

# 可持续发展视角下的云南有机农业路径研究<sup>1</sup>

李 键，储剑寒，张 彪

(昆明理工大学质量发展研究院，云南 昆明 650093)

**【摘要】**：云南省是一个农业大省，农业的发展与云南经济发展息息相关。但常规农业广泛使用农药导致土壤污染、附加价值低等问题，对农业的可持续发展具有不利的影响。有机农业则是一种与生态保持和谐的生产方式，通过建立云南农业可持续发展模型，将模型分为经济、社会、环境和技术四个子系统，多情景下改变有机农业发展参数，仿真模型模拟未来云南农业发展，根据结果提出了品牌化、集约化、集群化等高附加值道路是云南有机农业发展的有效路径。

**【关键词】**：有机农业；系统动力学；可持续发展；云南

**【中图分类号】**：F062.2 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1671-4407(2018)02-140-07

云南省是农业大省，属于热带、亚热带气候，平均海拔约 2000 米，故又具有高原气候特征。云南 94%的地区是山区，生态环境所受到污染较轻，同时大部分地区保留了较为传统的农业耕作方式，其生产环境相对其他地区更为适合有机农业生产所需条件要求。云南省第一产业占全省比重 25%，农业走上现代化是发展云南经济的必然选择，但是我国以往的农业生产方式不仅因为大规模使用农药、人工合成化肥和其他添加剂，造成了水土污染，还因为过于单一的种植导致了水土流失，截至 2012 年全省还有 13.4 万平方千米的水土流失面积。同时由于地理因素的限制，云南省农业很难走机械化大生产道路，因此有机农业是云南农业走向现代化的最为合适的选择之一。

关于有机农业的性质与定义，国际上各国都有不同说法，我国将其定义为：在生产上不采用转基因工程的产品及其原料，不使用化工合成的肥料、农药、生长调节剂、饲料添加剂等物质，遵循生态自然规律和基本原理，协调种植业和畜牧业之间的平衡，采用一系列可持续发展的农业技术，维持稳定可持续发展的农业生产体系<sup>[1]</sup>。

农业发展是一个巨大的系统问题，具有诸多要素交叉，多个反馈线路互相影响，其影响可持续发展的要素涉及甚广，其要素之间具有因果关系和多重反馈<sup>[2]</sup>。而系统动力学的则从该系统内部找到问题根源，而不是从外部随机事件来入手。本文运用系统动力学建立仿真模型，模拟农业可持续发展这一巨大系统，将有机农业纳入其中，有益于可持续发展的云南有机农业发展模式。

## 1、相关文献回顾

### 1.1 国外系统动力学研究发展

系统动力学结构是基于系统论，吸收了控制论、信息论的精髓，是一门综合自然科学和社会科学的横向学科。系统动力学

<sup>1</sup>**【基金项目】**：云南省科技厅科技计划项目“有机农业助推云南高原特色农业集群品牌建设模式研究”（2014RD025）

**【第一作者简介】**：李 键（1984-），男，山东莱州人，副教授，研究方向为宏观质量政策。E-mail: 540631862@qq.com

**【通讯作者简介】**：张 彪（1968-），男，江苏苏州人，讲师，研究方向为质量风险控制。E-mail: 1530047267@qq.com

作为研究复杂系统的有效方法，被广泛使用在诸多社会科学和自然科学领域，主要作用可归纳为预测、管理、优化与控制。在预测方面，美国学者 Sterman<sup>[3-6]</sup>建立经济波长模型，从资本投资、就业和劳动力参与、货币和财政政策、通货膨胀、生产力和创新，甚至政治价值来分析经济波长，解释了美国 20 世纪 70 年代以来出现的难以解释的经济问题。Simonovic<sup>[7]</sup>针对全球水资源建立系统动力学模型，从人口、农业、经济、不可再生资源、持续的污染五个方面分析，其结论表明世界水资源和世界经济增长的具有极强的关联性。Poles<sup>[8]</sup>针对库存和生产建立一个生产和库存系统的再制造使用系统动力学仿真建模方法，结果显示如果升高再制造的数量和降低再制造的交货时间，在再制造过程中具有较高效率和再制造能力。在优化控制方面，Winz 等<sup>[9]</sup>用系统动力学来解决水资源管理中的动态复杂问题，区域规划和流域管理往往出现短期和长期需求冲突的现象，结合系统动力学来提供一个适当的解决方法。Schwarz 等<sup>[10]</sup>在对城市化出现的经济动态变化、土地利用和景观变化等复杂过程，建立城市模型来研究未来城市发展景观模型以及各要素之间的因果关系。Chapman & Darby<sup>[11]</sup>建立湄公河农业生态仿真模型，考虑了洪水及其沉淀物等，找到湄公河农业可持续发展的策略。

