

李林红,王 娟,马亚梅. 云南高原山地农业可持续发展群体认知动力学模型构建及稳定性分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):311-316.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.054

云南高原山地农业可持续发展群体认知 动力学模型构建及稳定性分析

李林红,王 娟,马亚梅

(昆明理工大学管理与经济学院,云南昆明 650093)

摘要:云南高原山地农业的边缘性和分散性使得云南山地农业系统在很大程度上陷入了一种孤立封闭的自给自足状态。传统小农户经营生产方式与社会化大市场存在巨大鸿沟,信息不对称导致市场失灵,单靠高原山地农户自身很难实现可持续发展,需要公众、专家、政府共同参与规划,三者达成共识是制定可持续发展规划的前提。以云南高原山地农业可持续发展为研究对象,结合网络上公众、专家和政府观点的响应关系建立群体认知系统动力学模型,模拟三者对云南高原山地农业可持续发展的认知共识过程。借鉴种群生态学 Logistic 模型对模型的稳定性进行分析,并用 Matlab 对稳定性分析结果进行模拟仿真,进一步验证模型的稳定性,最后给出实现云南高原山地可持续发展的政策建议。

关键词:可持续发展;群体认知;系统动力学;稳定性分析

中图分类号: F327 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0311-06

高原山地农业耕地呈块多、面小、分布零散,距离遥远、交通设施落后、环境封闭、流动性有限,导致高原山地农业依然处于自给自足的传统农业阶段,农村经济发展滞后、农业资源短缺、抗灾能力低、农业环境污染等问题更加凸显^[1]。山地农业的脆弱性,使得各种以山地资源为开发对象的物质生产活动极易导致水土流失等环境灾害^[2],探寻如何在保护生态环境前提下发展山地农业,一直是难题^[3]。可持续发展的核心是满足当代人的需求,又不损害子孙后代的利益满足其需求能力,实现永远稳定生存与发展^[4]。然而,由于存在市场失灵,单靠高原山地农户自身很难实现可持续发展,需要公众(包括农户和消费者)、专家、政府共同参与规划,三者达成共识是制定可持续发展规划的前提。

系统的稳定性是系统分析和设计的基本问题^[5],是实现可持续发展的理论依据,只有当所建立的非线性动力学模型处于稳定点或稳定区间时,云南高原山地农业才可实现长期可持续发展。高原山地农业是一个极其复杂的生态生产系统,因其

所处偏远的地理位置和近年来日益严峻的农业环境污染问题,使得高原山地农业系统不断受到外界的干扰和挑战,只有充分认识系统的承受能力和稳定区间,才可以更好地在发展经济的同时保证长期可持续发展。

国内外已有许多专家致力于研究非线性动力系统的稳定性,现有关于解决非线性动力学系统稳定性问题的方法的研究可分为两大类:(1)基于数学模型和知识推理的客观分析方法^[6],其中最常用的是 Logistic 模型和 Lyapunov - Krasovskii 模型,Logistic 模型源于生物种群共生理论,主要解决多要素在竞争和协同共同作用下实现系统长期稳定性的问题^[7];Lyapunov - Krasovskii 泛函模型可以研究复杂时滞切换系统,但包含时间平移或者状态导数,容易导致稳定性分析失去因果性^[8]。为了将稳定性分析与复杂的农业生产系统紧密联系起来,并避免政策结论推广中的局限性,选择 Logistic 模型作为稳定性分析的方法。(2)基于仿真模拟来分析非线性动力学系统的稳定性。传染病动力系统模型对于求解非线性系统稳态解的条件具有明显优势,但是模型中会涉及与时间有关的复杂速率函数和过程函数^[9],不便于本研究进行仿真模拟。Vensim PLE 仿真模拟软件对于证明系统存在稳定性和寻找系统稳定点十分便捷,但是却不利于准确求解复杂系统的稳定区间^[10],本研究运用 Matlab 软件对非线性

