

中国粮食安全系统脆弱性评价及其驱动机制分析

姚成胜^{1,2}, 殷伟³, 李政通⁴

(1. 南昌大学中国中部经济社会发展研究中心, 南昌 330031; 2. 南昌大学经济与管理学院, 南昌 330031;
3. 南昌大学旅游学院, 南昌 330031; 4. 上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘要: 从粮食安全系统的视角出发, 运用VSD的脆弱性分析框架, 从暴露性、敏感性、适应能力三个层面构建了中国粮食安全脆弱性评价指标体系, 采用主成分分析方法对1991-2015年中国粮食安全脆弱性的暴露性、敏感性、适应能力进行定量分析, 并探究了中国粮食安全脆弱性变化的总体趋势及其驱动因子。研究结果表明: (1) 暴露性指数呈现出2阶段下降特征, 年均下降0.121; 敏感性指数呈现出快速上升和基本稳定的两阶段变化特征; 适应能力指数则一直上升, 年均提高0.117。 (2) 1991-2015年粮食安全系统脆弱性指数整体呈现下降趋势, 表明中国粮食安全水平有了明显提高; 其变化过程可划分为1991-1999年、2000-2003年和2004-2015年三个阶段, 第一、二阶段粮食安全水平的总体提高是基于“吃饱”水平上的提高, 而第三阶段是基于“吃好”水平上的提高。 (3) 人均GDP、城镇化水平和城乡居民人均可支配收入四个因子共同驱动中国粮食安全脆弱性的变化, 2000-2015年的第二阶段四因子对粮食安全脆弱性的驱动作用明显小于1991-1999的第一阶段, 且第一驱动因子由第一阶段的农村居民人均可支配收入转变为第二阶段的人均GDP和城镇居民可支配收入。

关键词: 粮食安全; 脆弱性; 驱动机制; VSD框架; 中国

中国是世界人口最多的发展中国家, 其粮食安全状况的任何变化不仅影响本身, 也具有广泛的世界效应^[1]。因此, 粮食安全不仅是中国的民生大问题, 也是国家社会稳定的基石。自2004年以来, 中国虽然实现了粮食产量的“十二连增”, 目前产能已基本稳定在 6×10^8 t以上, 但随着工业化、城镇化的持续快速推进, 中国耕地资源数量减少、质量下降^[2], 与此同时农业用水占水资源总量的比例也不断下降, 水质污染等问题日益突出^[3], 粮食可持续生产能力大为下降^[4], 为中国粮食安全埋下了长期的隐患。另一方面, 在经济社会发展过程中, 人民收入水平不断提高, 促使人们由以粮食为主的植物性食物消费模式向以动物性食物为主的多元化模式转变^[5-6], 进一步加重了中国粮食生产资源压力, 冲击中国粮食安全态势。国外较多研究也表明粮食生产资源、粮食供给数量和类型、粮食流通、粮食消费等任何一个环节出现问题, 整个区域的粮食安全都将受到影响。可见, 粮食安全是一个复杂的系统, 只有从系统视角全面审视粮食安全的各个方面, 才能更为准确的判断中国的粮食安全状况。综上所述, 从系统视角来看, 当前中国粮食安全依然面临着生产资源减少、人口增长以及粮食消费结构改变带来的粮食需求刚性增长、国际粮食市场冲击、粮食供需结构性不匹配等诸多挑战^[7-10], 可以看出中国粮食安全系统的脆弱性特征十分明显。

收稿日期: 2019-01-30; 修订日期: 2019-05-11

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金项目(17YJA790084); 国家自然科学基金项目(41761110)

作者简介: 姚成胜(1977-), 男, 江西上饶人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事粮食安全、农业资源与环境评价研究。E-mail: yaochengsheng@163.com

从人地耦合系统的视角来看,脆弱性是指由自然、社会、经济和环境因素及过程共同决定的系统对各种胁迫的易损性,以及系统在受到破坏和伤害后的恢复能力,它主要取决于系统的暴露性、敏感性和适应性三个要素^[11]。目前,脆弱性研究作为一种新的理论和研究范式已经在生态环境科学、城市科学、经济学、地理学等众多学科领域中得到了广泛应用^[12],研究对象也由自然和社会的某一单元扩展到流域、区域、国家等不同层次。随着脆弱性研究的深入以及多学科运用的扩展,脆弱性已由最初只关注自然环境系统逐渐延伸到自然、经济和社会、人与环境耦合系统的多学科交叉研究^[12-14]。目前人地耦合系统的脆弱性研究正成为国内外研究关注的热点。根据FAO的研究,粮食安全系统可以划分为粮食可供量、供给稳定性、获取能力和利用水平三个子系统,它涉及粮食生产的资源与环境条件、区域经济发展水平、社会的消费习惯等众多因素^[15],是一个典型的人地耦合系统。因此,运用系统脆弱性理论和方法来分析中国粮食安全的脆弱性演变趋势,据此揭示其脆弱性的驱动因子,这为全面系统地认识中国粮食安全问题提供了一个新视角,对于更好地维护中国粮食安全具有十分重要的意义。