## 1.2 国内相关研究综述

系统动力学在农业研究方面也运用广泛，王邦兆<sup>[12]</sup>在研究区域农业生态系统中，以镇江市为案例建立了仿真模型。涂国平和贾仁安<sup>[13]</sup>对以沼气工程为纽带的农业科技园生态农业系统进行了反馈结构研究，得出系统生态效益合格经济效益的增强反馈回路。曾蓓和胡雨村<sup>[14]</sup>对黑龙江农业建立可持续发展动态仿真模型，发现黑龙江省的农业经济可持续度发展最好，农业技术次之，农业社会与生态环境可持续性最差。

用于某区域或某产业的可持续发展研究方面，程叶青等<sup>[15]</sup>较早探索了 SD 模型在区域可持续发展规划中的应用。张子珩等<sup>[16]</sup>对乌海市建立可持续发展模型，研究资源型城市面临资源枯竭后未来的发展路径。闫清卿<sup>[17]</sup>对赤峰市的可持续发展能力进行研究构建动态仿真模型，从多方面给赤峰市“十一五”可持续发展对策建议。李蓉和赵敏<sup>[18]</sup>对南京市水利需求与经济发展进行分析，建立仿真模型并提出南京市社会经济可持续发展模式。可以发现与可持续发展有关的问题研究，系统动力学有着较好的适用性，特别适用于高阶次、非线性、动态复杂等长期性问题。

通过对有关云南有机农业相关国内文献的梳理，对云南有机农业的相关研究进行分类。通过归类发现主要在两方面：一类是关于云南省有机农业总体发展状况的分析<sup>[19-20]</sup>；另一类是对特定区域有机农业相关问题的研究<sup>[21-22]</sup>。可以发现对云南省有机农业的发展路径的研究相对较小，因此本文着手分析云南省现有农业发展状况和有机农业现状，从社会、经济、技术和环境四个方面入手建立仿真模型，通过更改有机农业相关变量模拟不同情景下的农业可持续发展状态，为云南更好地发展有机农业相关决策提供科学依据。

## 2、农业可持续发展模型建立

农业要实现可持续发展，就是要求正确处理经济发展与自然环境的关系，在保障自然资源和生态承载能力的前提下发展农业生产水平，优化农业经济结构。因此模型需要和当地的农业经济发展水平和农村发展紧密集合起来。本文通过对建立农业经济、社会、环境和技术四个子系统。

### 2.1 模型边界的确定

(1) 农业经济子系统。经济子系统是直接反应有机农业发展的重要部分，因此，经济子系统是整个有机农业可持续发展系统的核心部分，技术、环境和社会都与经济发展密切相关。本文选取云南省 GDP、有机农业产值、农业投入等影响有机农业发展的经济因素作为系统变量。

