

山地农业种植结构演变特征及其调控途径分析——以贵州省为例^{*1}

邓灵稚^{1, 3} 苏维词^{1, 2*} 杨振华² 郑群威¹

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆沙坪坝 400047;

2. 贵州省山地资源研究所, 贵州贵阳 550001;

3. 重庆市育才中学校, 重庆 400050)

【摘要】:为分析山地农业种植结构的演变特征及其主要驱动因子, 制定种植结构的调控途径, 采用 C-PCA 耦合模型(典型主成分分析)对贵州省 1949~2013 年种植结构演变的 15 个驱动因子进行分析。结果表明:(1) 贵州省 1949~2013 年种植结构逐渐向市场导向型转变, 经济作物比重上升, 粮食作物比重下降, 粮食作物和经济作物产量分别以 7.24%和 2.95%的速率增长;(2) 通过 C-PCA 耦合模型的贡献率得出种植结构演变的主要驱动因子为总人口、城市化水平、仓储运输业比重、年均气温、年降水量和农业人口比重, 其对应累计贡献率达 86.04%;(3) 调控山地农业种植结构, 不仅需要发展山地高效复合型农业, 提高种植系统抗灾能力, 还需借助农产品生产、加工、销售云平台实现农业的可持续发展, 从而为山地农业经济的发展提供重要支撑。

【关键词】:山地; 种植结构; 驱动力; C-PCA; 调控途径

【中图分类号】:S162.57 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2017)08-1141-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201708004

岩溶地区农耕地分布零散, 高原山地面积比重大, 耕作层贫瘠且稀薄, 坝子地面积相当有限, 容易造成水土流失与石漠化。在城市化与气候变化的双重背景下, 岩溶地区传统农业的粗放型生产方式呈现出种植结构单一, 规模化程度低, 生产效率低, 市场化水平低等弊端。分析岩溶地区农业种植结构演变的驱动因子及其调控措施, 对发挥山地农业资源优势, 提高农业的经济效益, 促进农业可持续发展具有重大的意义^[1~3]。

¹ 收稿日期:2017-02-10; 修回日期:2017-05-15

基金项目:贵州省重大应用基础专题(黔科合 JZ 字 [2014] 200206) [Major Application Foundation Project of Guizhou Province(JZ [2014] 200206)]; 贵州省科技厅创新人才团队计划(黔科合人才团队 [2014] 4014) [Science and Technology Department Innovation Talents Team Plan of Guizhou Province([2014] 4014)]

作者简介:邓灵稚(1990~), 女, 硕士研究生, 研究方向为人文地理与区域发展. E-mail:acecilia204@sina.com

***通讯作者** E-mail:suweici@sina.Com

国内外学者对农业种植结构演变与优化研究集中于采用不同的模型分析种植结构演变时空格局^[4, 5]，探讨农业发展与城市化过程的关联性^[6~8]，预测农业发展趋势^[9, 10]，提出种植结构优化策略^[11]等方面。如宋晓媚等利用农业种植结构变化率、结构系数、转换方向系数等指标，研究了城市化过程中都市农业种植结构演化特征^[12]。戴明宏提出岩溶小流域农业可持续发展优化模式及各种模式实践的优缺点^[13]。蒋黎采用固定效应模型和随机效应模型，研究城市化进程中土地扩张对于农业土地利用的影响^[14]。不难发现，已有研究对城市化背景下种植结构演变与调控方式分析仍存在以下不足：一是城市化进程对农作物种植结构的影响机制机理分析不深入，采用数学模型分析种植结构的演化特征未与调控措施探讨联系起来。如常规性措施对生态—环境—社会—经济差异大的岩溶地区是明显不适宜的。二是单纯考虑各种社会经济因素对作物种植面积的影响，未综合分析气候变化、城市化等多重驱动因子的影响，仅从作物种植面积变化来衡量种植结构，忽略了单产、复种指数对农业种植结构的影响，研究结果真实性有待进一步验证。

基于此，本文在分析贵州省 1949~2013 年农业种植结构(产量)演变的基础上，采用典型相关性分析(CCA)与主成分分析(PCA)的耦合模型典型主成分分析法(C-PCA)，对贵州省种植结构演化过程的驱动因子进行分析，提出针对不同岩溶背景下的种植结构调控途径，为贵州省农业扶贫与种植结构调整提供决策依据。

1 岩溶地区农业种植结构驱动机制

在气候变化背景下，岩溶地区水热指数的时空差异愈加明显，作物宜种面积、生长态势和产量均会受到较大影响^[15, 16]。如气候变暖过程中，年均温持续攀升，喜热作物的种植面积逐渐向高海拔或偏北地区扩展，特别是地貌类型多样，地形起伏大的河谷地区，山地立体农业优势显著，导致热带、亚热带作物宜种面积扩大，产量大幅上升。另外，水热指数匹配不协调，也易引发旱涝等农业气象灾害。随着岩溶地区社会经济的发展，农业生产技术和城市化水平都有很大的提高。城镇景观的扩展直接挤占农业种植空间分布，耕地种植面积区域下降，同时农业产值的下降，也导致务农人口比重的下降，人口也逐渐向城市集聚，城市成为了农产品最主要的消费区^[17]。在市场需求和日益完善的基础设施的驱动下，农民自愿选择减少粮食作物的种植，而增加经济作物的种植，并将农产品转入市场销售，如贵州省历年来热带水果、蔬菜、山地中药材等种植面积和产量都得到了明显提升。交通运输和仓储物流业的发展，使农产品的市场销售范围和途径也在不断扩展，农作物种植结构向集约化、专业化、市场化的方向转变^[18]。综上所述，岩溶地区农业种植结构的演变受到自然—社会—经济方面多层因素的影响，种植结构的调整也面临着多方面的机遇和挑战，其驱动机制与过程也较为复杂(图 1)。因此，依据种植结构的驱动机制，定量化研究气候变化与城市化进程中农业种植结构的演变规律，对提出切实可行的种植结构调控措施具有重要意义。