收稿日期:2018-12-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:71463032)。

作者简介:李林红(1963—),男,重庆人,硕士,教授,主要从事可持续发展研究。E-mail:monashlee@163.com。

通信作者:王 娟,硕士研究生,主要从事可持续发展研究。
E-mail:1282575319@qq.com。

性代数方程组进行求解和稳定区间的模拟,系统地分析高原农业可持续发展的稳定区间,为促进高原农业长期可持续发展提供见解和指导。

1 构建可持续发展网络群体认知系统动力学模型

可持续发展网络群体认知是基于互联网的公众、专家和政府人员对可持续发展的认知,从系统动力学的角度而言,公众、专家和政府之间的认知相互影响和相互关联,可用系统动力学(SD)方法予以分析研究。因此,选取网络上的公众、专家和政府人员为认识主体,高原农业可持续发展问题为认知对象,运用 SD 方法对公众、专家和政府群体的共识过程进行模拟。

1.1 构建模型的网络图

根据群体认知和系统动力学理论构建“广义专家”群体研讨发言的基本结构单元见图 1。

“广义专家”指公众、专家和相关政府人员三大群体,通过网络参与主题研讨活动。“参与者”是指参与群体研讨发言的相关人员,专家采用真实姓名,政府人员采用政府部门名称,公众采用网络的国际互联协议(interhet protocol, IP)。“信息名”指

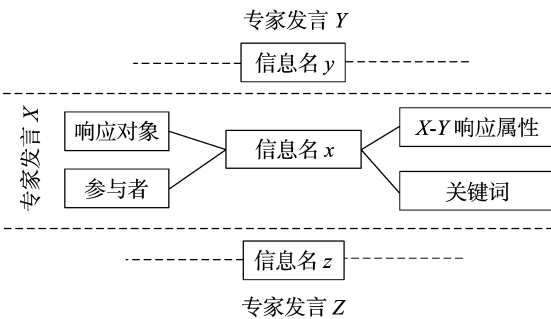


图1 “广义专家”群体研讨发言的基本结构单元

每条发言信的编号,“响应对象”指诱发本条发言信息出现的另一条已存在的发言信息,指向其“信息名”。“响应属性”反映发言信息与其响应对象之间的关系属性,是支持、反对、中立、质疑、补充等属性之一。“关键词”指发言信息中出现的高频、关键性词语^[11]。收集公众、专家和政府人员对如何实现高原山地农业可持续发展的看法,依据图 1 整理每条发言的“参与人”“信息名”“响应对象”“响应属性”“关键词”等信息,建立“广义专家”群体研讨发言信息资料(表 1)。其中 Ax、Bx 和 Cx 分别代表公众、专家和政府人员发言的编号。

表 1 “广义专家”群体研讨发言信息资料

序号	信息名	参与人	响应对象	响应属性	关键词
1	A9	观花开半夏 S	B5	支持	允许公众参与,提高扶持效率
2	B5	李广	A7、B4	支持	扶持听证会和民意调查
3	B4	王慧	A7、B3	支持	扶持政策信息公开
4	B3	丁长琴	A3	支持	加强扶持资金监管力度
5	A3	熊猫滚滚来地球	A1、A2	支持	公共财政监理
6	A1	江东湖畔光头佬	B1	质疑	做到扶持资金开支透明
7	A2	未来必胜 999	C1	反对	严查扶持资金贪污
8	C1	云南省农业农村厅	B1	质疑	面临扶持“见顶”
9	B1	赵爽			拓宽资金投入渠道,加大政府扶持力度
10	A4	云雾散尽 99	C1	中立	做到精准扶贫
11	A7	华夏试剂	A3、A4、A6	中立	公众参与监督
12	A8	康玉征儿	A7	支持	人人参与
13	A6	隆尧张欢	A3	中立	严查官农勾结
14	C3	云南省人民政府	A6、A8	支持	扶持机构负责制
15	C2	昆明市农业农村局	C3	支持	扶持农业先扶持人心,整治官心
16	A5	平常心道场	A6	补充	建立高效的扶持体系
17	B2	高玉强	A1	中立	拓宽农产品企业融资渠道

以每次发言为 1 个节点,“序号”和“信息名”标识该节点,以“响应属性”作为连接不同节点的有向弧,指向其“响应对象”。建立“广义专家”群体研讨互动过程的有向链接属性图,即模型的网络见图 2。

