

# 青藏高原农业现代化时空分异及其驱动机制

刘玉洁<sup>1,2</sup>, 吕 硕<sup>1</sup>, 陈 洁<sup>1,2</sup>, 张 婕<sup>1,2</sup>, 邱双娟<sup>3</sup>, 胡一帆<sup>4</sup>, 葛全胜<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016;

4. 中国地质大学, 北京 100191)

**摘要:** 农业现代化是当代农村建设的重要内容和社会经济文明发展的重要衡量标准。本文基于1990—2017年青藏高原统计数据, 构建农业现代化综合指标体系, 运用熵值法计算各指标权重, 进而获得农业现代化指数和各项指标贡献度, 以此评估高原农业现代化发展时空特征和驱动因子。研究表明: ① 1990—2017年青藏高原农业现代化水平普遍偏低(全区平均农业现代化指数为0.15), 呈增加趋势; ② 从空间上看, 农业现代化水平相对较高的地区分散在高原北部、西南部、南部边缘和一江两河的德格县、涅中县、白朗县、浪卡子县等部分县域; ③ 农业现代化指标中, 单位耕地面积用电量、有效灌溉率和土地生产率对高原农业现代化水平影响最大(对农业现代化指数的贡献度分别为13%、12%和11%), 其中单位耕地面积用电量和土地生产率增加促进了农业投入水平和农业产出水平, 是农业现代化的主要正向驱动因子; 单位耕地面积农药使用量的增加不利于环境可持续发展, 是农业现代化的主要负向驱动因子。

**关键词:** 青藏高原; 农业现代化; 发展水平; 时空分异; 驱动因子

DOI: 10.11821/dlxb202201015

## 1 引言

农业是国民经济的基础, 农业现代化是全球发展的大趋势。随着经济、技术和社会的发展, 当前农业现代化可广泛定义为: 以优质、高效、生态和安全为要求, 用现代工业装备农业, 用现代科技、方法改造和管理农业, 用现代社会化服务体系服务农业, 以提高土地产出率、劳动生产率和资源利用效率, 增强农业抗风险、可持续发展的能力以及提升国际竞争力, 促进农村社会全面发展<sup>[1]</sup>。在市场经济、及全球化、一体化大背景中, 发展现代农业是世界各国现代化建设的一个重要组成部分, 同样也是农业可持续发展的有效途径<sup>[2]</sup>。对于发展中国家而言, 农业现代化也是国家经济增长的动力<sup>[3]</sup>, 是中国建设小康社会, 全面实现现代化的重要方面<sup>[4]</sup>。中国农业现代化研究始于20世纪70年代, 在农业现代化发展模式探索<sup>[5]</sup>、农业现代化格局时空演化<sup>[6-7]</sup>、不同空间尺度的农业现代化发展水平指标构建和测算<sup>[8-9]</sup>等方面的研究已取得较大进展。相较于发达国家, 中国目前的农业现代化水平仍相对落后, 且具有明显的地域差异, 农业现代化水平呈现从东部—东北部—中部依次递减的格局<sup>[6]</sup>。区域维度的农业现代化发展水平空间分异的研究仍

收稿日期: 2020-08-05; 修订日期: 2021-06-09

**基金项目:** 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20040301, XDA28060200); 国家自然科学基金优秀青年基金项目(42122003); 中国科学院青年创新促进会会员人才专项(Y202016) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA20040301, No.XDA28060200; National Science Fund for Excellent Young Scholars, No.42122003; Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Sciences, No.Y202016]

**作者简介:** 刘玉洁(1982-), 女, 博士, 研究员, 主要从事全球变化与粮食安全研究。E-mail: liuyujie@igsrr.ac.cn

有待完善,农业现代化驱动因子及其驱动机制尚不明确。因此,在构建合理农业现代化指标体系基础上,细化并评价不同区域农业现代化时空格局,解析农业现代化驱动机制,对准确把握中国农业现代化发展水平,制定相关政策,推进中国农业现代化建设具有重要意义<sup>[10]</sup>。

作为一个独特的地理单元,青藏高原有“地球第三极”和“世界屋脊”之称<sup>[11-12]</sup>,对区域气候和水资源,以及周边地区生态环境和人类活动有深刻影响,具有明显的气候变化敏感性和环境生态脆弱性<sup>[13-16]</sup>。其独特的地理环境和资源条件决定了农牧业是其地表资源利用的主体方式,在粮食安全、生态环境安全和社会经济发展及稳定等方面起到了重要作用<sup>[17]</sup>。虽然当前青藏高原农业已有了长足发展,但该地区农业生产仍主要依赖于农业自然条件,导致区域农牧业生产结构不尽合理,农业集约度低、开发利用程度低,发展缓慢<sup>[11, 17]</sup>。近年来,在人类活动干扰和气候变化加剧的驱动下,不当放牧和不合理的农业生产导致土地退化,森林和草地面积锐减,植被覆盖下降<sup>[18-20]</sup>;农药、化肥、地膜等带来的污染日益加剧,使青藏高原生态环境问题逐渐加剧<sup>[21-22]</sup>。加之人口、社会经济发展的制约,导致区域农业发展存在较大的不确定性<sup>[23]</sup>。相比其他地区农业现代化水平仍有很大差距<sup>[6, 24]</sup>。因而,从农业投入、产出和环境可持续发展角度,明确过去青藏高原农业现代化发展水平及其时空变化特征,解析农业现代化发展的驱动因子,对于指导该地区农业生产、维护区域稳定和可持续发展,乃至中国农业现代化建设具有实际意义。

## 2 数据与方法

### 2.1 研究区和数据

本文以县为研究单位,包括西藏自治区全部的74个县、四川省39个县、青海省44个县、甘肃省20个县、新疆维吾尔自治区12个县和云南省13个县,6省(自治区)共202个县(图1)。由于青藏高原的一些县农业生产所占比重很小,实际纳入研究的县共167个。数据包括1990—2017年各县逐年农林牧渔劳动力、耕地面积、用电量、粮食产量、农业生产总值、化肥和农药施用量等,来自西藏、四川、青海、甘肃、新疆和云南统计年鉴。

### 2.2 指标体系构建

农业现代化评价指标体系的构建需满足综合性、导向性、客观性、可比性和可行性基本原则<sup>[3]</sup>。本文从农业投入、产出和农业可持续发展水平3个维度,构建多层次的农业现代化综合评价指标体系<sup>[6, 8, 25]</sup>。其中,一级指标农业现代化水平为农业现代化最终综合评定结果,以农业现代化指数作为评价标准;二级指标包括农业投入、产出和农业环境可持续发展水平,分别以农业投入指数、农业产出指数和农业环境可持续发展指数作为评价标