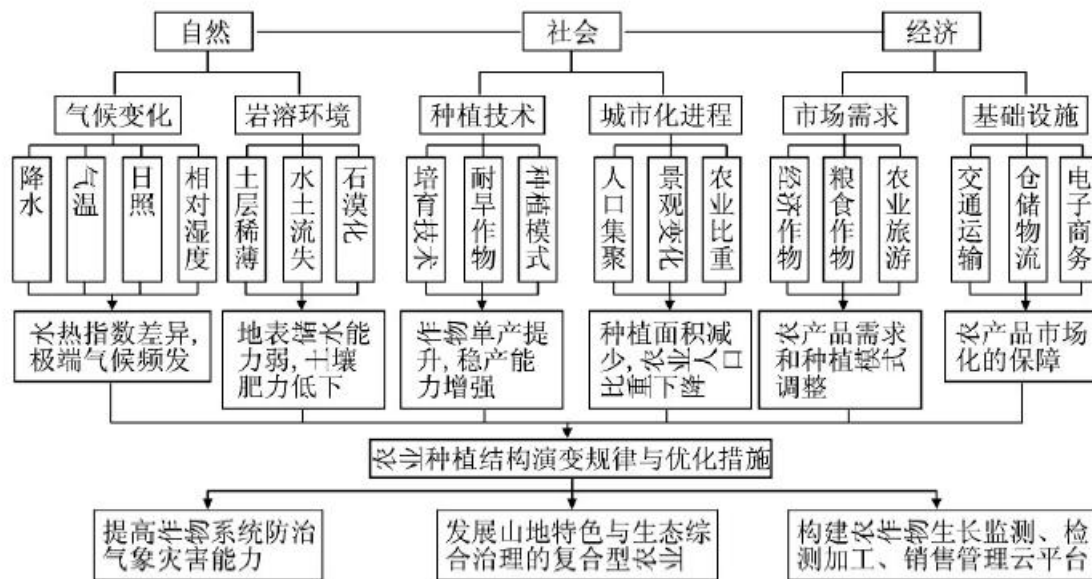


图 1 岩溶地区种植结构演变的影响机制

Fig. 1 Impact Mechanism of Agricultural Structure Evolution in Mountainous Area

2 研究区概况

贵州省地处世界上岩溶地貌发育最典型的地区之一，岩溶地貌面积 109084km²，占全省土地总面积的 61.9%。全省主要地形为高原、山地、丘陵和盆地 4 种基本类型，其中 92.5% 的面积为山地和丘陵^[19]。全省复杂多样的生态环境，蕴藏着极为丰富的农业资源，生物多样性优势突出。其中，农业栽培的粮食、油料、经济作物有 30 多种，水果品种 400 余种，可食用的野生淀粉植物、油脂植物、维生素植物主要种类 500 多种。同时，山地气候昼夜温差大，四季分明，有利于干物质等营养成分的积累；境内山体、河谷交错，对病虫传播具有一定的阻隔作用，病虫害相对较少。耕地、水源和大气受工业及城市“三废”污染较少，具备发展生态畜牧业、粮食、蔬菜、水果、中药材等特色产业的优势和潜力^[20]。

3 数据与方法

3.1 数据来源

以农产品产量结构来表征农业种植结构的演变特征，兼具农业种植面积和单产两种属性，使数据分析更加全面合理。本文涉及的农业种植结构中产量、种植面积等数据主要来源于《贵州省六十年》（1949—2008）以及《贵州省统计年鉴》（2009—2014）等资料整理，其产量值是通过单产、播种面积和复种指数计算得到，其中，单产值是各个县级农作物单产的统计平均值，播种面积通过历年影像解译得到；气象要素采用 1961~2013 年 17 个国家台站的历年月平均值。另外，由于蔬菜单产相对比较稳定，部分年份的蔬菜产量通过播种面积换算而来。

3.2 研究方法

典型主成分分析法(C-PCA)是在 CCA 与 PCA 进行耦合基础上形成的关联性分析方法，是在揭示两组多元随机变量之间相关性的统计方法^[21]。其基本思路是在对应分析的迭代过程中，原始数据的排序值均与因子进行多元线性回归，使之直接反映原始数据对因子排序结果的影响，然后采用 PCA 原理去除经过 CCA 筛选方法的“弓形效应”，对影响因子作进一步分析，确定主要影

响因子^[22]。即：

$$X_i = b_0 + \sum_{j=1}^q b_j Z_{ij} \quad (1)$$

式中： X_i 是第 i 个原始指标的排序值； b_0 是截距； b_j ($j=1, 2, 3\cdots, q$, q 为影响因子)是原始指标与第 j 个影响因子之间的回归系数； Z_{ij} 是第 j 个影响因子的第 i 个原始值。

CCA 排序过程如下^[23]：

(1)求原始数据矩阵 $y=\{y_{ik}\}$ 的行和 y_{ik} 及列和 y_{ik} ； $i=1, 2, \cdots, n$, n 为样本数； $k=1, 2, \cdots, m$, m 为种类数。其次，任意给出一组样本的排序初始值。