1.2 构建模型的因果关系

从表 1 可以看出,图 2 模型的网络图中节点与

响应对象节点之间的响应属性有质疑、反对、中立、支持、补充 5 种。当响应属性为中立时,二者不构成因果关系,其响应关系忽略不计;当响应属性为质疑或反对时,二者构成负向因果关系,用负性因果键标识;当响应属性为支持或补充时,二者构成正向因果关系,用正性因果键标识。根据以上原则构

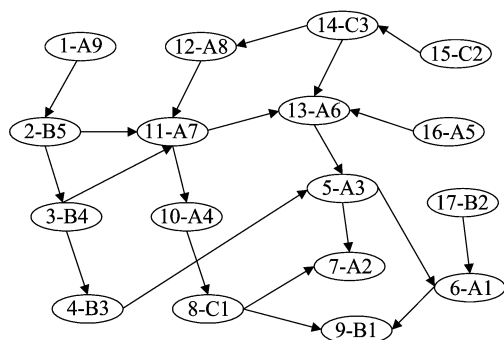


图2 可持续发展网络群体认知模型的网络

建模型的因果关系,结果见图3。

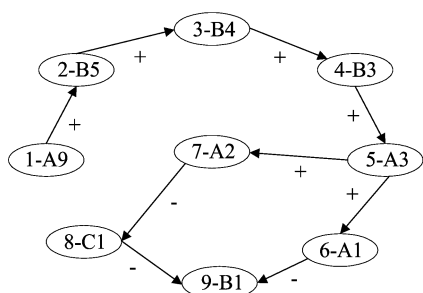


图3 可持续发展网络群体认知模型的因果关系

1.3 构建模型的反馈结构

根据图3构建模型的反馈结构见图4,图3中因果键指向的节点在反馈图中转化为存量,无因果键指向的节点转化为辅助变量。图4中矩形表示存量,其值表示发言信息的观点强度,每个存量都有输入流和输出流,输入量表示存量所代表观点强度的增加量,输出量表示存量所代表观点的减少量,输入流和输出流由因果关系键的指向节点所转化的存量和自身存量共同决定,用流线连接。图中每个箭头连接的2个变量间的数学关系经人为设定就能进行仿真模拟^[12]。该模型共包括25个变量,其中存量8个,流量16个,辅助变量1个。模型的反馈结构图中各参数的含义见表2。

1.4 模型仿真结果

假设0~1表示观点的反对强度,越靠近0,观点的反对强度越强,0表示完全反对;1~2表示观点的赞同强度,越靠近2,观点的赞同强度越强,2表示完全赞同,1表示观点持中立状态。