粮食安全问题始终是中国关注的焦点,因而也一直是国内外学者们研究的热点。纵观当前国内外相关研究,大多仍从耕地、水资源以及农业劳动力等农业生产要素变化,粮食消费结构变化等单一视角来探讨中国粮食安全的脆弱性问题。例如,Xu等^[16]研究发现,1992-2015年中国城镇扩张占用优质、高产的耕地总面积达 $3.31 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占城市扩张总面积的54.67%;He等^[17]进一步指出1992-2015年中国城镇扩张导致农田净初级生产量下降了1.88%,相当于粮食总产量下降 $1245 \times 10^4 \text{ t}$,粮食自给率下降2%,因此保障中国粮食安全仍然是一个巨大挑战;Yan等^[18]从水资源供给视角分析得到,中国城镇化每提高1%,农业用水将下降0.47%,这将使全国和各流域农业灌溉面积减少,进而导致粮食单产和总产量不断降低;陈锡文等^[19]、程名望等^[20]分析得出,大量农业青壮年劳动力流向城市和非农产业,使农业劳动力呈现出妇女化、老弱化特征,对粮食生产产生了较大威胁,其中粮食主销区的负面效应最为明显。从粮食供给和保障方面看,殷培红等^[21]综合考虑粮食供给能力和经济补偿能力2个指标对全国2300个县域的粮食安全状况进行了分析,研究得到中国仍有30%的县域不具备温饱水平的粮食供给和经济补偿能力,处于粮食安全最脆弱区。从粮食消费方面看,中国经济的快速发展将使人们逐渐由以植物性食物为主的消费模式向以动物性食物为主的消费模式转变,从而增大粮食消费总量,给粮食生产的资源环境造成巨大压力,这将是食物系统所面临的最大挑战之一^[14]。可以看出,上述研究都很好地从某一方面揭示了中国的粮食安全脆弱性,但均未从系统科学视角出发,运用脆弱性分析框架和方法对粮食生产资源、供给量和稳定性、获取能力、利用水平等进行整体的综合分析。为此,本文从粮食安全系统视角出发,基于暴露性、敏感性、适应能力的VSD脆弱性分析框架,构建粮食安全脆弱性评价指标体系,对1991-2015年中国粮食安全脆弱性进行定量测度,在此基础上深入揭示其驱动机制,为更好地提升中国粮食安全水平提供一定参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 粮食安全脆弱性评价指标体系构建

2007年,Polsky等^[22]把系统脆弱性分解为系统的暴露程度(exposure)、敏感性(sensitivity)和适应能力(adaptive capacity)三要素,并提出了VSD(Vulnerability Scoping Diagram)脆弱性评估框架,它通过多元数据组织、明确的脆弱性内涵和指标体系构建方

法为研究者提供了清晰全面的脆弱性定量评价思路^[23]。其中,暴露性是指系统遭受环境和社会的各种压力或冲击,敏感性是暴露单元容易受到胁迫的正面或负面影响的程度,适应能力是系统能够处理、适应协调以及从胁迫造成的后果中的恢复能力(它由经济、技术、基础设施、管理能力等决定)^[24]。FAO^[15]把粮食安全分为粮食可供量、供给稳定性、获取能力和利用水平三个子系统;姚成胜等^[1,4]在此基础上认为,在人多地少水缺的中国,粮食生产的资源条件对粮食可供量的影响尤为重要,因此将中国粮食安全系统划分为粮食生产资源条件、可供量和稳定性、获取能力和利用水平三个子系统。为更好地运用VSD分析框架对中国粮食安全脆弱性进行分析,本文将粮食安全划分为粮食生产条件、供给量和稳定性、获取能力和利用水平三个子系统,从暴露性、敏感性和适应能力三个层面分析中国粮食安全的脆弱性。