(2)用加权平均法求种类排序值 U_k ：

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik} x_i}{y_{ik}} \quad (2)$$

在以加权平均法计算新的样本排序值：

$$X_i^m = \frac{\sum_{k=1}^m y_{ik} U_k}{y_{ik}} \quad (3)$$

以多元回归求各环境因子的回归系数，权重根据原始数据矩阵行和：

$$b = (Z^T R Z)^{-1} Z^T R x \quad (4)$$

这里 $Z=\{Z_{ij}\}$ 为环境数据矩阵， b 和 x 为向量， $b=(b_0, b_1, \cdots, b_n)^T$ ， $x^*=(x_0^*, x_1^*, \cdots, x_n^*)^T$ ， R 是由原始数据行和组成的对角线矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} y_{1t} & & \\ & \ddots & \\ & & y_{nt} \end{bmatrix} \quad (5)$$

重新计算样本排序值：

$$\bar{X} = Zb \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_i)^T \quad (6)$$

重复公式(4~7)迭代过程，直到新得到的排序值等于前一迭代结果时，同理，可以得到第二、第三排序轴^[24]。

本文综合自然(气候条件、耕地状况等)和社会经济(人口结构、城市化水平等)等 15 个原始驱动因子，先采用去趋势相关分析(DCA)法验证原始数据是否适合 CCA 分析，然后，利用 PCA 确定影响种植结构演变的主要驱动因子。DCA 和 CCA 排序分析在软件 CANOCO4.5 中完成，Pearson 相关性分析通过 SPSS19.0 来完成。

4 结果与分析

4.1 种植结构演变特征

在气候条件和社会经济因素影响下，1949~2013 年贵州省粮食作物与经济作物产量呈逐步上升趋势，其区别在于各类农产品比重和上升速度不同，种植结构的现代化水平不断提升，市场化程度愈加明显。由图 2 可知，1949~2013 年贵州省粮食作物中增幅比较明显的是蔬菜、玉米和薯类，其对应增长率为 5.4%、4.3%和 8.2%，其次为稻谷和小麦等作物，种植结构由稻谷主导型变成蔬菜主导型。在粮食作物中，稻谷产量整体呈波动式缓慢增长的态势，其值虽从 1949 年的 211.05 万 t 提升至 2013 年的 361.3 万 t，但稻谷产量比重却从 57.2%下降至 50.4%。其中 1959~1961 年期间，受大跃进运动以及牺牲农业发展工业等国家政策的影响，导致稻谷产量比重大幅下降。与之相比，蔬菜产量由 1949 年的 78.3 万 t 大幅上升至 2013 年的 991.1 万 t，蔬菜产量比重从 21.3%上升至 45.8%，特别是改革开放以来，人口激增并逐渐向城市集聚，对蔬菜需求量迅速增加。另外，人口增长对粮食的需求量加大，也导致薯类和玉米产量快速增长，与水稻、小麦等主粮作物相比，其种植条件要求较低，复种指数高，种植面积广，对满足人口对粮食的需求具有重要作用。如 2013 年薯类和玉米的产量分别为 263.4 和 298 万 t，为稻谷产量的 1.6 倍。

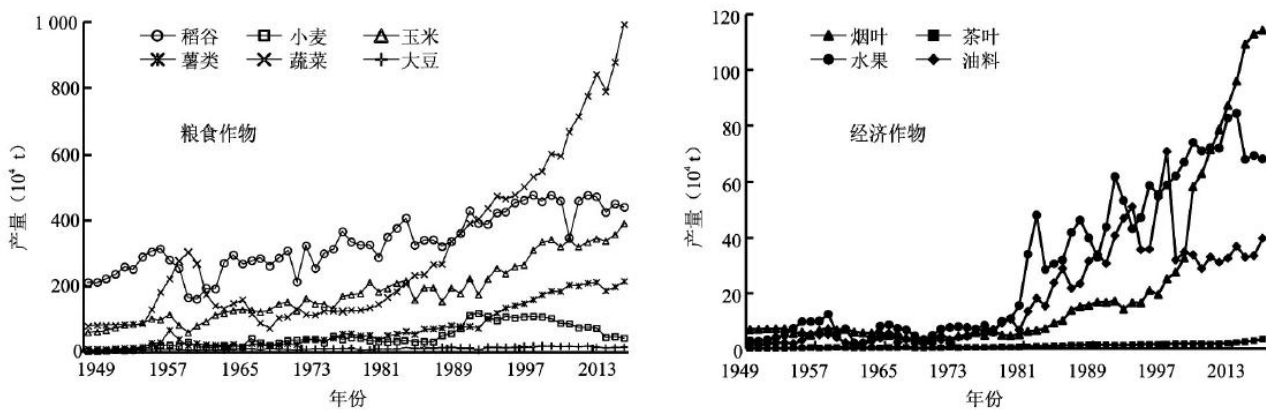


图 2 1949~2013 年贵州省种植结构演变特征

Fig. 2 Characteristics of Agricultural Structure Evolution in Guizhou Province During 1949-2013

就经济作物而言，全省经济作物产量急剧上升，各类作物增幅差异较大。其中，水果产量在 1949~2013 年期间增长了 160.8 万 t，增幅达 23 倍多，成为经济作物中比重最大的种类，其比重达 72.5%。其缘于 1978~2013 年全省进入快速城市化阶段，居民对水果的需求量不断增加，水果消费市场不断扩大，水果种植的市场化水平也越来越高。烟叶和油料作物基本呈波动上升的