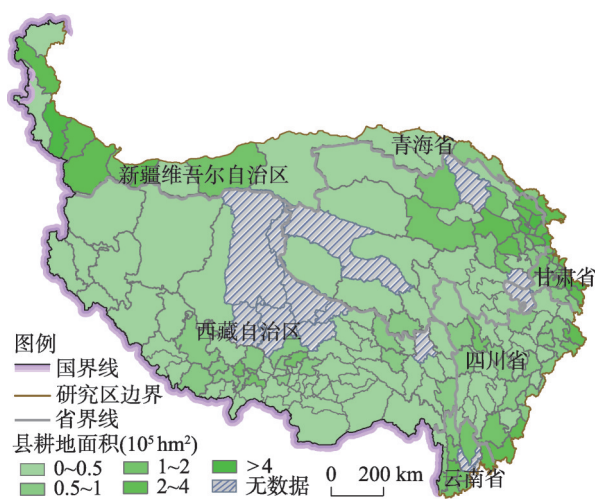


图1 研究区域概况

Fig. 1 Study area and the cultivated land area of each county on Qinghai-Tibet Plateau

准；三级指标包括农业劳动力所占比重、有效灌溉率、粮食作物单产、单位耕地面积农药使用量等12个指标（表1）。12个指标中，农业投入水平包括农业劳动力所占比重、劳均耕地、单位耕地面积农机总动力、单位耕地面积用电量4个三级指标，体现了农业规模经营水平和农业机械化投入水平，农业产出水平包括粮食作物单产、农业产出增长率、土地生产率和劳均粮食产量，反映了农业土地产出、资源利用效率水平，农业环境可持续发展水平包括单位耕地面积农药使用量、单位面积化肥施用量和土地整理面积，其中单位农药使用量和单位耕地面积化肥施用量为负向指标，体现农业发展的生态环境标准，土地整理面积反映了农业的可持续发展的基础。

## 2.3 研究方法

**2.3.1 熵值法确定权重** 采用熵值法确定各级指标的权重<sup>[26-27]</sup>。为消除各指标间因量纲不同而对评价结果产生的影响，对各项指标进行标准化处理（公式（1）和公式（2）），根据指标性质选取正向指标或负向指标：

$$\text{正向指标: } x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中： $x_{ij}$ 为第*j*项指标的第*i*个值； $x_{\max}$ 为第*j*项指标值的最大值； $x_{\min}$ 为第*j*项指标的最小值； $x'_{ij}$ 为标准化值。

则第*j*项评价指标的权重计算方法如公式（3）所示：

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{i=1}^n e_j} \quad (3)$$

式中： $e_j$ 为第*j*项评价指标的信息熵，计算公式如下：

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}, \quad K = \frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (0 \leq y_{ij} \leq 1) \quad (5)$$

式中： $m$ 表示研究的总年数，本文中 $m = 28$ ； $n$ 表示该级指标的总指标数，本文中二级指标个数为3，三级指标个数为12。

**2.3.2 农业现代化指数** 通过多目标线性加权求和评估模型计算投入指数、农业产出指数和农业可持续发展指数，在此基础上进一步计算农业现代化指数，以此测度农业现代化综合水平，各级指数在0~1之间，指数值越大表明农业现代化水平越高<sup>[19]</sup>：

$$U_i = \sum_{j=1}^k x_{ij} w_j \quad (6)$$

式中： $U_i$ 为第*i*年综合评价指数； $x_{ij}$ 为第*j*项指标第*i*年标准化指标的占比； $k$ 为指标数； $w_j$ 为第*j*项指标的权重，计算方法如公式（3）所示。

**2.3.3 农业现代化指标贡献度** 青藏高原农业现代化驱动因子的贡献度以各指标在农业现代化指数中占比表示：

$$P_j = \frac{x'_j}{U} \times 100\% \quad (7)$$

式中： $P_j$ 为第*j*项指标的贡献度； $x'_j$ 为第*j*项指标的标准化值； $U$ 为农业现代化强度指数。

表1 青藏高原农业现代化评价指标体系及指标权重

Tab. 1 Indicator system of agricultural modernization and weights of indicators on Qinghai-Tibet Plateau						
一级指标	二级指标	权重	三级指标	计算方法	正/负向指标	权重
农业现代化水平	投入水平	0.30	A1 农业劳动力所占比重(%)	农林牧渔劳动力/乡村劳动力	正向	0.04
			A2 劳均耕地面积(hm <sup>2</sup> 人 <sup>-1</sup> )	耕地面积/农林牧渔劳动力	正向	0.11
			A3 单位耕地面积农机总动力((Kw h) hm <sup>-2</sup> )	农业机械总动力/耕地面积	正向	0.11
			A4 单位耕地面积用电量(万(Kw h) hm <sup>-2</sup> )	农村用电量/耕地面积	正向	0.12
			A5 有效灌溉率(%)	有效灌溉面积/耕地面积	正向	0.09
	产出水平	0.68	B1 粮食作物单产(kg hm <sup>-2</sup> )	粮食产量/耕地面积	正向	0.07
			B2 农业产出增长率(%)	(当期农业产值/上年农业产值)-1	正向	0.08
			B3 土地生产率(元 hm <sup>-2</sup> )	农业产值/耕地面积	正向	0.13
			B4 劳均粮食产量(kg 人 <sup>-1</sup> )	粮食产量/农业从业人员数	正向	0.10
	环境可持续发展水平	0.26	C1 单位耕地面积农药使用量	农药使用量/耕地面积	负向	0.05
			C2 单位耕地面积化肥施用量(kg hm <sup>-2</sup> )	化肥施用量/耕地面积	负向	0.04
			C3 土地整理面积(耕地增加面积)(hm <sup>2</sup> )	当期耕地面积-上年耕地面积	负向	0.05

3 结果分析

3.1 农业投入、产出、可持续发展现代化时空变化特征

1990—2017年青藏高原各县平均农业投入指数在0.01~0.27之间，空间变异系数为0.27，空间变异较小（图2a）。其中，有40%个县农业投入指数在0.20以上，相对高值区分布在青藏高原东部和北部边缘的和田县、若羌县、理县、稻城县、湟源县等。其中，德格县、理县、民乐县的农业投入指数最高。青藏高原农业产出指数在0.01~0.21之间，相对高值的区域主要分布在高原南部一江两河地区及其周边县域、东南部的青海、西藏和四川交界地区以及青海东北部，其中，宕昌县、石棉县和隆子县农业产出指数最高（图2b）。全区农业产出指数空间变异较小（空间变异系数为0.23），变动较大的区域主要在高原南部的一江两河以及甘肃、四川和青海交界县域。总体上，青藏高原全区农业环境可持续发展指数偏低，各县指数在0.004~0.11之间，空间差异较小（变异系数为0.18），约75%的县农业环境可持续发展指数在0.065~0.11之间，相对低值区分散在高原南部地区和西北部地区（图2c）。亚东县、乌恰县、泸水县、贵南县和夏河县农业环境可持续发展指数最高，在0.095以上。

