 1.4293×10^6 人,而且2002年和2003年超载人口已分别达到 5.545×10^6 人和 8.8245×10^6 人,表明2000年至2008年湖北省粮食生产系统人口压力较大。2009年,湖

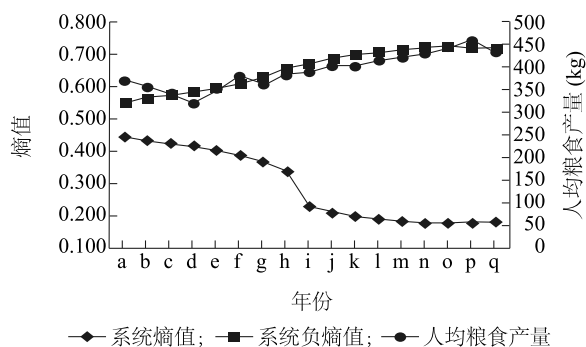
北省粮食生产水平已达到每人403.69 kg,粮食消费标准已达到小康水平,并且粮食产量已经满足当年人口(5.720×10^7 人)的需求。2009年至2015年,湖北省粮食消费标准维持在小康水平,小康负超载人口数不断上升,在2015年达到了最高值,为 9.067×10^6 人,表明湖北省粮食生产系统人口压力越来越小。

表3 湖北省粮食生产系统发展和平衡态情况

Table 3 Development and equilibrium states of grain production system in Hubei province

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
人-粮发展水平	温饱	温饱	温饱	温饱	温饱	温饱	温饱	温饱	温饱	小康	小康	小康	小康	小康	小康	小康	小康
小康超载人口 ($\times 10^4$ 人)	99.76	311.78	554.50	882.45	447.70	266.55	445.25	235.40	142.93	-52.75	-65.70	-213.33	-325.53	-454.25	-644.40	-906.70	-500.28
系统熵值	0.48	0.43	0.43	0.42	0.40	0.39	0.37	0.34	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
系统耗散状态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	过渡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态	基本 远离 平衡态

由图2可知,以人均粮食生产水平为标准,湖北省粮食生产分2个阶段:2000年至2008年平均粮食生产量均小于400 kg,粮食生产处于温饱水平,是人口压力不断增大的阶段;2009年至2016年平均粮食生产量均多余400 kg,粮食生产处于小康水平。湖北省粮食生产系统负熵(外熵)值从2000年的-0.552增加到2016年的-0.718,其中最高值出现在2014年,外熵值为-0.722,系统总熵值从0.45下降到0.17,表明湖北省粮食生产系统向有序状态发展。



a:2000年;b:2001年;c:2002年;d:2003年;e:2004年;f:2005年;g:2006年;h:2007年;i:2008年;j:2009年;k:2010年;l:2011年;m:2012年;n:2013年;o:2014年;p:2015年;q:2016年。

图2 2000-2016年湖北省粮食系统熵值和人均粮食生产量

Fig.2 Entropy of grain production system and per capita grain production during 2000-2016 in Hubei province

根据熵值法和耗散结构理论评价粮食生产系统的结果能较好地反映粮食生产系统的特征和发展状态。粮食生产系统要想稳定、有序地发展,必须从外界不断吸收物质与能量,由此产生的负熵大于自身发展过程产生的正熵,才能形成涨落现象,系统总熵逐步减少,无序程度降低,粮食生产系统向更高的有序发展。

湖北粮食生产系统中单位面积粮食产量是主要的系统产出指标,反映的信息量较多。湖北省粮食生产系统内熵为0.893,外熵为-0.905,总熵值为-0.012,处于有序发展阶段,还未达到高效率有序运行的状态。研究阶段内粮食生产系统发展状态不断发生变化,系统逐渐远离平衡,尤其是2009年以后系统处于向远离平衡发展的过渡状态。湖北省是中国粮食生产基地之一,本研究结果比较符合实际,较好地反映了湖北省粮食生产系统发展状态,说明用耗散结构理论与熵值法对粮食生产系统发展状态评价是可行的,在评价过程中得到的各参数能够反映出湖北省粮食生产系统生产能力的整体发展状况。