趋势，油料作物增速相对稳定，64a 来年均增速为 10.9%；而烟草产量增长可分成快速增长和缓慢增长两个时期，1949~1997 年为快速增长期，年均增速达 14.4%；1998~2013 年间增幅下降，增速放缓，年均增速仅为 2.5%，其主要因为国家烟草政策的变更。受种植地域和作物特征的限制，茶叶产量比重相对较小，但增长速度较快，年均增速为 7.1%。

总体来说，贵州省 1949~2013 年种植业市场化水平不断提升，粮食作物呈现出传统自给农业向市场导向型农业转变的趋势，经济作物产量不断提升，农作物种植结构更加合理。这表明在快速城市化过程中，市场需求等社会经济因素逐渐成为种植结构演变的关键驱动因素。

4.2 种植结构演变驱动力

为验证气候—社会—经济等条件对种植结构演变的贡献率，本文采用 C-PCA 耦合模型定量化筛选出贵州省种植结构演变的主要驱动因子。

4.2.1 CCA 重要性排序

CCA 分析所需要两个连续且呈正态分布的数据集分别是作物种植结构与驱动因子。在分析过程中，对数据集中的年均气温 (X_1)、年降水量 (X_2)、年日照时数 (X_3)、年均湿度 (X_4)、仓储运输业产值 (X_5)、贸易餐饮业产值 (X_6)、人均 GDP (X_7)、城市化水平 (X_8)、总人口 (X_9)、农业人口比重 (X_{10})、常用耕地面积 (X_{11})、水田面积比重 (X_{12})、化肥使用量 (X_{13})、新造林面积 (X_{14})、农业产值比重 (X_{15}) 等 15 个指标重要性进行排序，且重要性越大，相关性也越大。数据集的 DCA 分析结果 (表 1) 表明：其历年种植结构数据的第 I 轴向累计方差贡献率为 69.6%，梯度间距达 0.78 (>0.4)，故应采用 CCA 分析法对贵州省 1949~2013 年农业作物种植结构与驱动因子的重要性进行分析。

表 1 1949~2013 年贵州省种植结构的 DCA 与 CCA 特征
Tab. 1 DCA and CCA Characteristics of Agricultural Structure in Guizhou Province During 1949–2013

轴向	特征值		梯度间距		累计方差贡献率	
	DCA	CCA	DCA	CCA	DCA	CCA
I	0.070	0.066	0.784	0.970	69.6	75.7
II	0.009	0.014	0.520	0.954	78.1	91.5
III	0.002	0.005	0.320	0.817	81.1	97.2
IV	0.001	0.002	0.364	0.698	81.4	99.0

由表 1 的 CCA 的分析结果可知，排序轴总特征值为 0.087，其 I 和 II 轴向的梯度间距分别为 0.97 和 0.95，两者累计方差贡献率为 91.5%，说明两个排序轴集中了种植结构演变与驱动因子关系的绝大部分信息，即种植结构与驱动因子的相关性主要体现在第 I、II 排序轴上。由种植结构与驱动因子的双序图 (图 3) 可知， X_1 、 X_2 、 X_5 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 、 X_{12} 等 8 个驱动因子对种植结构演变驱动影响较为明显。这表明耕地面积的改变直接影响水稻和大豆的种植面积，也决定两者产量结构的调整；水果、蔬菜受仓储运输业影响最大，其次为年均气温和水田面积比重，且水果、蔬菜产量与仓储运输业和年均气温呈正比，与水田面积比重呈反比。在轴向 III 中，薯类、茶叶、烟叶和油料作物均受市场需求影响较大，城市化水平越高，总人口越大，其产量、需求量也越大。在轴向 VI 中，相比于小麦产量，玉米产量受年降水量和农业人口比重的影响较大，说明玉米种植面积比重高，农业劳动力投入较大。由于小麦种植比例较小，故其受年降水量和农业人口比重的影响小。