(2) 农业技术子系统。在有机农业技术中要实现可持续发展，要通过合理的投资相关技术发展，以优化有机农业的发展。

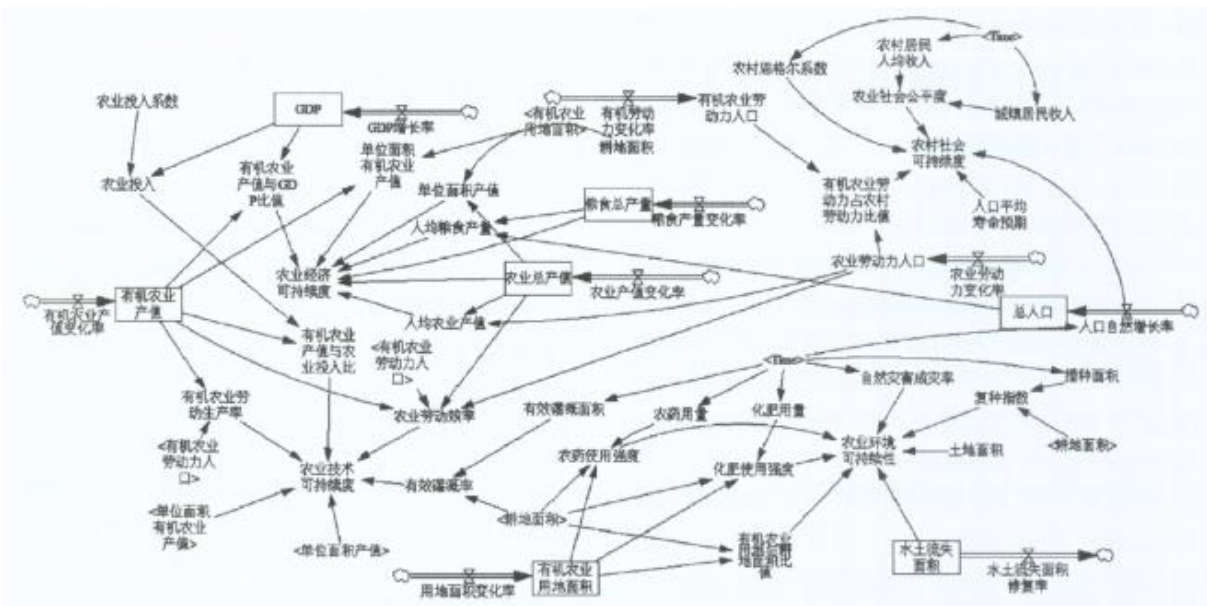
这不仅仅依靠有机农业内部本身的创新，更需要外部的城市化和工业化发展。在有机农业技术子系统中选取农业生产效率、灌溉效率、单位面积产值等作为技术子系统的变量。

(3) 农业环境子系统。有机农业本身就具有与自然环境的亲和力，但有机农业的发展不能局限在现有的生态平衡中，要在发展有机农业中增加农业要素的投入，同时保护生态环境。因此，耕地资源、林业资源、自然灾害等环境因素作为环境子系统的变量。

(4) 农业社会子系统。社会实现可持续发展就是要提高人们的生活质量，建立稳定和谐的社会。有机农业作为高附加值产业，相对于传统农业获利更大，同时对劳动力素质要求较高，若有机农业实现良性发展，可有效带动劳动力素质提高和转移剩余劳动力，从而给社会带来良好效益。本文从影响有机农业的可持续发展的社会因素入手，选取农业人口、总人口、恩格尔系数、有机农业人口比例、农村居民人均收入等作为系统变量。

### 2.2 系统模型的建立

针对云南省有机农业发展现状，分析以上4个子系统以及之间各要素的相互关系，通过 Vensim PLE 软件建立系统动力学模型，见图1。将模型的运行时间设定为2011-2025年共15年时间，时间步长STEP为1年。



注：带括号的要素为常量，其他为变量或累积量。

图1 有机农业影响下的云南农业可持续发展模型

#### 2.2.1 模型参数变量说明

本文建立的系统动力学模型，共选取9个状态变量、9个流率变量，若干个辅助变量包括常量模拟有机农业发展影响下的云南省农业可持续发展的内部因果关系和外部因素对系统的影响。考虑数据的可获性和研究目标的突出性，选取有机农业产值、用地面积、农业经济可持续度、农业技术可持续度、农业社会可持续度、农业环境可持续度等作为关键指标，忽略其他产业的影响因素以免系统过大。本文所建立的系统是对现实真实系统的简化模拟，并不包含现实社会、经济、环境等一切因素。系统

主要变量如表 1 所示。

表 1 系统动力学仿真模型主要变量

状态变量	流率变量	辅助变量（包括常量）	
有机农业产值	有机农业产值变化率	有机农业劳动生产率	农村总人口
GDP	用地面积变化率	有机农业劳动人口	农业劳动力人口
农业总产值	农业产值变化率	单位面积有机农业产值	播种面积
有机农业用地面积	GDP 增长率	有机农业用地与耕地面积比值	农业经济可持续度
水土流失面积	水土流失面积修复率	耕地面积	农业环境可持续度
粮食总产量	粮食产量变化率	有机农业产值与农业投入比	农业技术可持续
劳动力人口	人口自然增长率	单位面积产值	农业社会可持续度