图4中各存量的初始值设为1,即在初始状态

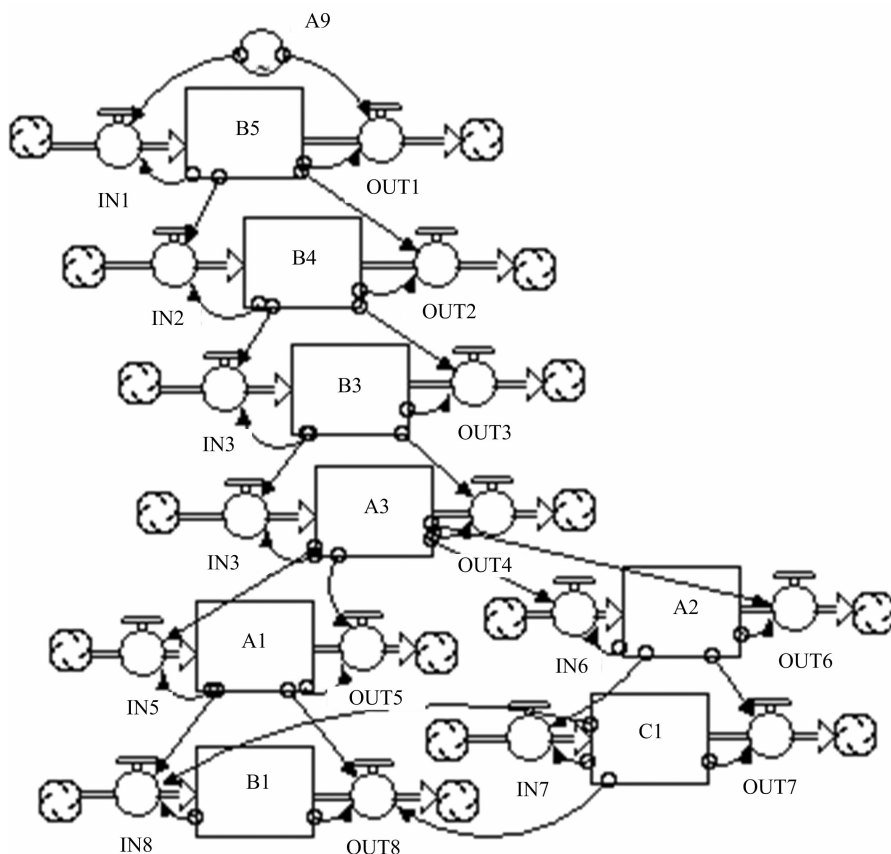


图4 可持续发展网络群体认知模型的反馈结构

表 2 可持续发展网络群体认知模型参数及含义

变量	含义	性质
B5	B5 观点持反对或赞同的强度	存量
IN 1	B5 观点强度的增加量	流量
OUT 1	B5 观点强度的减少量	流量
B3	B3 观点持反对或赞同的强度	存量
IN3	B3 观点强度的增加量	流量
OUT3	B3 观点强度的减少量	流量
A1	A1 观点持反对或赞同的强度	存量
IN5	A1 观点强度的增加量	流量
OUT5	A1 观点强度的减少量	流量
C1	C1 观点持反对或赞同的强度	存量
IN7	C1 观点强度的增加量	流量
OUT7	C1 观点强度的减少量	流量
A9	A9 观点持反对或赞同的强度	辅助变量
B4	B4 观点持反对或赞同的强度	存量
IN2	B4 观点强度的增加量	流量
OUT2	B4 观点强度的减少量	流量
A3	A3 观点持反对或赞同的强度	存量
IN4	A3 观点强度的增加量	流量
OUT4	A3 观点强度的减少量	流量
A2	A2 观点持反对或赞同的强度	存量
IN6	A2 观点强度的增加量	流量
OUT6	A2 观点强度的减少量	流量
B1	B1 观点持反对或赞同的强度	存量
IN8	B1 观点强度的增加量	流量
OUT8	B1 观点强度的减少量	流量

下存量所代表观点持中立态度,取值范围为[0,2]。图 4 中观点所代表的存量的流入量和流出量由响应该观点的存量决定,如 B5 的输入流 IN 1 和输出流 OUT 1 由 A9 决定。A9 和 B5 是正向因果关系,当 $A9 > 1$ 时,IN 1 等于 $(A9 - 1) \times B5$;当 $A9 < 1$ 时,OUT 1 等于 $(1 - A9) \times B5$ 。

运用系统动力学软件 Stella 进行仿真模拟,得出各个观点随时间的变化观点强度的变化情况见表 3。

2 模型稳定性分析

从表 3 可以看出,公众、专家和政府三大群体对高原山地农业可持续发展问题的看法所持观点强度变化类似于种群进化 Logistic 规律变化^[13-14],本研究借助种群生态学的 Logistic 模型对可持续发展网络群体认知系统动力学模型进行抽象建立微分方程组,找出模型的均衡点进行稳定性分析。