粮食生产系统满足耗散结构理论的条件。湖北省粮食生产系统是一个开放系统,处于远离平衡态,通过与外部较复杂的能量交换,系统出现涨落现象,系统不断向完善有序态发展。湖北省粮食产量影响因素主要有粮食作物播种面积、有效灌溉面积、农业

机械总动力、地区生产总值、农民人均纯收入、政府粮食最低收购价、水质达标率。为进一步提高粮食生产水平,湖北省要扩大粮食作物播种面积,增加农业技术投入量,发展区域经济,提升环境质量。从2000年到2016年,粮食生产系统熵值的发展趋势较为理想,熵值不断减小,发展状态较好,而且系统状态向着结构稳定、更加有序的方向发展。

本研究从耗散结构理论出发,探讨了粮食生产系统的耗散结构特征,并将其用于粮食生产系统的发展状态评估之中,为湖北省粮食生产的可持续发展研究提供了一个新的视角和研究方法。耗散结构理论较好地指出了湖北省粮食生产的主要影响因素,只有在耕地资源、环境保护、经济发展、农业技术投入等方面加大力度,提高粮食生产量,才能保证人粮系统的有序发展。研究结果对于制定粮食生产系统协调发展战略、保护耕地资源、提高粮食产量等方面有一定的参考价值。

4 结论

耗散结构理论与熵值法^[32-34]相结合对粮食生产系统发展状态的分析结果较为科学、符合实际,能准确地反映粮食生产系统的发展情况。该方法在制定粮食生产系统协调发展计划、保护耕地资源、提高粮食生产等方面有一定的理论和实践应用价值。

在构建粮食生产系统正熵指标时可以考虑人口、人口增长率、粮食总产量、单位面积粮食产量、人均粮食增长率等指标,但我们认为这些指标数据在总体上能够反映人均粮食生产情况,人均粮食产量就能直接反映粮食生产系统自身发展情况。选择负熵指标时从经济、环境、技术、资源4个方面选择要素,但影响粮食生产的要素较多,可能还有农户行为、农户素质和市场价格波动等要素。研究中使用的有些指标有包含关系,例如,生态环境指数包含森林覆盖率等,或有些指标对农业生产系统的影响不太明显,如农村用电量,在农业生产中化肥使用量对粮食生产的贡献率远远大于农药使用量,但农药的合理使用一定程度上反映农民的技术水平。不同指标可能会对研究结果产生不确定的影响,为此正熵和负熵因素选择要统筹考虑单要素指标和综合指标。

对于粮食生产系统的考察不局限于产量,随着社会经济的发展,人类的粮食消费结构在不断地变

化,粮食生产系统的组成要素和要素之间的关系以及系统功能也在不断地发生变化,以粮食产量为主要目标的粮食生产系统难以适应社会经济发展的实际需求,在今后研究中指标的选择和粮食生产系统的功能还需要进一步的考虑。

参考文献:

- [1] 木合塔尔·艾买提,玉素甫江·如素力.喀什市PRED系统协调发展分析[J].环境保护与循环经济,2016,36(1):52-57.
- [2] 王欣,杨君,李婷.基于生态服务价值的生态补偿——以长沙市为例[J].江苏农业学报,2019,35(4):965-972.
- [3] 杨山,潘婧,季增民.耗散结构视角下连云港港城系统演进机理及规律研究[J].地理科学,2011,31(7):781-787.
- [4] PRIGOGINE I, ALLEN P M. The challenge of complexity, see, self-organization and dissipative structures[A]. Austin: University of Texas Press, 1982:125-167.
- [5] 湛恩华,沈小峰.普里高津与耗散结构理论[M].西安:陕西科学技术出版社,1982:50-64.
- [6] 刘瑞显,李国锋,徐立华,等.棉花生产技术创新系统的耗散结构分析[J].江苏农业科学,2014,42(1):8-10.
- [7] 李慧明.熵律、生态平衡与环境资源合理利用[J].南开经济研究,1999(4):8-13.
- [8] 申维.耗散结构、自组织、突变理论与地球科学[M].北京:地质出版社,2008:172-198.
- [9] 杨国华,崔彬.基于耗散结构理论的半干旱区生态建设研究[J].生态经济,2011,27(6):31-34.
- [10] 陈磊,田双清,张宽,等.基于耗散结构理论的四川省耕地生态安全测度分析[J].水土保持研究,2017,24(2):307-313.
- [11] 谷国锋,张秀英.区域经济系统耗散结构的形成与演化机制研究[J].东北师大学报(自然科学版),2005,37(3):119-124.
- [12] 程结晶,刘佳美,杨起虹.基于耗散结构理论的科研数据管理系统概念模型及运行策略[J].现代情报,2018,38(1):31-36.
- [13] 罗海平,潘柳欣,宋焱,等.基于生态系统服务价值的中国粮食主产区农业-生态协调性实证测算与预警[J].江苏农业学报,2020,36(3):760-768.
- [14] 刘新卫,陈百明,杨红.粮食生产系统的能值分析——以安塞县为例[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):174-180.
- [15] 梅淑芳,梅忠.区域粮食生产系统变化趋势分析与预测[J].中国农学通报,2005,21(6):411-414.
- [16] 邵留长,乔家君.河南省经济发展与粮食生产耦合协调分析[J].农业现代化研究,2016,37(2):230-237.
- [17] 李纪岳,陈志,杨敏丽.粮食作物生产机械化系统动力学建模与仿真[J].农业机械学报,2013,44(2):30-33,21.
- [18] 黄震方,朱晓华,杨秀春.可持续发展理论与实践的自组织性质研究[J].人文地理,2001,16(2):31-35.
- [19] 荀文会,刘友兆,吴冠岑.基于耗散结构理论的耕地资源利用与保护[J].经济地理,2007,27(1):141-144.
- [20] 郑建初,刘华周,周建涛,等.江苏省现代高效农业发展目标与

- 模式研究[J].江苏农业学报,2009,25(1):1-5.
- [21] 王光辉,刘怡君,王红兵.基于耗散结构理论的城市风险形成及演化机理研究[J].城市发展研究,2014,21(11):81-86.
- [22] 周伟,曹银贵,袁春,等.兰州市土地集约利用评价[J].中国土地科学,2011,25(3):63-69.
- [23] 何逢标.综合评价方法 MATLAB 实现[M].北京:中国社会科学出版社,2010:326-332.
- [24] 颜泽贤.耗散结构与系统演化[M].福州:福建人民出版社,1987:75-115.
- [25] 杨琳,何芳.基于耗散理论的城市边缘区土地利用的弹性管理研究[J].地理科学,2007,27(5):655-660.
- [26] 周巧凤.基于熵理论与耗散理论的资源型地区绿色发展评价研究[D].太原:山西大学,2017:9-14.
- [27] 沈小峰.耗散结构论[M].上海:上海人民出版社,1987:20-45.
- [28] 陈雷,周敬宣,李湘梅.基于耗散结构理论的城市生态水平评价研究——以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):786-790.
- [29] 潘佩佩,王晓旭,赵倩石,等.河北省耕地利用变化对粮食生产的影响效应及时空格局分析[J].地理与地理信息科学,2018,34(6):85-92.
- [30] 车林杰.协同创新系统耗散结构判定研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [31] 吴雄周,杨婵.农业综合生产自组织功能优化探讨——基于耗散结构理论视角[J].吉首大学学报(社会科学版),2011,32(4):106-109.
- [32] 杨士航,李光林,马驰,等.基于因子分析联合熵值法的重庆市璧山区设施葡萄经济效益分析与评价[J].南方农业学报,2020,51(2):477-484.
- [33] 董奋义,齐冰.基于熵值法和比较静态分析的省级农业科技 DEA 效率[J].江苏农业科学,2019,47(19):321-326.
- [34] 郝小宇,张鑫,雍志勤.榆林市水资源承载力空间分异[J].排灌机械工程学报,2019,37(12):1037-1043.

(责任编辑:张震林)