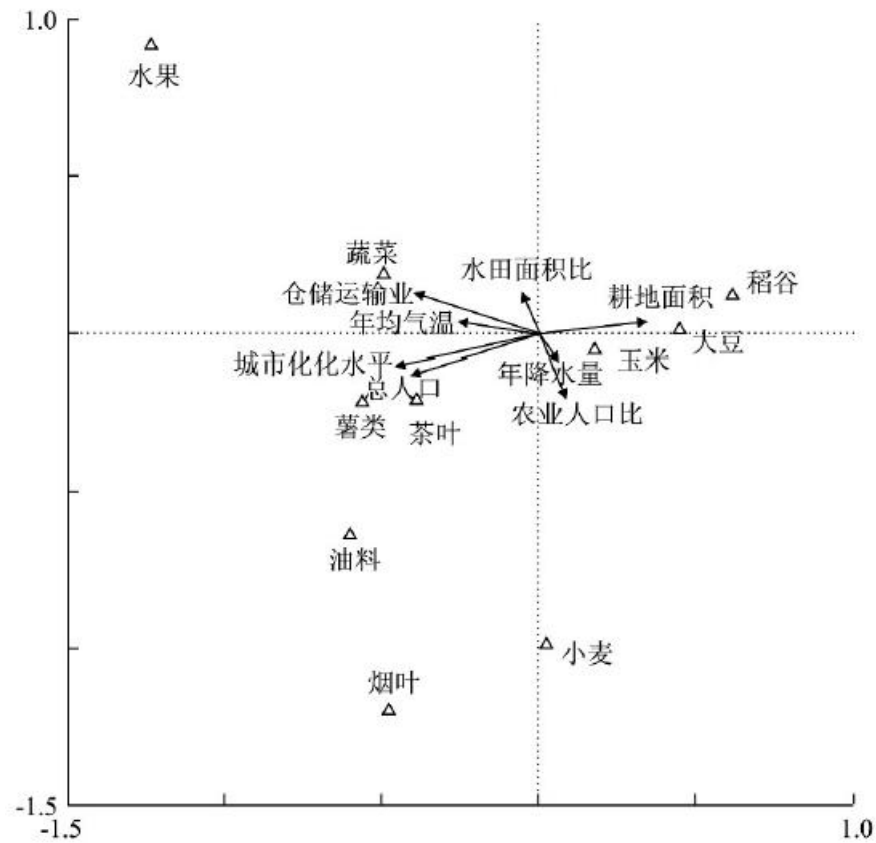


图 3 1949~2013 年贵州省种植结构与
驱动因子的 CCA 双序图

Fig. 3 CCA correlation Sequence of Agricultural Structure
and Driving Factors in Guizhou 1949-2013

4. 2. 2PCA 线性降维分析

由于 CCA 分析法采用单峰模型对驱动因子与农作物相关性进行排序，缺乏影响程度的定量化表达。为定量分析各个驱动因子对种植结构的贡献率，消除因子之间的信息重叠和“弓形效应”，本文采用 PCA 法在对 8 个驱动因子进行标准化^[25]的前提下，得出因子间相关系数矩阵、特征根、主成分及主成分载荷(表 2)，从而确定种植结构演变的主要驱动力。

表 2 特征值及主成分贡献率及其载荷 Z_{1-3}
Tab. 2 Characteristic Value and Principal Component
Contribution Rate and Its Load Z_{1-3}

主成分	贡献率			驱动因子	荷载分布		
	特征值	贡献率	累计贡献率		Z_1	Z_2	Z_3
Z_1	3.42	42.71	42.71	X_1	0.56	<u>0.60</u>	-0.22
Z_2	1.50	28.80	71.51	X_2	0.00	0.24	<u>0.59</u>
Z_3	1.16	14.53	86.04	X_5	<u>0.85</u>	-0.12	-0.25
Z_4	0.97	12.12	88.16	X_8	<u>0.91</u>	0.03	0.19
Z_5	0.43	5.38	93.54	X_9	<u>0.94</u>	0.05	0.18
Z_6	0.28	3.55	97.09	X_{10}	-0.16	-0.25	<u>0.75</u>
Z_7	0.19	2.40	99.48	X_{11}	-0.79	0.44	-0.14
Z_8	0.04	0.52	100.00	X_{12}	0.00	-0.91	-0.21

根据各主要驱动因子的相关系数矩阵，得到表 2 中各驱动因子和主成分的贡献率。由表 2 可知，前 3 个特征根主成分累积贡献率已达到 86.04%，即前 3 个主成分对贵州省种植结构演变的解释程度达到了 80%以上，可将这 3 个主成分及其表征的因子作为影响种植结构演变的主要驱动力，同时，可为种植结构优化对策分析提供依据。主成分与原始指标的相关性由主成分载荷来表征(表 2)，通过分析主成分载荷矩阵，识别各主成分的综合意义^[26]，分析出影响种植结构演变的主要驱动因子。

从表 2 可知，贵州省种植结构演变的主要驱动力集中在 3 个方面，对应主要驱动因子如下。

(1) 社会经济因素

第 1 主成分 Z_1 在 X_5 、 X_8 、 X_9 上具有较大的载荷，其平均荷载达 0.9，分别代表了仓储运输业、城市化水平和总人口 3 个驱动因子，综合反映社会经济活动对农业种植结构的影响。贵州省高原山地地形广布，山高坡陡，交通不便，严重限制了全省农产品的贸易往来，特别是对交通运输要求相对较高的生鲜水果、蔬菜等农产品，而仓储运输业的发展对全省农产品市场化提供了有力保障。另外，人口的快速增长，对粮食的需求量增加，促使主粮产量在种植结构中的比重提升。1949 年的贵州省总人口仅为 1416.4 万人，2013 年上升至 3502.22 万人，按人均 400kg/a 计算，其对主粮的需求将达到 1400.89 万 t，而当时全省水稻、小麦的产量仅为 1029.99 万 t，存在较大的粮食供需缺口，因此，薯类和玉米便成为水稻、小麦之外的重要主粮，其产量和比重也呈持续上升趋势。城市化水平作为综合指标，区域城市化水平越高，城市对经济作物和粮食作物的消费量就越大，种植结构的市场化水平也越高，贵州省 1949~2013 年粮食作物、经济作物产量与城市化水平的线性回归方程(图 4)也有效证明了两者的正向相关性。