2.1 建立微分方程

将模型中的存量看作各个独立的种群,它们相互之间存在于网络研讨环境中,存量所代表观点的强度变化服从 Logistic 模型规律。根据 Logistic 模型

表 3 可持续发展网络群体认知模型仿真模拟结果

时间节点	观点强度							
	B5	B4	B3	A3	A1	A2	C1	B1
起始(0.00)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.50	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.90	0.95	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.91	0.90	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	0.89	0.85	0.91	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00
2.50	0.94	0.80	0.84	0.92	0.97	0.97	1.01	1.00
3.00	0.97	0.78	0.76	0.84	0.93	0.93	1.02	1.02
3.50	1.00	0.77	0.67	0.73	0.84	0.84	1.07	1.05
4.00	1.03	0.78	0.60	0.61	0.72	0.72	1.18	1.10
4.50	1.06	0.79	0.54	0.49	0.58	0.58	1.37	1.16
5.00	1.10	0.82	0.48	0.38	0.43	0.43	1.64	1.17
5.50	1.13	0.87	0.44	0.29	0.30	0.30	1.79	1.12
6.00	1.17	0.93	0.42	0.21	0.20	0.20	1.88	1.07
6.50	1.21	1.01	0.41	0.15	0.13	0.13	1.94	1.03
7.00	1.24	1.12	0.41	0.11	0.08	0.08	1.96	1.00
7.50	1.28	1.27	0.45	0.08	0.05	0.05	1.98	0.98
8.00	1.32	1.47	0.52	0.06	0.03	0.03	1.99	0.97
8.50	1.37	1.69	0.67	0.05	0.02	0.02	1.99	0.96
9.00	1.41	1.82	0.93	0.04	0.01	0.01	2.00	0.95
9.50	1.45	1.90	1.34	0.04	0.01	0.01	2.00	0.95
10.00	1.50	1.94	1.63	0.05	0.00	0.00	2.00	0.95
10.50	1.55	1.97	1.79	0.07	0.00	0.00	2.00	0.95
11.00	1.60	1.98	1.88	0.10	0.00	0.00	2.00	0.95
11.50	1.65	1.99	1.93	0.15	0.00	0.00	2.00	0.95
终止	1.70	1.99	1.96	0.23	0.00	0.00	2.00	0.95

注:观点强度介于 0~2 之间,其值越接近 0,表示反对强度越强;越接近 2,表示赞同强度越强。

作如下假设^[13-14]:假设 1,辅助变量和存量所代表观点强度是关于时间 t 的函数,用 $x_i(t)$ 表示。假设 2,在独立存在的状态下,辅助变量和存量所代表观点强度存在 1 个最大值,用 M_i 表示。假设 3,在独立存在的状态下,辅助变量和存量所代表观点强度的平均增长率,用 r_i 表示。假设 4,辅助变量和存量所代表观点强度对响应对象所代表观点强度的影响,用 φ_i 表示。

式中: $i(i=1,2,\cdots,9)$ 是模型中存量和辅助变量的编号,即表 1 中的序号。则

由 Logistic 模型 $\frac{dx_i(t)}{dt} = r_i x_i \left(1 - \frac{x_i}{M_i}\right)$,对可持续发展网络群体认知系统动力学模型进行抽象建立微分方程如下:

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{M_1}\right); \quad (1)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{M_2} + \varphi_1 \frac{x_1}{M_1}\right); \quad (2)$$

$$\frac{dx_3(t)}{dt} = r_3 x_3 \left(1 - \frac{x_3}{M_3} + \varphi_2 \frac{x_2}{M_2}\right); \quad (3)$$

$$\frac{dx_4(t)}{dt} = r_4 x_4 \left(1 - \frac{x_4}{M_4} + \varphi_3 \frac{x_3}{M_3}\right); \quad (4)$$

$$\frac{dx_5(t)}{dt} = r_5 x_5 \left(1 - \frac{x_5}{M_5} + \varphi_4 \frac{x_4}{M_4}\right); \quad (5)$$

$$\frac{dx_6(t)}{dt} = r_6 x_6 \left(1 - \frac{x_6}{M_6} + \varphi_5 \frac{x_5}{M_5}\right); \quad (6)$$

$$\frac{dx_7(t)}{dt} = r_7 x_7 \left(1 - \frac{x_7}{M_7} + \varphi_5 \frac{x_5}{M_5}\right); \quad (7)$$

$$\frac{dx_8(t)}{dt} = r_8 x_8 \left(1 - \frac{x_8}{M_8} - \varphi_7 \frac{x_7}{M_7}\right); \quad (8)$$

$$\frac{dx_9(t)}{dt} = r_9 x_9 \left(1 - \frac{x_9}{M_9} - \varphi_6 \frac{x_6}{M_6} - \varphi_8 \frac{x_8}{M_8}\right)。 \quad (9)$$