图3表示青藏高原1990—2017年农业投入指数、农业产出指数、农业环境可持续发展指数时间变化趋势及其区域累积概率。1990—2017年青藏高原农业投入指数、农业产出指数、农业环境可持续发展指数分别为0.20、0.12和0.14。全区50%（25%~75%保证率下）县域的农业投入指数、农业产出指数、农业环境可持续发展指数分别在0.11~0.30、0.06~0.18和0.06~0.10之间。1990—2017年青藏高原农业投入指数、农业产出指数均呈增加趋势，平均增加率为0.12 10a<sup>-1</sup>和0.09 10a<sup>-1</sup>；农业环境可持续发展指数呈下降趋势，平均下降率为0.02 10a<sup>-1</sup>。其中，1990—2017年间约90%以上的年份农业产出指数低于农业投入指数，农业产出指数在1990—2003年波动性缓慢增长，2005年以后显著增加，2013年后呈下降趋势。



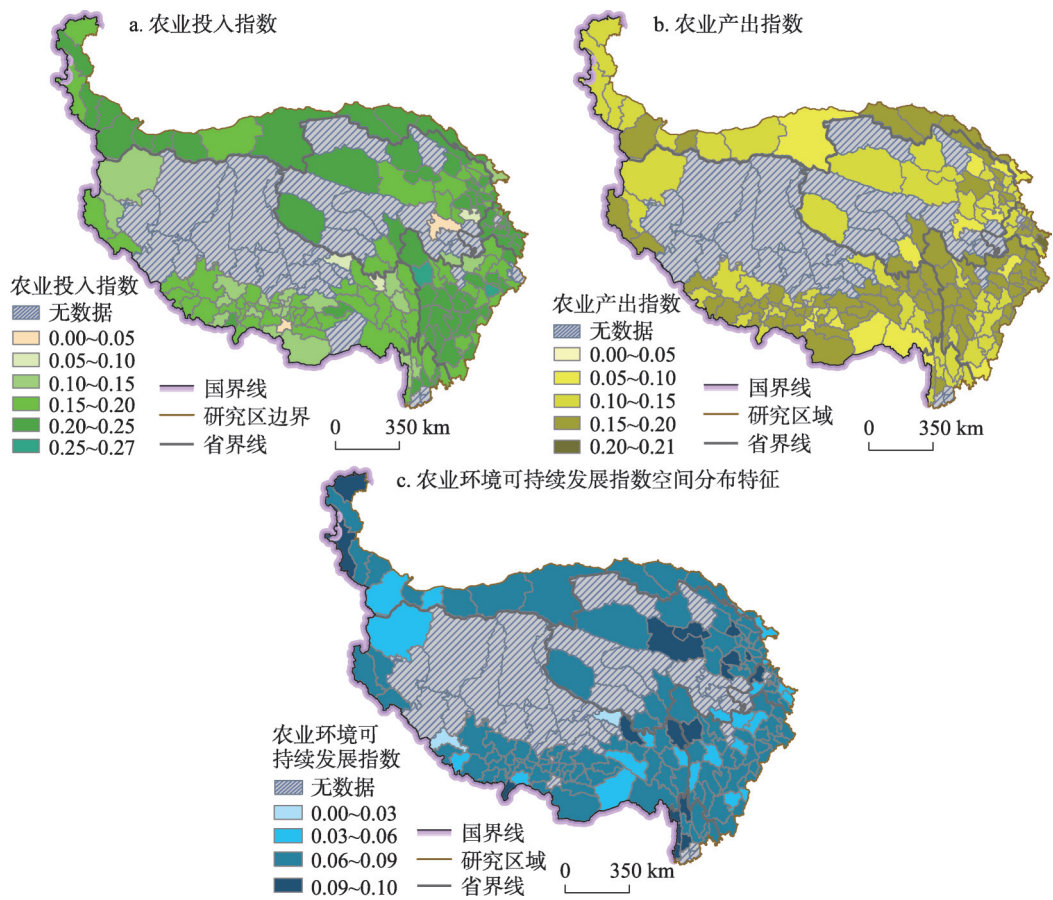


图2 1990—2017年青藏高原农业投入指数、农业产出指数和农业环境可持续发展指数空间分布特征

Fig. 2 Spatial distribution the agricultural input index, agricultural output index and agricultural environmental sustainable development index on Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

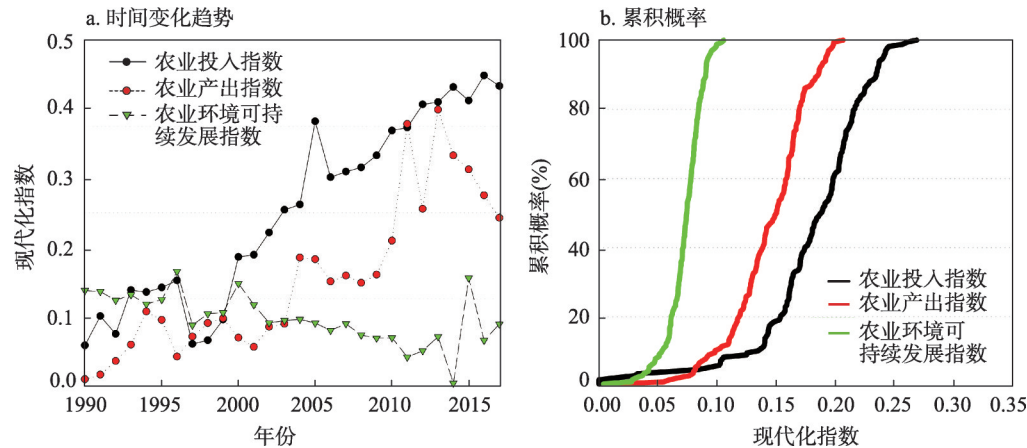


图3 1990—2017年青藏高原农业投入指数、农业产出指数、农业环境可持续发展指数时间变化趋势及其累积概率

Fig. 3 Trends and cumulative probabilities of the agricultural input index, agricultural output index and agricultural environmental sustainable development index on Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

### 3.2 农业现代化空间变化特征

1990—2017年青藏高原各县平均农业现代化指数在0.01~0.20之间, 区域空间变异系数为0.22, 空间差异较小(图4)。高原约75%的县域年平均农业现代化指数在0.11~0.18之间, 相对高值区(0.15~0.21)的县域分布较为分散, 高原北部、南部边缘地区和西南部地区个别县域农业现代化指数较高, 玛沁县、巴青县、泽库县等8县的农业现代化指数最低, 均小于0.1(图4)。1990—2017年高原各县农业现代化指数普遍呈增加趋势, 1990—2000年农业现代化指数增加的县域主要分布在高原东部的青海、甘肃和四川的交界地区, 而2006—2017年农业现代化指数增加的县域主要分布在高原南部的一江两河地区和高原东南部的青海、四川和西藏的交界地区; 相较于1990—1995年, 2011—2017年农业现代化指数高于0.15的县域增加约6倍(图4a~4e)。