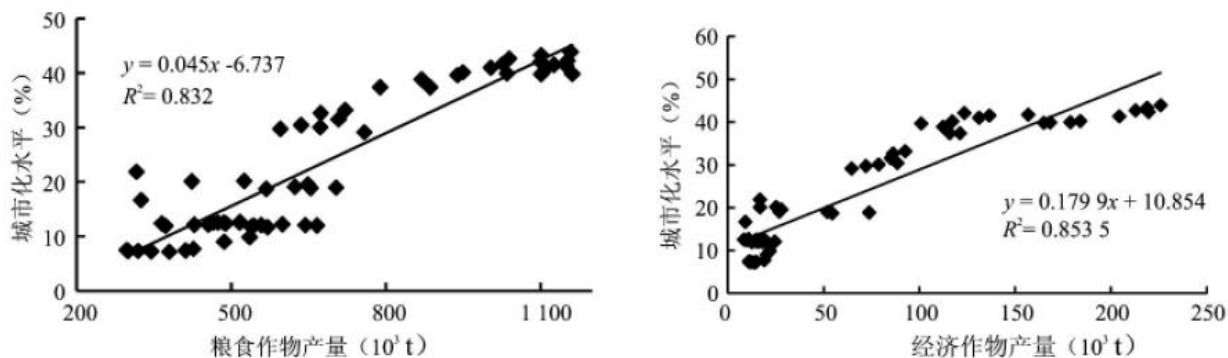


图4 1949~2013年贵州省粮食作物产量与城市化回归分析

Fig. 4 Regression Analysis of Grain Crop Yield and Urbanization in Guizhou Province During 1949–2013

(2) 农业投入要素

第2主成分 Z_2 与 X_1 的相关程度较高,第3主成分 Z_3 与 X_2 、 X_{10} 的相关程度较高,这3个指标分别为年均气温、年降水量和农业人口比重。 Z_2 与 Z_3 的特征值分别为1.50和1.16,对应贡献率为28.8%和14.53%,以上3个指标反映了全省气候条件和农业人口投入对农业种植结构变化的影响。农业投入要素中,全省年均降水和气温受全球气候变化的影响,各年平均气温呈小幅度上升的趋势,降水多年平均值基本稳定,表现出贵州省气候变化特征以暖湿化为主(图5)。而年均气温的升高对农业的影响可分成两方面:一是部分受低温胁迫的作物种植面积将持续扩大,如亚热带水果在贵州南部干热河谷的种植面积加大、产量提升。在水分充足的地区,温度升高也有助于农作物单产的普遍提升。二是高温加剧地表水蒸发和植物蒸腾作用,使贵州部分地区趋于干热化,也会导致夏旱受灾面积的扩大,特别是需水量大的水稻,将会受到夏旱的威胁。因此,年均气温对地区种植结构影响的地区差异较大。另外,岩溶地区主要是精耕细作的传统农业为主,农业生产因地表形态限制,难以实施规模化生产,农作物种植离不开高密度劳动力的投入。如经济作物中的水果和茶叶,两种作物的生产都需要大量的人力成本。

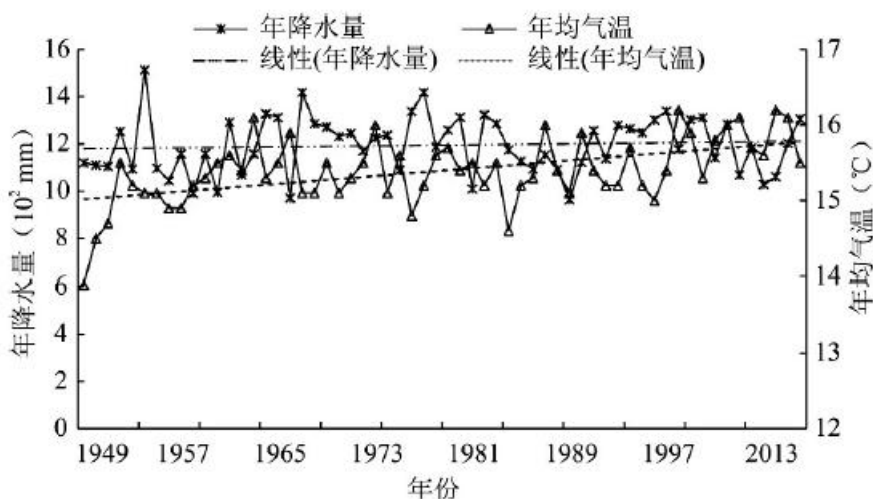


图5 贵州省1949~2013年水热状况变化特征与趋势

Fig. 5 Characteristics and Trend of the Change of Water and Heat Condition in Guizhou Province During 1949–2013

4.3 农业种植结构调控途径

依据岩溶地区农业种植结构演变的主要驱动因子，提出贵州省农业种植结构调控途径，为提升农作物的生产效率，促进种植业健康稳定的发展奠定良好基础。

4.3.1 构建农产品生产、加工、销售云平台

贵州省是典型的山区省份，山地和丘陵面积比重大，独特的自然气候和丰富的生物资源，使其成为发展无公害、绿色、有机农产品的天然理想场所，山地农作物种植优势和潜力突出。通过融合物联传感技术、通信技术以及计算机技术实现“三化合一”（网络化、智能化、自动化），构建农作物生产、加工、销售云平台，精准的对粮食作物与经济作物的生产过程进行远程控制、智能预警和溯源检测。根据农产品市场需求，优先种植市场前景较好的经济作物，如热带水果种植，蔬菜种植等。利用大数据平台，扩展农作物市场化渠道，实现农产品信息互联互通，满足市场多样化的需求。

4.3.2 发展山地特色与生态治理的复合型农业

贵州省水土流失与石漠化现状严峻，生态环境治理任务重，发展现代山地特色高效农业的同时，应当与生态治理相结合。根据生态环境和地形地貌差异，在干热河谷地区发展热带经济作物种植业，在开阔坝子地发展稻谷粮食作物种植，在坡耕地发展旱地薯类、玉米种植。另外，在石漠化地区发展生态治理农业，以生态治理为主要目标，发展中草药等作物种植，充分利用岩溶地区水土资源，促进农业经济持续较快增长，为贵州省社会经济发展奠定坚实基础。