本文相关数据来源于 2005-2015 年《云南统计年鉴》《中国统计年鉴》和云南省有机农业示范区等相关资料，此外根据文献总结，农业投入系数为 0.0827（社会和政府农业上的投资）；云南省近年来总耕地面积变化不大，取均值 624.389 万公顷作为常量；粮食产量总体处于稳步增长，通过 Excel 软件计算近五年来得粮食产量年均变化率为 2.11%，GDP 增长率为 9.56%，有机用地面积变化率为 3.02%。

### 2.2.2 模型检验

系统动力学模型的检验步骤如下：

一是直观检验，根据所研究的具体问题，结合基础理论和系统动力学建模原则，对模型的边界、模型的变量、模型内因果关系和方程进行检验；二是运行检验，运行 Vensim PLE 软件进行模拟，软件自动对模型的结构、方程和参数的合理性进行检验；三是历史检验，运行仿真模拟，将主要参数的模拟值与历史真实值比较，得出的误差来说明模拟效果。

本文利用 VensimPLE5.8 软件运行仿真，对 2005-2015 年云南农业主要参数的历史真实值进行比较。从仿真结果来看，该模型拟合程度较高，主要指标相对误差较小，大部分模拟值和真实值可以较为真实反应云南省农业可持续发展状况（表 2）。

表 2 模拟数据与真实数据校核

指标		2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
GDP	实际值/亿元	8893.12	10309.47	11720.91	12814.59
	模拟值/亿元	8892.12	9743.33	10674.8	11695.3
	误差率/%	0.00	-5.49	-8.925	-8.73
人口	实际值/万人	4631	4659	4686	4713
	模拟值/万人	4631	4660.64	4689.53	4718.61
	误差率/%	0.00	0.04	0.07	0.12
农业总产值	实际值/亿元	2306.49	2680.22	3056.04	3261.30
	模拟值/亿元	2306.49	2516.38	2745.37	2995.20
	误差率/%	0.00	-6.11	-10.16	-8.15
有机农业用地面积	实际值/公顷	17.47	18.4	18.87	19.8

	模拟值/公顷	17.47	18.34	19.26	20.22
	误差率/%	0	-0.33	2.07	2.12

### 2.2.3 可持续性指标分析

(1) 农业经济可持续性指标, 通过表 3 数据可知其总体呈下降趋势, 说明云南省农业产值增长逐渐乏力。模拟值显示云南省有机农业产值占 GDP 比例呈下降趋势, 并且下滑速度较快, 这表明有机农业发展没有跟上云南省全省经济发展。其他模拟指标, 如单位有机农业产值、人均粮食产量、单位农业产量、人均农业产值等指标均表现逐年上升。可以认为是云南省有机农业发展速度低于经济总发展速度, 而传统农业发展进入了瓶颈状态, 农业产值增长逐渐乏力。

表 3 云南农业经济发展可持续度和主要指标及各项模拟值

年份	单位面积产值/(万元/万公顷)	人均粮食产量/(万吨/万人)	有机农业产值占 GDP 百分比/%	农业经济可持续度
2011	36940	0.3791	2.39	0.2082
2012	40301.5	0.3846	2.26	0.1863
2013	43968.9	0.3903	2.14	0.1661
2014	47970.1	0.3961	2.02	0.1474
2015	52335.4	0.4019	1.91	0.1303
2016	57097.9	0.4079	1.81	0.1144
2017	62293.8	0.4139	1.71	0.0997
2018	67962.5	0.4200	1.62	0.0862
2019	74147.1	0.4263	1.53	0.0737
2020	80894.5	0.4326	1.45	0.0621
2021	88255.9	0.4389	1.37	0.0514
2022	96287.2	0.4454	1.29	0.0416
2023	105049	0.4521	1.22	0.0325
2024	114609	0.4588	1.16	0.0241
2025	125038	0.4656	1.10	0.0163

(2) 农业技术可持续指标, 根据表 4 数据可知农业技术可持续度也成缓慢下降趋势, 而模拟指标中的灌溉效率、有机农业生产效率和农业劳动生产效率呈缓慢增长趋势。有机农业产值占农业投入比呈下降趋势, 可以推测作为技术密度高的有机农业投入量不足, 造成农业技术可持续度缓慢下降。