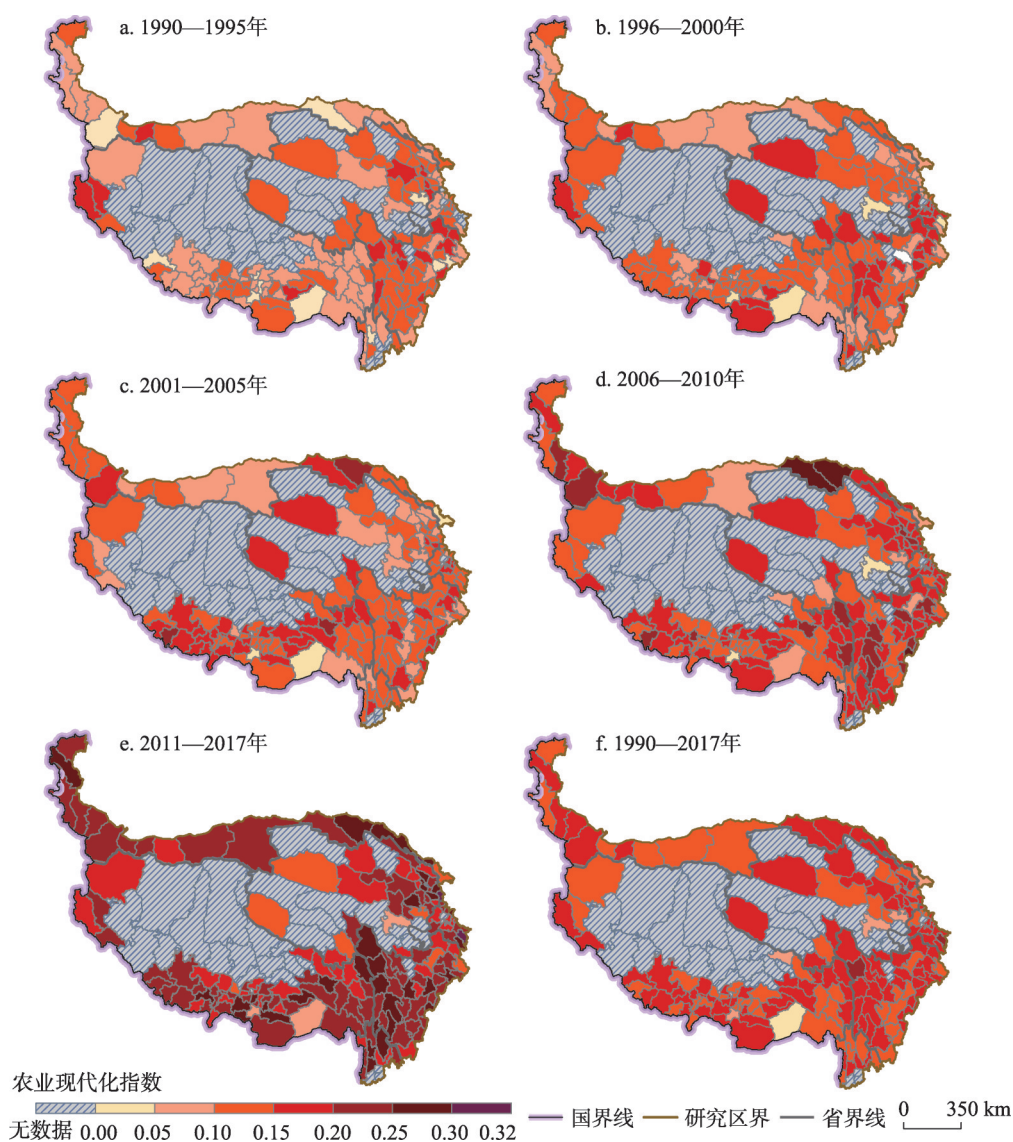


图4 1990—2017年青藏高原农业现代化指数空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of the index of the agricultural modernization on Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

根据龙东平等<sup>[6]</sup>对全国农业现代化发展水平等级的划分,本文基于SPSS软件对青藏高原县级农业现代化指数进行了聚类分析,将青藏高原农业现代化发展水平划分为5个等级:低、较低、中等、较高和高(表2)。根据农业现代化水平等级划分,1990—2017年高原约75%(126个县)的县年平均农业现代化指数在0.06~0.15,为青藏高原农业现代化的相对中等和较高水平;8%(13个县)的县为低水平和较低中水平,约17%(28个县)的县达到高水平(图5)。农业现代化水平较高的区域主要零星分布在高原的青海东南部、四川、西藏、新疆的个别县域。

3.3 农业现代化时间变化特征

1990—2017年青藏高原区域平均农业现代化指数在0.02~0.21之间,多年平均值为0.15,总体呈波动增加趋势,平均每10年增加0.10(图6a)。计算1990—1995年、1996—2000年、2001—2005年、2006—2010年和2011—2017年不同时段各级农业现代化水平县域数目占青藏高原总县域数目百分比,发现处于农业现代化低水平(农业现代化指数小于0.06)和较低水平(农业现代化指数在0.06~0.11之间)的县域数目逐步降低,其占比分别由1990—1995年的11.0%和43.9%下降到2011—2017年的1.2%和2.4%(图6b)。处于农业现代化中水平(农业现代化指数在0.11~0.15之

表2 青藏高原农业现代化水平等级划分标准  
Tab. 2 The classification standards of development levels of agricultural modernization on the Qinghai-Tibet Plateau

分区	等级	农业现代化指数范围
低水平	I	0.0~0.06
较低水平	II	0.06~0.11
中等水平	III	0.11~0.15
较高水平	IV	0.15~0.18
高水平	V	≥ 0.18

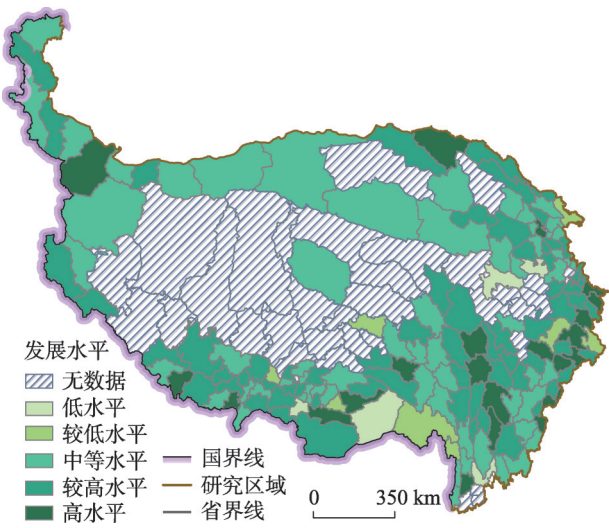


图5 1990—2017年青藏高原农业现代化发展水平空间分异  
Fig. 5 Spatial distribution of development level of agricultural modernization on the Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