4.3.3 提升作物系统的抗灾能力

贵州省气候兼具山地高原气候和季风气候两种特征，水热指数时空异质性强，极端气候事件频发，导致农业气象灾害发生概率高，农作物暴露度较大。提升作物系统的抗灾能力需要从以下3个方面努力：(1)国家和地方政府加大对水利工程重视程度和资金的投入，重点加快骨干工程和小河流域项目建设，“五小”水利工程建设，提高全省有效灌溉面积比重。(2)示范和推广耐旱农作物，挑选耐寒、抗旱、高产的优良作物品种。同时，调整种植结构，减少粮食作物种植面积，增加经济作物的种植面积比重。(3)在进行土地整治和中低产田改造的同时，推广农艺、农机、生物技术为主的抗旱保水技术，推广低压输水喷灌、滴灌、渗灌等先进抗旱节水技术和方法，提高农业水资源利用率。

5 结论与讨论

岩溶地区种植结构的变化是在城市化、气候变化和岩溶生态环境综合影响下的结果，为分析其演变的主要驱动力，本文以贵州省为例，利用C-PCA耦合模型对贵州省1949~2013年种植结构演变过程进行分析，得到如下结论。

(1)1949~2013年贵州省农业类型逐渐向市场主导型转变，各类农作物产量整体呈波动上升趋势，尤其是1978年改革开放以来，粮食作物和经济作物产量分别以年均9.54%和2.51%的速率增长，经济作物比重由1949年的4.1%上涨至2013年的18.6%。粮食作物中的稻谷、玉米和土豆成为居民主要粮食种类，经济作物中水果产量大幅提升，成为最主要的经济作物种类。

(2)与单纯使用CCA或PCA模型分析驱动力相比，C-PCA模型不仅能充分体现驱动因子与种植结构的关联性，克服CCA模型“弓形效应”的缺点，也有利于减少驱动因子之间的信息冗余，能更准确的找出贵州省种植结构演变的主要驱动因子。驱动力分析表明贵州省主要驱动因子为社会经济和农业投入因子，其累计贡献率达86.01%。

(3)本文在驱动力分析中囿于数据获取有限，特别是农业生产结构中各成分的产值、产量和种植面积等数据缺失，不能对所

有驱动因子与种植结构演变的相关性进行分析；对于 CCA 分析中选取的 15 个分析指标是否恰当，是否能反映岩溶地区种植结构演变的主要驱动要素有待于进一步研究；本文的研究尺度限制在贵州省，虽能把握贵州省整体种植结构的演变规律和驱动因子，但由于未对地级、市县的种植结构演变特征进行分析，不能反映种植结构演变的空间差异性，以上不足将是本研究进一步深化的方向。

参考文献：

- [1] 郭焕成. 我国休闲农业发展的意义、态势与前景 [J]. 中国农业资源与区划, 2010, 31(1) : 39—42.
- 【GUO H C. The significance situation and prospects of the development of leisure agriculture in China [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources & Regional Planning, 2010, 31(1) : 39—42. 】
- [2] TANG J S, XIA R Y, YUAN X U, et al. Causes and countermeasures to drought in mountainous agricultural area in central Guangxi [J]. Carsologica Sinica, 2006, 34(5) : 1417—1423.
- [3] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近 30 年中国农作物种植结构时空变化分析 [J]. 地理学报, 2016, 71(5) : 840—851.
- 【LIU Z, YANG P, WU W B, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5) : 840—851. 】
- [4] 周迪, 程慧平. 中国农业现代化发展水平时空格局及趋同演变 [J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2015, 14(1) : 25—35.
- [ZHOU D, CHENG H P. Evolvement of Convergence and Spatial Patterns of Agricultural Modernization in China [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 14 (1) : 25 —35. 】
- [5] 李泽鸣, 魏占民, 白燕英, 等. 内蒙古引黄灌区种植面积与种植结构的时空演变 [J]. 干旱区研究, 2014, 31(2) : 348—354.
- 【LI Z M, WEI Z M, BAI Y Y, et al. Spatiotemporal Evolution of Planting Area and Planting Structure in the Irrigated Areas along the Yellow River in Inner Mongolia [J]. Arid Zone Research. 2014, 31(2) : 348—354. 】
- [6] 钱陈, 史晋川. 城市化、结构变动与农业发展——基于城乡两部门的动态一般均衡分析 [J]. 经济学(季刊), 2006, 6(1) : 57—74.
- 【QIAN C, SHI J C. Urbanization, Structural Change and Agricultural Development: A Dynamical General Equilibrium Model [J]. China Economic Quarterly, 2006, 6(1) : 57—74. 】
- [7] 赵亮. 城市化进程中农业生产结构调整及发展方向 [J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(1) : 151—154.
- 【ZHAO L. The adjustment and development of agricultural production structure in the process of urbanization [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(1) : 151—154. 】