2.2 均衡点稳定性分析

当辅助变量和存量所代表观点的强度达到稳定状态时,令上述公式(1)~公式(9)微分方程等于 0。在初始状态下,存量所代表观点强度 M_i 初始参数设定为 1,在专家对辅助变量 A9 打分确定观点相对强度权重中得出 $M_1 = 1.23$ ^[11]。解方程组得出 x_1, x_2, \cdots, x_9 的取值,即平衡点如下:

$$x_1 = 1.23; \quad (10)$$

$$x_2 = 1 + \varphi_1; \quad (11)$$

$$x_3 = 1 + \varphi_2 x_2; \quad (12)$$

$$x_4 = 1 + \varphi_3 x_3; \quad (13)$$

$$x_5 = 1 + \varphi_4 x_4; \quad (14)$$

$$x_6 = 1 + \varphi_5 x_5; \quad (15)$$

$$x_7 = 1 + \varphi_5 x_5; \quad (16)$$

$$x_8 = 1 - \varphi_7 x_7; \quad (17)$$

$$x_9 = 1 - \varphi_6 x_6 - \varphi_8 x_8。 \quad (18)$$

从可持续发展网络群体认知系统动力学模型仿真的模拟结果见表 3,可以得出 x_2, x_3, \cdots, x_9 的取值范围,即

$$0.85 \leq x_2 \leq 1.7; 0.77 \leq x_3 \leq 1.99; 0.41 \leq x_4 \leq 1.96; 0.04 \leq x_5 \leq 1; 0 \leq x_6 \leq 1; 0 \leq x_7 \leq 1; 1 \leq x_8 \leq 2; 0.95 \leq x_9 \leq 1.17。$$

根据 Logistic 模型判断平衡点稳定性的方法将公式(11)~(18)代入上述不等式中,求解得到 $\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_8$ 的范围如下:

$$-0.15 \leq \varphi_1 \leq 0.7; -0.27 \leq \varphi_2 \leq 1.16; -0.77 \leq \varphi_3 \leq 1.25; -2.34 \leq \varphi_4 \leq 0; -25 \leq \varphi_5 \leq 0; \varphi_6 \leq 0; \varphi_7 \leq 0; -0.17 \leq \varphi_8 \leq 0.05。$$

当 $\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_8$ 在上述范围时,可持续发展网络群体认知系统动力学模型处于长期稳定状态,即高原山地农业具有实现可持续发展的理论基础。

2.3 稳定性结果仿真

根据上述稳定性分析结果,在 Matlab 中将 M_i 值和求得的 φ_i 稳定区间带入(1)~(9)微分方程,得到系统动力学模型的稳定性结果仿真图(图 5)。观察各个辅助变量和存量 $x_i(t)$ 随时间 t 的变化趋势,发现在现有的 φ_i 稳定区间内, A1、A2、A3、B1、B3、B4、B5、C1 都在第 12 个时间节点之后逐渐趋于稳定,仿真结果较好地验证了上述稳定性分析过程。

3 结论

根据模拟结果可以看出,所构建的可持续发展网络群体认知模型是合理的、有效的,可以较好地表达公众、专家和政府 3 个群体的相互作用。模拟结果与高原山地农业的发展现状是比较符合的。通过模型的构建和稳定性分析发现,在竞争和协同作用的双重作用下,复杂系统中群体通过相互涌现使得观点的平衡状态保持长期稳定。因此,为了促进云南高原山区农业的可持续发展,结合本研究结论提出以下政策建议。

(1) 促进高原山区农业的可持续发展不是一个可以通过扩大资本投资渠道和增加政府支持来解决的问题。有必要找出更深入、更有效解决方案。近年来,国家不断加大对于高原农业发展的资金扶持力度,但是农业发展资金的大量投入并没有收到