表 4 云南省农业技术可持续度和主要指标及各项模拟值

年份	有机农业生产效率/(万元/万人)	单位面积有机农业产值/(万元/万公顷)	有机农业产值与农业投入比/%	农业技术可持续度
2011	7509.61	121650	28.89	0.7307
2012	7726.85	122358	27.33	0.6922
2013	7895.75	123071	25.85	0.6468

2014	8125.34	123788	24.45	0.6153
2015	8362.01	124509	23.12	0.5788
2016	8664.71	125234	21.86	0.545
2017	8978.38	125963	20.68	0.5137
2018	9303.39	126697	19.56	0.4844
2019	9640.18	127435	18.50	0.4572
2020	9989.15	128177	17.49	0.4318
2021	10350.8	128923	16.54	0.4082
2022	10725.5	129674	15.65	0.3862
2023	11113.7	130429	14.80	0.3656
2024	11516	131189	14.00	0.3465
2025	11932.9	131953	13.42	0.3287

(3) 农业环境可持续指标，根据表 5 农业环境可持续度、农药和化肥使用强度和有机用地面积占耕地面积比呈缓慢上升趋势，而水土流失面积趋于稳定。农药和化肥使用强度虽然成缓慢上升趋势，但农业环境可持续度增长趋势与有机农业用地面积占耕地面积比增长趋势较为吻合，说明有机用地面积的增长对改善农业环境具有较好作用。

表 5 云南省农业环境可持续度和主要指标及各项模拟值

年份	化肥使用强度 / (万吨/万公顷)	农药使用强度 / (万吨/万公顷)	有机农业用地与 耕地面积比值/%	农业环境 可持续度
2011	0.00794	0.3303	2.798	0.3267
2012	0.00912	0.3467	2.882	0.2912
2013	0.00904	0.3615	2.969	0.3043
2014	0.00945	0.375	3.059	0.3006
2015	0.00946	0.3754	3.152	0.311
2016	0.00947	0.3758	3.247	0.3216
2017	0.00948	0.3761	3.345	0.3325
2018	0.00949	0.3765	3.446	0.3437
2019	0.0095	0.3769	3.55	0.3551
2020	0.00951	0.3774	3.657	0.3669
2021	0.00952	0.3778	3.768	0.3789
2022	0.00953	0.3787	3.881	0.3913
2023	0.00954	0.3787	3.998	0.404
2024	0.00955	0.3792	4.119	0.417
2025	0.00957	0.3768	4.244	0.4303

农村社会可持续发展指标，根据图 2 显示农村社会可持续发展度与可持续发展指标相比较，主要是农村社会发展取决于经济发展水平，农村经济受到多方面影响如产业化、城镇化、收入差距等。有机劳动力占农村劳动力比值模拟值与农村可持续发展度增长趋势都稳定平缓变化幅度较为吻合，有两种可能并假设：假设一是，因为从事有机农业的人员一般具有较高素质和

收入，而高素质的农村劳动力增加对推动农村社会的发展具有一定的积极意义；假设二是，有机农业的发展对农村社会可持续发展影响较小，可忽略不计。下文的情景模拟实验中会给予验证。

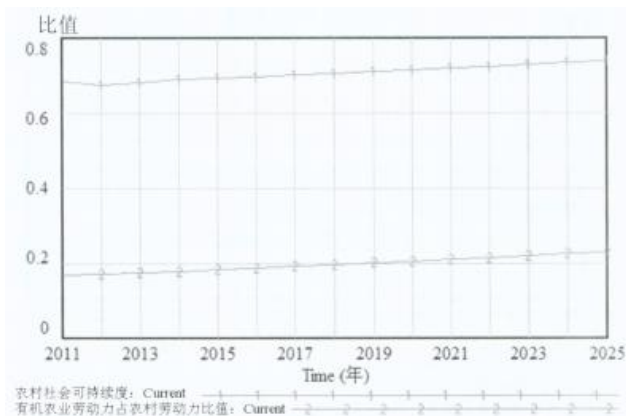


图 2 农村发展可持续度

### 3、不同情景的模拟实验和相关政策建议

#### 3.1 情景模拟实验

为了观察不同政策下云南省农业可持续发展的变化，假设三种情景，通过对模型中的参数调整，来达到对模型不同情景下的模拟实验（表 6）。

表 6 情景设置及参数变动

指标	情景 1	情景 2	情景 3
有机农业产值变化率	3.62%	15%	10%
有机用地面积变化率	3.02%	5%	7%
有机劳动力数量变化率	0.70%	0.70%	0.90%
水土流失修复率	2%	2.50%	2%