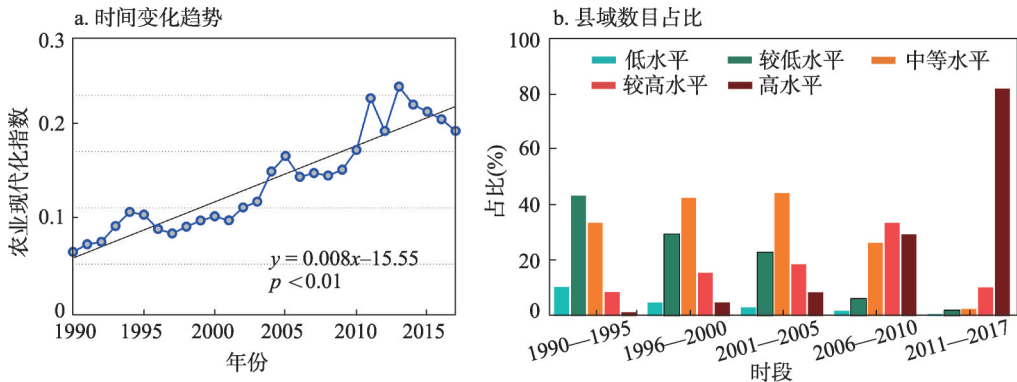


图6 青藏高原农业现代化指数时间变化趋势和不同时段各水平农业现代化水平的县数目占比变化  
Fig. 6 Temporal trends of the index of the agricultural modernization and the ratio of counties for different agricultural modernization development levels on Qinghai-Tibet Plateau

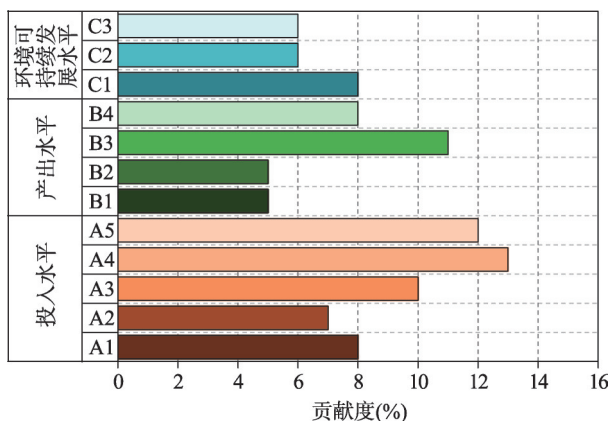


间)、较高水平(农业现代化指数在0.15~0.18之间)和高水平(农业现代化指数 $\geq 0.18$ )的县域数目在1990—2017年持续增加(图6b)。农业现代化中等水平和较高水平县域数目占比在1995—2000年显著增加,分别由1990—1995年的34.1%和9.1%增加到1996—2000年的43.1%和16.2%,相对增加26.2%和76.8%,农业现代化中等水平和较高水平的县域数目分别在2006—2017年和2011—2017年有所降低,主要是由于农业现代化中等水平和较高水平的县域向更高级水平转变。高水平县域数占比在2006—2017年增加显著,由2006—2010年的29.9%,增加到2011—2017年的82.6%,相对增加230%,主要由于农业现代化较低水平和中等水平的县域向高水平转变。总体而言,1990—2017年青藏高原农业现代化虽呈增强趋势,但全区现代化水平仍相对较低。

### 3.4 农业现代化驱动因子解析

根据农业现代化指标对农业现代化指数的贡献度筛选青藏高原农业现代化发展的主要驱动因子(表1、图7)。从贡献度来看,农业投入水平对农业现代化的总贡献度为50%,农业产出水平的总贡献度为29%,农业环境可持续发展水平的总贡献度为20%。可见,农业投入水平和农业产出水平对高原农业现代化的影响更大,是高原农业现代化水平增加的主要原因。1990年以来青藏高原农业环境可持续发展指数呈下降趋势,农业投入指数和农业产出指数持续增加。进一步量化三级指标对农业现代化水平的贡献度,对农业现代化指数影响较大的依次为

单位耕地面积用电量、有效灌溉率和土地生产率,对农业现代化指数的贡献度分别为13%、12%和11%(图7)。1990—2017年,青藏高原单位耕地面积农药使用量呈波动性增加趋势(图8c),单位耕地面积用电量和土地生产率呈持续增加趋势(图8a、8b)。由于单位耕地面积用电量和土地生产率为正向指标,其增加趋势对高原农业现代化强度为正向促进作用。单位耕地面积农药使用量为负向指标,农药使用量的增加是农业环境可持续发展现代化指数下降的主要原因,是高原农业现代化发展的负向驱动因子。



注: 其中A1~A5、B1~B4、C1~C3分别表示农业投入水平、农业产出水平和农业环境可持续发展水平的指标体系中各项指标(表1)。

图7 1990—2017年青藏高原农业现代化各项指标贡献度

Fig. 7 Contributions of each index of agricultural modernization on Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

1990—2017年青藏高原全区平均农业现代化指数为0.15,农业现代化水平整体呈上升趋势,农业现代化指数平均每10年增加0.10,区域空间差异较小。农业现代化水平较高地区主要分布在甘肃、青海以及西藏南部一江两河地区和高原东南部的德格县、湟中县、白朗县、浪卡子县等县域。青藏高原农业投入水平、农业产出水平和农业环境可持续发展水平对农业现代化水平的贡献度分别为50%、30%和20%,其中,农业投入水平、农业产出水平总体呈增加趋势,是高原农业现代化发展的主要原因。农业现代化各



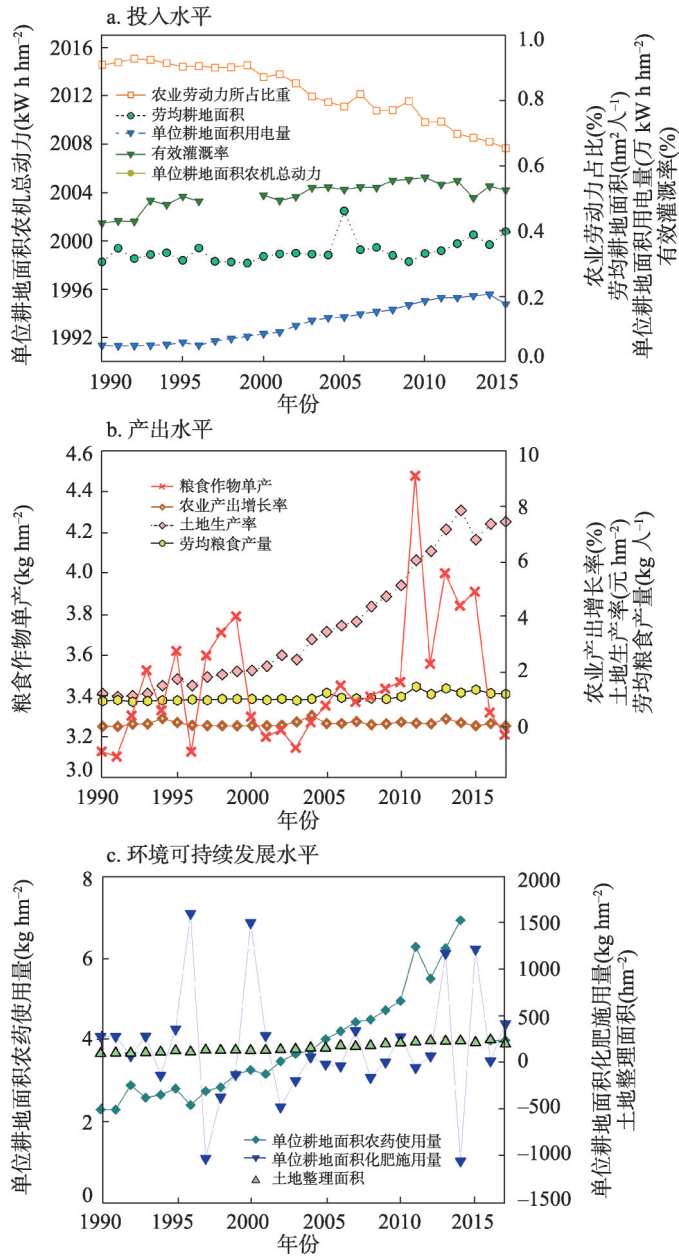


图8 1990—2017年青藏高原农业现代化评价三级指标时间变化趋势

Fig. 8 Temporal trends of the third indicators of agricultural modernization on Qinghai-Tibet Plateau, 1990-2017