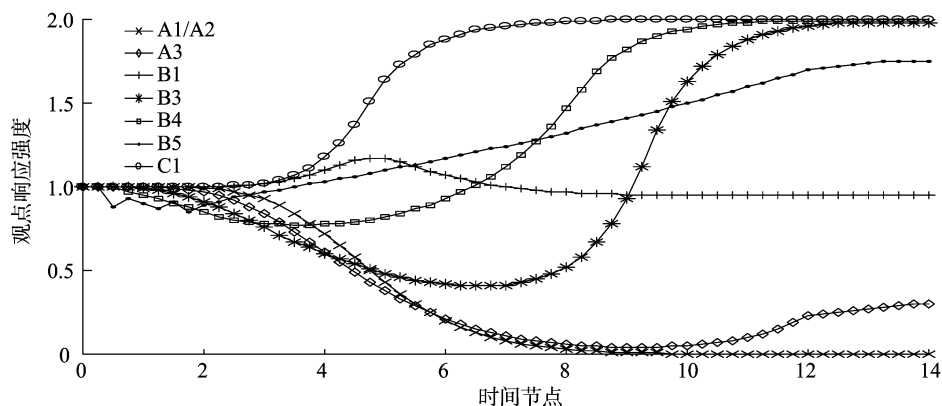


图5 稳定性结果仿真

显著的回报,当前政府提出的为提高农民收入、促进农业可持续发展而呈现出投资大、回报小的状况得到了政府、专家、公众的一致赞同,这与当前高原农业发展的现状是相符的。

(2) 公众、专家和政府人员意识到,实现高原山区农业的可持续发展不仅取决于政府投资,还取决于全民参与。因此,政府应该在促进高原山区农业可持续发展的过程中听取高原山区农民的意见,确保科学、正确的决策。促进高原农业可持续发展不能一味地进行资金投入,也不能只依靠政府干预,群众才是从事农业生产的主力军,只有广泛听取专家的意见和群众在农业生产中遇到的问题,从而切实地解决和落实,才能使得政府政策发挥更大的效用。

(3) 公众、专家和政府人员希望将支持资金用于合理的地方,防止支持资金的使用不合理,降低支持高原山区农业可持续发展的有效性。因此,在支持可持续发展的过程中对高原山区农业,政府应加大对支持资金的监管力度,完善相应的扶持资金审查制度,在促进高原农业可持续发展的过程中接受群众的监督。

参考文献:

[1] 杨庆华,杨世先,马文彬,等. 山地农业区耕地资源空间分布状况——以云南省玉溪市为例[J]. 山地学报,2005,23(6):749-755.

[2] 程厚思,卢亚鹏. 云南山地农业的环境特征及其可持续发展[J]. 云南社会科学,1999(6):1-7.

[3] 富兰克林·H·金. 四千年农夫[M]. 北京:东方出版社,2011.

[4] 李林红. 滇池流域可持续发展投入产出系统动力学模型[J]. 系统工程理论与实践,2002(8):89-94.

[5] 闫红梅,张 鸣,李远征. 基于 Matlab 的系统稳定性分析实验设计[J]. 实验技术与管理,2018,35(4):144-146,150.

[6] Tai L J, Li L H, Du J. Evaluation of scale effect of fragmented agricultural land transfer based on neural network [J]. NeuroQuantology,2018,16(5):839-846.

[7] 阮平南,张敬文. 战略网络的自组织机制及稳定性分析[J]. 科技进步与对策,2008,25(12):29-31.

[8] 丛 岫,费树岷,李 涛. 时滞切换系统指数稳定性分析: Lyapunov - Krasovskii 泛函方法[J]. 系统工程理论与实践,2007(7):111-115.

[9] 李先利,胡顺菊. 一类非线性动力学系统的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践,1998(2):66-71.

[10] 邢海龙,高长元,张树臣. 基于系统动力学的大数据联盟稳定性模型构建与仿真研究[J]. 情报杂志,2017,36(10):159-165.

[11] 马亚梅,李林红. 基于 AHP 的网络公众对可持续发展认知的研究——以昆明信息港“彩龙论坛”为例[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版),2010,10(4):55-58,64.

[12] 李金兵,韩玉启,罗建强. 基于系统动力学的企业复杂系统资源负荷管理模型仿真[J]. 系统管理学报,2011,20(5):600-605.

[13] 胡静静,严广乐. 从生态学分析中小企业与大型企业自愿性信息披露[J]. 商业时代,2009(5):93-94.

[14] 胡静静,严广乐. 上市公司自愿性信息披露动因机制的生态学角度研究[J]. 科技与管理,2009,11(1):25-27,30.