情景 1 的实验设定是在不改变任何模型参数的情况下，按照现有有机农业发展模式的云南农业可持续度趋势的模拟，并以此情景为基准。情景 2 的实验设定是注重有机农业高附加值的发展，注重品牌化、集群化发展。情景 3 的实验设定是注重有机农业规模化的扩大，增加有机农业用地面积和从业人员。仿真结果见图 3。

如图 3 所示，情景 1 的农业经济可持续度呈下降趋势，农业环境可持续发展度增速最慢，这是因为传统农业大量使用化肥导致土地肥力不断下降，农民加大化肥的使用量以保持产量，因此造成恶性循环，使得传统农业的利润越来越低，最终导致农业经济可持续发展度不断下降，而有机农业规模尚小难以扭转可持续性下降的趋势。

对比情景 1，情景 2 的设定是建立在大力发展有机品牌，一定程度上拓展生产规模，不断提高产值的前提下，其农业经济和技术可持续发展度最高，并稳步上升，农业环境可持续性适中。表明有机农业发展的繁荣程度直接关系到农业的经济和技术发展。

对比前两种趋势，情景 3 中农业环境可持续发展度最高，但农业经济和技术可持续发展度仍呈下降趋势，尽管下降幅度大大减小。这表明在现有有机农业规模上单纯增加有机农业耕地面积和相关从业人员，虽然会大大改善农业环境，但并不能彻底扭转农业经济和技术可持续度下降趋势。而农村社会可持续发展度在三种情景的模拟实验中变化很小，说明有机农业的发展对农村社会的影响基本可以忽略，这证明了上文中假设二的猜想。