项指标中,单位耕地面积农药使用量是农业环境可持续发展水平的主要驱动因子;单位耕地面积用电量和土地生产率分别是农业投入和农业产出水平的主要驱动因子。

#### 4.2 讨论

农业现代化评价结果受研究目的、选择的变量、指标等多因素的影响<sup>[6-9, 26]</sup>。而农业现代化水平评价指标不可能选择所有反映农业科技应用的指标,需要根据不同层次农业现代化发展的关键特征以及研究目的进行选择<sup>[4]</sup>。程遥等<sup>[28]</sup>在构建黑龙江省农业现代化体系时,将农药使用量和有效灌溉面积作为农业科技水平(二级指标)的三级指标;龙冬

平等<sup>[6]</sup>将单位耕地面积的化肥施用量和单位耕地面积农药使用量作为农业投入水平的评价指标。本文从农业高效和可持续发展角度出发,选取农业劳动力占比、劳均耕地面积、有效灌溉率、粮食作物单产、单位耕地面积农药使用量、单位面积化肥施用量等12个三级指标,构建农业现代化评价体系,在二级指标下的各三级指标相对独立。考虑到化肥和农药的使用对环境可持续发展的压力,本文将单位耕地面积化肥施用量和单位面积耕地农药使用量作为农业环境可持续发展的负向指标(公式(1),值越小越好)。在评价青藏高原农业现代化整体水平上与龙东平等<sup>[4]</sup>结果基本一致,即青藏高原农业现代化水平整体偏低。正向指标土地整理面积在1990—2017年无显著的变化趋势,而单位耕地面积农药使用量和化肥施用量呈增加趋势(图7),因此,青藏高原农业环境可持续发展现代化指数下降,这表明化肥和农药投入的增加不利于青藏高原农业的可持续发展。

农业生产的发展阶段决定相应的农业科技追求目标,农业现代化可分为两个层次:第一个层次以提高土地生产效率和劳动生产率,达到农产品自给,农民收入增加为目标,农业科技投入的主要特征为农业机械化、农业电气化、农业化学化和农业水利化;农业现代化的第二个层次是物质经济走向知识经济的过程,以实现农业生产效益的增加和农业持续高速发展,满足人们对农产品质量和种类的需求为目标,该阶段的农业科技主要特征为农业标准化、信息化、生物化、设施化和与之配套的管理现代化<sup>[4]</sup>。目前,中国多数地区已基本实现第一层次的农业现代化,处于向第二层次农业现代化转变阶段<sup>[4]</sup>。以信息技术为核心的智慧农业以及相应的管理与公共政策现代化是当前农业现代化的重点,在公共政策和管理创新与现代化基础上,通过农业信息化,充分利用互联网、遥感网、传感网、大数据、人工智能等新信息技术,将农业生产、管理、市场等环节紧密联系在一起,大幅提高农业生产效率、管理和经营决策水平,对农业现代化发展途径和乡村振兴起到决定性作用<sup>[29-32]</sup>。青藏高原农牧业随着经济发展和政策调整已有大幅发展,财政支农支出总额大幅增加,基础农建、惠农补贴、农业综合开发、特色产业开发和设施农业稳步发展,农业机械化、电气化水平已显著上升(图8),农业自给率稳步上升<sup>[33-34]</sup>,但与中国其他地区相比较,其综合农业现代化水平仍处在最低水平<sup>[6]</sup>。青藏高原农业现代化起步晚,在全国农业现代化建设快速发展背景下,青藏高原农业现代化正处于跨越式发展阶段,面临农牧结构不合理,科技投入不足、种植业产业化和规模化程度低,特色农业企业核心竞争力和综合经济实力不足,资源优势未得到充分发挥等问题<sup>[17, 33]</sup>。青藏高原独特的地理位置、生态作用以及社会人文特征,决定了青藏高原农业现代化发展的特殊性,走青藏高原特色的农业现代化道路是客观环境下的必然选择,这就要在可持续发展前提下,在保证农业基础人力、机械投入基础上,加强温室、饲养场等设施农业,以及收购、仓储、运输、加工等流通设施建设,优化农业结构,科技创新,制定特色农业发展途径。发展现代化管理体系和同步政府支持系统是当前青藏高原农业发展亟待解决的问题<sup>[11, 33]</sup>。

前人在全国尺度以及区域尺度对中国农业现代化进行不少研究,指出中国农业现代化已先后摆脱“高效益、低水平”以及“高水平、低效益”的非良性发展状态,已趋向“高效益、高水平”的良性发展。部分地区在作物单产、农机装备水平、单位耕地化肥施用量等方面已达到发达国家水平,但中国农业现代化水平空间差异显著,西北内陆、西南地区 and 青藏高原地区处于农业现代化发展的低水平<sup>[25-26, 35]</sup>。为明确青藏高原区域内农业现代化的空间分异,在本文中,仅针对青藏高原农业现代化进行等级划分,因此青藏高原的高水平是相对高水平,与中国华北、长江中下游地区相比,青藏高原农业现代化水平仍处于起步阶段,较全国平均水平尚有差距<sup>[6]</sup>。

农业现代化内在驱动机制可概括为科技创新、高度组织化和政府支持三大类,涉及人力资源、机械、化学和生物技术、电子商务、产业组织、政府决策等多种因素,且多因子间存在相互影响,其中,农业现代化驱动力研究可分为定性描述和定量研究<sup>[36-37]</sup>。中国对农业现代化驱动机制的量化研究已在部分区域开展,通过筛选主要的驱动因子利用统计方法进行分析<sup>[38]</sup>,但因研究方法和研究目标的差异,不同结果间的可比较性较差,在研究方法、数据采集和研究结果系统化上亟待完善。限于篇幅和数据的可获得性,本文基于各农业现代化指标对农业现代化水平的贡献度,从农业现代化内部驱动机制角度出发,以构建农业现代化指标体系的三级指标作为初级驱动因子,初步解析了青藏高原农业现代化发展内部驱动因子。但农业现代化驱动机制复杂,在未来研究中,在研究方法和数据多样性方面仍需进一步探索。而在气候变化背景下,青藏高原气温呈上升趋势,降水在20世纪90年代总体减少,2000年以后有所增加<sup>[39]</sup>。气温升高导致作物生长所需热量资源增加,有效生长期延长,有利于作物增产和农业现代化发展。但气候变化也导致病虫害越冬基数增加,降水波动和极端天气事件增多,增加了农业生产的不稳定性。考虑到青藏高原对气候变化的敏感性和生态环境的脆弱性,气候变化为农业现代化发展带来严峻挑战。此外,畜牧业在青藏高原生产中具有重要地位,因限于农业评价指标体系的选择和文章篇幅,本文讨论的农业现代化未涉及畜牧业,在未来研究中应考虑畜牧业在当地农业发展中的地位并选择适当指标进行讨论。