-
- [8] 徐群,程毅. 上海人口城市化进程与农业经济发展关系研究[J]. 统计与决策, 2010(20): 95—97.
- 【XU Q, CHENG Y. Study on the relationship between population urbanization and agricultural economic development in Shanghai [J]. Statistics & Decision, 2010 (20): 95—97. 】
- [9] 高小升. 全球气候谈判影响下的世界农业发展前景[J]. 中国农村经济, 2014(2): 82—91.
- 【GAO X S. World agricultural development prospects under the influence of global climate negotiations [J]. Chinese Rural Economy, 2014(2): 82—91. 】
- [10] 程叶青. 国内外农业地域结构研究进展与前沿科学问题[J]. 经济地理, 2009, 29(8): 1360—1364.
- 【CHENG Y Q. Progress studies and frontier scientific issues on agriculture territorial structure at home and abroad [J]. Economic Geography, 2009, 29(8): 1360—1364. 】
- [11] 齐爱荣,周忠学,刘欢. 西安市城市化与都市农业发展耦合关系研究[J]. 地理研究, 2013, 32 (11): 2133 — 2142.
- 【QI A R, ZHOU Z X, LIU H. The coupling relationship between urbanization and urban agriculture development in Xi' an city [J]. Geographical Research, 2013, 32 (11): 2133 —2142. 】
- [12] 宋晓媚,周忠学,王明. 城市化过程中都市农业景观变化及其生态安全评价——以西安市为例[J]. 冰川冻土, 2015, 37(3): 835—844.
- 【SONG XIAOMEI, ZHOU ZHONGXUE, WANG MING. Evaluation of the change of urban agricultural landscape and its ecological security under urbanization: a case study in Xi'an City [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(3): 835—844. 】
- [13] 戴明宏,张军以,王腊春,等. 西南岩溶小流域农业可持续发展优化模式研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 254—259.
- 【Dai M H, Zhang J Y, Wang L C, et al. Optimum modes of sustainable agricultural development in karst small watersheds of southwestern China [J]. Carsologica Sinica, 2015, 34 (3): 254—259. 】
- [14] 蒋黎,崔凯. 中国城市化、农业土地利用强度和空间格局的变化研究——基于东、中、西部县域面板数据[J]. 农业技术经济, 2014, (1): 56—64.
- 【JIANG L, CUI K. Urbanization, agricultural land use intensity and spatial pattern change in China—Based on panel data in eastern, central and western counties [J] Journal of Agrotechnical Economics, 2014, (1): 56—64. 】
- [15] 邓振镛,张强,刘德祥,等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27 (4): 627—632.

【DENG Z Y, ZHANG Q, LIU D X, et al. Effects of Climate Warming on Cropping Structure and Crop Growth in Gansu Province [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27 (4) :627—632. 】

[16] 刘德祥, 董安祥, 梁东升, 等. 气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (5) : 831—836.

【LIU D X, DONG A X, LIANG D S, et al. Affect of Climate Warming on Crops Planting Structure in Arid Zone of Northwestern China [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27 (5) :831—836. 】

[17] 蔡波, 陈昭玖, 翁贞林. 粮食主产区农村劳动力转移对农业及粮食生产影响的调研分析——以江西为例 [J]. 农林经济管理学报, 2008, 7 (4) : 50—53.

【CAI B, CHEN Z J, WENG G. Investigation and analysis of the influence of rural labor transfer on agriculture and grain production in major grain producing areas—Taking Jiangxi as an example, [J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2008, 7 (4) : 50—53. 】

[18] 吴清华, 李谷成, 周晓时, 等. 基础设施、农业区位与种植业结构调整——基于 1995—2013 年省际面板数据的实证 [J]. 农业技术经济, 2015 (3) : 25—32.

【WU Q H, LI G C, ZHOU X S, et al. Infrastructure, agricultural location and cropping structure adjustment—An Empirical Study Based on provincial panel data from 1995 to 2013 [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015 (3) : 25—32. 】

[19] 贵州师范大学地理研究所. 贵州省地表自然形态信息数据量测研究 [M]. 贵州科技出版社, 2000.

[20] 贵州省统计局. 贵州统计年鉴. 2014 [M]. 中国统计出版社, 2014.

[21] MAZURUSE P. Canonical correlation analysis [J]. Journal of Financial Economic Policy, 2014, 6 (2) : 179—196.

[22] BRAAK C J F K. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector method for multivariate director gradient analysis [J]. Ecology, 1986, 67: 1167—1179.

[23] 张金屯. 植被与环境关系的分析 II: CCA 和 DCCA 的限定排序 [J]. 山西大学学报 (自然科学版), 1992, 15 (3) : 292—298.

【ZHANG J C. Analysis of relationships between vegetation and its environmental variables. II. CCA and DCCA constrained ordinations [J]. Journal of Shanxi University, 1992, 15 (3) : 292—298. 】

[24] NG S L, SIN F S. A diatom model for inferring sea level change in the coastal water of Hong Kong [J]. Journal of Paleolimnology, 2003, 30 (4) : 427—440.

[25] 周松秀, 田亚平, 刘兰芳. 南方丘陵区农业生态环境脆弱性的驱动力分析——以衡阳盆地为例 [J]. 地理科

学进展, 2011, 30(7) : 938—944.

【ZHOU S X, TIAN Y P, LIU L. F. Analysis of Driving Forces of Agricultural Eco-environmental Vulnerability in the Hilly Area in Southern China: A Case Study in Hengyang Basin [J] . Progress in Geography, 2011, 30(7) : 938—944. 】

[26] 朱健宁, 吴群. 耕地资源数量变化及其驱动力分析——以无锡市为例 [J] . 土壤, 2008, 40(2) : 193—199.

【ZHU J N, WU Q. Variation of Acreage of Cultivated Land and Its Driving Forces—A Case Study of Wuxi City [J] . Soils, 2008, 40(2) : 193—199. 】