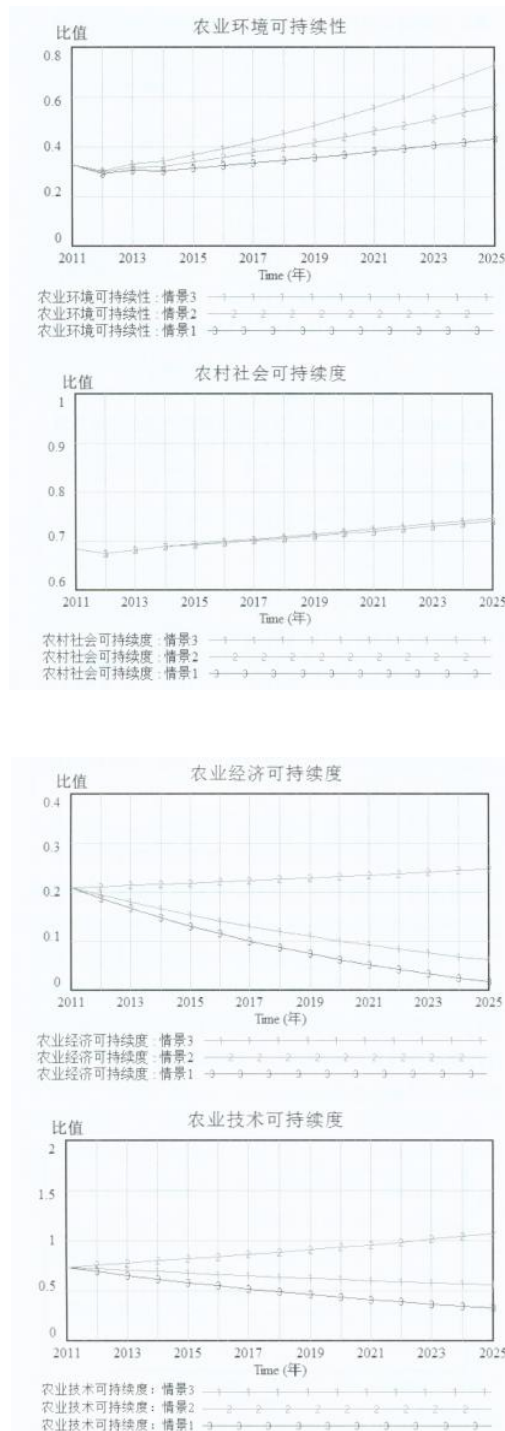


图 3 农业可持续发展情景模拟

### 3.2 政策建议

通过三种情景的模拟实验，情景 2 下的有机农业发展最有利于云南省农业可持续发展。其情景 2 的模拟设定就是在拓展有机农业用地面积基础上大力发展品牌，提高有机农业的品牌高附加值。因此可以得出，为了兼顾农业经济、技术、环境和社会四个子系统的可持续发展，云南有机农业要走产业化、集群化和品牌化发展道路，打造云南特色的有机农业。

(1) 明确有机农业产业发展定位。有机农业作为农业的一种新的生产方式，由于特殊的生产条件要求，不会完全代替常规农业的生产、加工和销售。在我国发展有机农业，需要与特定的生产环境和适应的需求阶段结合起来，否则有机农业会丧失其发展的良好机会和环境。未来我国有机农业生产面积将达到占耕地面积 3%~5%的规模，这一比例在有条件发展有机农业的区域将更高。

根据仿真模拟结果（表 3、表 5）有机生产面积虽然扩大，占耕地比例有所上升，但其占云南省 GDP 比例却迅速下降，说明有机农业产值上升速度没有跟上经济的发展。因此，云南有机农业需要打出自己品牌，提高产品附加值。目前云南省在大力发展高原特色农业，要努力走出一条具有云南高原特色的农业现代化道路。云南省有机农业发展可以依托高原特色农业的发展，走一条具有云南高原特色的有机农业道路。强调地域优势，打造云南高原有机农业特有的地理标志，进而为区域品牌的发展奠定基础。

(2) 丰富有机农业发展模式。从表 3 经济子系统比值和情景 2 的仿真结果来看，说明云南省目前有机农业的产值增长速度没有跟上农业的发展，其比重越来越低。需要改变现有的有机农业发展模式。我国目前有机农业组织生产形势主要是“公司+农户”“公司+基地”或者是两者混合，主要取决于我国农村人口多、人均耕地面积少、生产作物单一和经营分散等现状，而不得不进行以龙头企业为主导的有机农业生产模式。在这个基础上，有机农业农庄是个好的选择，不仅鼓励农民参与有机生产，还提高生产的附加值。

目前云南省在大力规划和打造一批精品农业庄园，打出高原特色农业这张品牌，使云南农业向产业化、高效化、集约精的方向转变。云南省有机农业可以搭载发展庄园经济的便车，出台政策鼓励发展有机庄园，根据云南不同地域情况和吸引不同消费群体，具体可以采用高端私家庄园模式、养生休闲庄园模式、生态家庭农场模式。

(3) 为有机农业相关合作组织和协会申报证明商标、集体商标提供支持。有机农业要走品牌化道路，必须拥有自己的商标来打造属于自己名牌。为此要鼓励农村专业经济协会和其他有关有机农产品行业协会的成立，结合当地有机农业的实际情况，制定能够反映有机农产品特点、满足消费者心理和符合法律规定的集体商标和证明商标。为了给有机农业品牌化发展提供便利，工商管理部门应对申请有机农产品证明商标和集体商标组织要简化有关手续，并免收注册费、公告费、管理费等。同时各地工商部门可以为当地提供有关服务，指导注册申报手续和鼓励为有机农产品申报商标。

## 4、结论

本文基于系统动力学研究方法，研究有机农业作为一种新型农业生产方式，对农业可持续发展所造成的影响，将云南省农业分为经济、技术、环境和社会四个子系统，把有机农业放入云南省农业这个大系统中分析各要素之间的关系，构建云南省农业可持续发展的系统动力学模型。通过历史检验，模拟近几年云南农业发展历史，验证模型的有效性。然后从有机农业未来发展角度，设置三种不同情景，模拟了有机农业对云南省未来发展的影响。

通过仿真曲线可以看出以下三点：（1）云南省农业在不改变现有的发展模式，其经济和技术可持续发展日渐乏力；（2）单纯的扩大有机农业生产规模虽然大大改善农业生态环境，也一定程度上削弱了农业经济和技术可持续发展度的下降趋势，但并不能完全扭转云南农业经济和技术可持续发展的颓势；（3）品牌化、集约化、集群化是云南有机农业良好选择，兼顾了云南