## 参考文献(References)

- [1] Research group of Agricultural Modernization Evaluation Index System Construction. Study on the construction of agricultural modernization evaluation index system. *The Research World*, 2012(7): 41-47. [“农业现代化评价指标体系构建研究”课题组. 农业现代化评价指标体系构建研究. *调研世界*, 2012(7): 41-47.]
- [2] Zhu Daohua. *Agricultural Economics*. Beijing: China Agriculture Press, 2003. [朱道华. 农业经济学. 北京: 中国农业出版社, 2003.]
- [3] Schultz M T. *Transforming Traditional Agriculture*. Beijing: The Commercial Press, 1998. [西奥多 W 舒尔茨. 改造传统农业. 北京: 商务印书馆, 1998.]
- [4] Huang Zuhui, Lin Jian, Zhang Dongping, et al. *Agricultural Modernization: Theory, Process and Approach*. Beijing: China Agriculture Press, 2003. [黄祖辉, 林坚, 张东平, 等. 农业现代化: 理论、进程与途径. 北京: 中国农业出版社, 2003.]
- [5] Shi Qianyou. Enlightenment of the agricultural development in developed countries on the agricultural development of our country. *Human Geography*, 1993, 8(4): 64-69. [师谦友. 发达国家的农业现代化对我国农业发展的启示. *人文地理*, 1993, 8(4): 64-69.]
- [6] Long Dongping, Li Tongsheng, Miao Yuanyuan, et al. The spatial distribution and types of the development level of Chinese agricultural modernization. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 213-226. [龙东平, 李同昇, 苗园园, 等. 中国农业现代化发展水平空间分异及类型. *地理学报*, 2014, 69(2): 213-226.]
- [7] Wang Lucang, Wu Rongwei, Liang Bingwei, et al. Spatial-temporal characteristics of the development level of Chinese agricultural modernization. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(12): 1-7. [王录仓, 武荣伟, 梁炳伟, 等. 中国农业现代化水平时空格局. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(12): 1-7.]
- [8] Tan Aihua, Li Wanming, Xie Fang. A design of China's agriculture modernization evaluation index system. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(10): 7-14. [谭爱花, 李万明, 谢芳. 中国农业现代化评价指标体系的设计. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(10): 7-14.]
- [9] Xin Ling, Wang Jimin. Evaluation on agricultural modernization level of China's counties: Based on empirical analysis of nationwide 1980 counties. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35(6): 673-678. [辛岭, 王济民. 中国县域农业现代化发展水平评价: 基于全国1980个县的实证分析. *农业现代化研究*, 2014, 35(6): 673-678.]
- [10] Sun Binfen, Wang Xiaomei. Comprehensive evaluation on the development level of modern agriculture on the Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Haidong, Qinghai Province. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2015, 15: 18-21. [孙兵芬, 王小梅. 青藏高原现代农业发展水平综合评价: 以青海省海东市为例. *农业科技与信息*, 2015, 15:



- 18-21.]
- [11] Wen Jun. Research on sustainable agricultural development strategy of Qinghai-Tibet Plateau. *China Tibetology*, 2002 (1): 3-12, 22. [温军. 青藏高原农业可持续发展战略研究. *中国藏学*, 2002(1): 3-12, 22.]
- [12] Mo Shenguo, Zhang Baiping, Cheng Weiming, et al. Major environmental effects of the Tibetan Plateau. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 88-96. [莫申国, 张百平, 程维明, 等. 青藏高原的主要环境效应. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 88-96.]
- [13] Qiu J. The third pole. *Nature*, 2008, 454(7203): 393-396.
- [14] Pan T, Hou S, Liu Y J, et al. Influence of degradation on soil water availability in an alpine swamp meadow on the eastern edge of the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 2020, 722(4): 137677. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137677.
- [15] Yao T, Thompson L G, Mosbrugger V, et al. Third pole environment (TPE). *Environmental Development*, 2012, 3: 52-64.
- [16] Chen Jiang, Wan Li, Liang Sihai, et al. A tentative discussion on the trend of ecological environment change in Qinghai-Tibet plateau. *Acta Geoscientica Sinica*, 2007, 28(6): 555-560. [陈江, 万力, 梁四海, 等. 青藏高原生态环境变化趋势的初步探索. *地球学报*, 2007, 28(6): 555-560.]
- [17] Min Qingwen, Cheng Shengkui, Zhong Zhiming. Development orientation of agriculture and animal husbandry in Qinghai-Tibet plateau. *Research of Agricultural Modernization*, 2003, 24(5): 335-338. [闵庆文, 成升魁, 钟志明. 青藏高原农牧业发展方向思考. *农业现代化研究*, 2003, 24(5): 335-338.]
- [18] Yang Youbai, Ma Fenglian. Environmental protection and sustainable development on the Qinghai-Tibet Plateau. *China Business: Study of Economic Theory*, 2006, 8: 70-71, 42. [杨有柏, 马凤莲. 青藏高原生态环境保护与可持续发展. *全国商情: 经济理论研究*, 2006, 8: 70-71, 42.]
- [19] Hu Guangyin, Dong Zhibao, Lu Junfeng, et al. Spatial and temporal changes of desertification land and its influence factors in source region of the Yellow River from 1975 to 2005. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(5): 1079-1086. [胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 黄河源区 1975—2005 年沙漠化时空演变及其成因分析. *中国沙漠*, 2011, 31(5): 1079-1086.]
- [20] Hu Guangyin, Dong Zhibao, Lu Junfeng, et al. Study on desertification and its change of landscape pattern in the source region of the Yangtze River. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(2): 314-322. [胡光印, 董治宝, 逯军峰, 等. 长江源区沙漠化及其景观格局变化研究. *中国沙漠*, 2012, 32(2): 314-322.]
- [21] Zhao Z L, Zhang Y L, Liu L S, et al. Recent changes in wetlands on the Tibetan Plateau: A review. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(7): 879-896.
- [22] Zhang Huiyuan. Problems of the ecological environment on the Qinghai-Tibet Plateau and the progress in its protection. *Environmental Protection*, 2011, 17: 20-22. [张惠远. 青藏高原区域生态环境面临的问题与保护进展. *环境保护*, 2011, 17: 20-22.]
- [23] Liu Y, Zhang J, Qin Y. How global warming alter future maize yield and water use efficiency in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 160: 120229. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120229.
- [24] Jiang Heping, Huang Delin. Econometrics evaluation of China agricultural modernization. *Research of Agricultural Modernization*, 2006, 27(2): 87-91. [蒋和平, 黄德林. 中国农业现代化发展水平的定量综合评价. *农业现代化研究*, 2006, 27(2): 87-91.]
- [25] Liu Shiwei, Zhang Pingyu, Song Fengbin, et al. Measuring the agricultural modernization level of Heilongjiang reclamation areas in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1051-1060. [刘世薇, 张平宇, 宋凤斌, 等. 黑龙江垦区农业现代化水平评价. *地理科学*, 2018, 38(7): 1051-1060.]
- [26] Jia Yanhong, Zhao Jun, Nan Zhongren, et al. Ecological safety assessment of grassland based on entropy-right method: A case study of Gansu pastoral area. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(8): 1003-1008. [贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安全评价: 以甘肃牧区为例. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 1003-1008.]
- [27] Tao Xiaoyan, Zhang Renjun, Xu Hui, et al. Assessment of city's sustainable development based on improved entropy method. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(5): 38-41. [陶晓燕, 章仁俊, 徐辉, 等. 基于改进熵值法的城市可持续发展能力的评价. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(5): 38-41.]
- [28] Cheng Yao, Che Lijuan, Tao Yong. Research on the coupling and coordinated development of agricultural modernization and urbanization in Heilongjiang. *The Border Economy and Culture*, 2018(8): 5-9. [程遥, 车丽娟, 陶勇. 黑龙江省农业现代化和城镇化耦合协调发展研究. *边疆经济与文化*, 2018(8): 5-9.]
- [29] Lyu Xiaoyan. Basic connotation of agricultural information and modernization. *Social Sciences Journal of Colleges of Shanxi*, 2004, 16(4): 51-54. [吕晓燕. 农业信息化与农业现代化的基本内涵. *山西高等学校社会科学学报*, 2004, 16