---

农业经济、技术、环境和社会四大子系统可持续发展。

在此基础上本文提出了三条政策意见：（1）明确有机农业产业的定位，依托发展高原特色农业的潮流，发展具有云南特色高原有机农业，打造云南高原有机农业的地理标志；（2）鼓励私人参与到有机农业来，搭载发展高原农庄经济的便车发展有机农庄，以丰富有机农业的生产模式；（3）为从事有机农产品生产的相关协会组织提供申请集体商标和证明商标的便利，以便可以良好地发展区域有机品牌。

本文模型中未考虑现实中的延迟、农业市场的微观行为和社会认知度等因素，模型还有待于完善。

**[参考文献]:**

[1]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 有机产品: GB/T1930.1-2011 第一部分: 生产[S]. 北京: 标准出版社, 2012.

[2]陈国卫, 金家善, 耿俊豹. 系统动力学应用研究综述[J]. 控制工程, 2012 (6) : 5-12.

[3]Sterman J D . A behavioral model of the economic long wave[J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 1985, 6 (1) : 17-53.

[4]Sterman J D . The economic long wave : Theory and evidence[J]. Springer Berlin Heidelberg, 1987, 2 (2) : 87-125.

[5]Sterman J D . Deterministic chaos in an experimental economic system[J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 1989, 12 (1) : 1-28.

[6]Sterman J D . Modeling managerial behavior : Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment[J]. Working Papers, 1987, 35 (3) : 321-339.

[7]Simonovic S P . World water dynamics : Global modeling of water resources[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66 (3) : 249-267.

[8]Poles R . System dynamics modeling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144 (1) : 189-199.

[9]Winz I, Brierley G, Trowsdale S . The use of system dynamics simulation in water resources management[J]. Water Resources Management, 2009, 23 (7) : 1301-1323.

[10]Schwarz N , Bauer A , Haase D . Assessing climate impacts of planning policies: An estimation for the urban region of Leipzig (Germany) [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2011, 31 (2) : 97-111.

[11]Chapman A , Darby S . Evaluating sustainable adaptation strategies for vulnerable mega-deltas using system dynamics modeling : Rice agriculture in the Mekong Delta' s An Giang Province, Vietnam[J]. Science of the Total Environment, 2016, 559 (2) : 326-338.

- 
- [12]王邦兆. 区域农业生态系统的系统动力学模型及仿真[J]. 统计与决策, 2001 (12) : 36-37.
- [13]涂国平, 贾仁安. 以沼气工程为纽带的农业科技园系统反馈结构分析[J]. 中国沼气, 2004 (1) : 25-27.
- [14]曾 蓓, 胡雨村. 黑龙江农业可持续发展系统动力学模型仿真[J]. 中国农学通报, 2015 (26) : 279-284.
- [15]程叶青, 李同升, 张平宇. SD 模型在区域可持续发展规划中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2004 (12) : 13-18.
- [16]张子珩, 濮励杰, 周秀慧. 乌海市可持续发展的系统动力学模型仿真[J]. 干旱区资源与环境, 2010 (12) : 55-60.
- [17]闫清卿. 赤峰市可持续发展能力的系统动态仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2006.
- [18]李 蓉, 赵 敏. 南京市社会经济可持续发展的水利需求仿真分析[J]. 科技与经济, 2010 (5) : 92-96.
- [19]杨 松, 涂婉丽, 刘志宏, 等. 云南省有机农业的现状·问题与对策[J]. 安徽农业科学, 2007 (18) : 5573-5575.
- [20]孙 菁, 孙文莫, 陈 祯, 等. 云南有机农产品认证现状与分析[J]. 安徽农业科学, 2015 (10) : 299-300.
- [21]翟书华, 侯思名, 刘凌云, 等. 云南大理州拉乌乡有机烟种植调查与分析研究[J]. 昆明学院学报, 2011 (6) : 27-30.
- [22]马银梅, 沈朝春, 魏为群, 等. 禄劝发展有机农业的必要性和可行性[J]. 云南农业, 2013 (3) : 15-16.