- (4): 51-54.]
- [30] Jiang Heping. Poverty alleviation and rural revitalization need continuous innovation of policy: Comment on "Public Policy, Agricultural Development and Poverty Reduction". *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(2): 369-372. [蒋和平. 脱贫攻坚与乡村振兴需要持续推动政策创新: 兼评《公共政策、农业发展与减贫》. *农业现代化研究*, 2020, 41(2): 369-372.]
- [31] Li Xinxin, Wang Wei. A mechanism analysis of the influence of public policy on the development of modern agriculture. *Foreign Economic Relations & Trade*, 2012(6): 99-101. [李欣欣, 王伟. 公共政策对现代农业发展的影响机理分析. *对外经贸*, 2012(6): 99-101.]
- [32] Tang Huajun. Smart agriculture enables modern and high-quality agricultural development. *Agriculture Machinery Technology Extension*, 2020(6): 5-6, 9. [唐华骏. 智慧农业赋能农业现代化高质量发展. *农机科技推广*, 2020(6): 5-6, 9.]
- [33] Zeng Jian. Path for the agricultural modernization of Tibet with Chinese characteristics. *Theoretical Platform of Tibetan Development*, 2010(3): 46-50. [曾健. 试论中国特色西藏特点的农业现代化道路. *西藏发展论坛*, 2010(3): 46-50.]
- [34] Wei Hui, Lv Changhe, Liu Yaqun, et al. Spatial distribution and temporal changes of facility agriculture on the Tibetan Plateau. *Resources Science*, 2019, 41(6): 1093-1101. [魏慧, 吕昌河, 刘亚群, 等. 青藏高原设施农业分布格局及变化. *资源科学*, 2019, 41(6): 1093-1101.]
- [35] Li Lichun. Chinese agricultural modernization level measurement and volatility trend analysis based on grey superior analysis. *Economic Geography*, 2013, 33(8): 116-120. [李丽纯. 基于灰色优势分析的中国农业现代化水平测度与波动趋势分析. *经济地理*, 2013, 33(8): 116-120.]
- [36] Yu Fuli, Jiang Naihua. The driving mechanism and path selection in agricultural modernization. *Journal of Yangzhou University: Humanities and Social Sciences Edition*, 2014, 18(2): 42-45. [俞福丽, 蒋乃华. 农业现代化的驱动机制及其路径选择. *扬州大学学报: 人文社会科学版*, 2014, 18(2): 42-45.]
- [37] Lu Daomeng, Xu Qiqi. Spatio-temporal differentiation and driving factors of agricultural modernization in Guangxi Province. *Rural Economics, Science and Technology*, 2017, 28(Suppl.): 124-126. [陆道猛, 徐琪琪. 广西农业现代化时空格局演进及驱动力研究. *农村经济与科技*, 2017, 28(增刊): 124-126.]
- [38] Chen Fengxia, Wang Duchun. Agriculture modernization development mechanism and path selection, based on the household's small-scale operating: With rice production in Heilongjiang Province as an example. *Ecological Economy*, 2011, 27(2): 89-93, 105. [陈凤霞, 王杜春. 基于农户小规模经营下的农业现代化发展机制与路径选择: 以黑龙江省水稻生产为例. *生态经济*, 2011, 27(2): 89-93, 105.]
- [39] Li Lin, Chen Xiaoguang, Wang Zhenyu, et al. Climate change and its regional differences over the Tibetan Plateau. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(3): 181-186. [李林, 陈晓光, 王振宇, 等. 青藏高原区域气候变化及其差异性研究. *气候变化研究进展*, 2010, 6(3): 181-186.]

## Spatio-temporal differentiation of agricultural modernization and its driving mechanism on the Qinghai-Tibet Plateau

LIU Yujie<sup>1,2</sup>, LYU Shuo<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>1,2</sup>, ZHANG Jie<sup>1,2</sup>,

QIU Shuangjuan<sup>3</sup>, HU Yifan<sup>4</sup>, GE Quansheng<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China; 4. China University of Geosciences, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Agricultural modernization is important for rural construction, social economy, and civilization development. Based on the statistical data of the Qinghai-Tibet Plateau from 1990 to 2017, we built a comprehensive index system with agricultural modernization as the primary index, agricultural input level, agricultural output level, and sustainable agricultural development level as the secondary indexes, and then obtained the weight of each index through the entropy value method. Finally, the agricultural modernization index and driving factors on the Qinghai-Tibet Plateau were calculated. The results showed that: (1) from 1990 to 2017, the agricultural modernization level in the study area is generally low (with the value of 0.15) compared with the average level of China, showing an increasing trend; (2) the counties of relatively high level of agricultural modernization such as Dege, Huangzhong, Bailang, and Langkazi are scattered in the northern, southeastern and southern edges, and the YLN (Yarlung Zangbo River, Nyangqu River and Lhasa River) region of the Qinghai-Tibet Plateau; (3) electricity consumption per unit cultivated area, effective irrigation rate and land productivity had the greatest effects on the agricultural modernization level on the plateau, with the contribution degrees being 13%, 12% and 11%, respectively.

**Keywords:** Qinghai-Tibet Plateau; agricultural modernization; development level; spatio-temporal differentiation, driving factor