首先,从暴露性方面来看,在工业化和城镇化进程中,水资源、土地、劳动力等农业生产要素不断流向城镇和非农产业,因而粮食生产逐渐面临着各种资源瓶颈;在此情况下,为维护粮食供给量和稳定性,国家具有保障粮食自给率的压力,以实现国家层面的粮食安全;在粮食供给量有限和经济贫困等因素的影响下,部分地区和人口的粮食获取能力和利用水平将受到较大压力,表现为粮食短缺和不足以及贫困等家庭微观层面的粮食安全问题。其次,从敏感性方面来看,在经济发展过程中,非农产业比例将不断升高,农业生产资料价格易于上涨,因而农民倾向于种植经济收益更高的经济作物,可能导致粮食作物播种面积下降,进而引起人均粮食占有量变化和粮食净进口量变化;从粮食获取和利用敏感性方面看,经济发展过程中城乡居民收入将持续增长,因而会使恩格尔系数和营养不良率下降,与此同时也会导致粮食类消费价格指数变化。最后,从适应能力方面来看,为保障粮食供给稳定,国家会增加对粮食生产的财政支出,通过政策扶持和增加农民收入等手段,改善灌溉条件,推进农业机械、化肥、农药等现代农业生产要素的使用,进而减少粮食生产的波动;从粮食获取和利用方面看,经济发展将导致农民非农收入明显增加,促使他们改善水源和卫生设施条件,以获取更加健康营养的食物,提升家庭微观层面的粮食安全水平;与此同时,国家也会加大对交通等基础设施的建设力度,提高城乡居民进入粮食市场获取食物的能力。据此,本文建立如下的粮食安全脆弱性指标体系(表1)。

1.2 粮食安全脆弱性的测度方法

1.2.1 评价指标的处理

由于不同指标的量纲、数量级和指标的正负性均有差异,需对原始数据进行标准化处理,正负不同效应的指标处理方法如下:

对于正效应指标:

$$X'_{ij} = (X_{ij} - \min X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}) \quad (1)$$

对于负效应指标:

$$X'_{ij} = (\max X_{ij} - X_{ij}) / (\max X_{ij} - \min X_{ij}) \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 和 X_{ij} 分别为第 i 年第 j 项单项指标标准化后的值和原始值; $\min X_{ij}$ 和 $\max X_{ij}$ 分别为所有年份中第 j 项单项指标的最小值和最大值。

1.2.2 因子分析法

因子分析法能在损失较少信息的前提下,把多个因素转化少数几个相互独立的公共

表1 中国粮食安全脆弱性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of food security vulnerability in China

要素层	一级指标	单项指标	相关性	单位	指标计算/解释
暴露性	粮食生产条件	单位粮食播种面积劳动力 (E_1)	+	人/hm ²	粮食生产劳动力总量/粮食播种面积
		单位粮食播种面积用水量 (E_2)	-	m ³ /hm ²	粮食生产用水总量/粮食作物播种面积
		农作物成灾率 (E_3)	+	%	反映粮食生产受灾害的影响程度
	粮食供给量与稳定性	表征粮食自给率 (E_4)	-	%	粮食产量/(粮食产量+进口量-出口量)
		粮食获取能力和利用水平	粮食短缺程度 (E_5)	+	kcal/人/天
	粮食获取能力和利用水平	粮食不足发生率 (E_6)	+	%	未能满足健康生活的膳食需要的人口所占比例
		动物性蛋白质平均供应量 (E_7)	-	g/人/天	每天人均摄入的动物性蛋白重量
		农村贫困发生率 (E_8)	+	%	农村贫困人口/农村总人口
		敏感性	粮食生产条件	农业生产资料价格指数 (S_1)	+
粮食作物播种面积所占比例 (S_2)	-			%	粮食作物播种面积/农作物总播种面积
非农产业产值比例 (S_3)	-			%	二、三产业产值/国民经济总产值
粮食供给量与稳定性	粮食净进口量 (S_4)		+	万 t	粮食进口量-粮食出口量
	人均粮食占有量 (S_5)		-	kg	粮食产量/人口总量
粮食获取能力和利用水平	粮食类居民消费价格指数 (S_6)		+	%	反映粮食消费品价格变动趋势和程度
	恩格尔系数 (S_7)		+	%	食品支出总额占个人消费支出总额的比例
	营养不良发生率 (S_8)		+	%	营养不良人口/总人口
	适应能力		粮食生产条件	财政支农支出 (AC_1)	+
单位粮食播种面积农业机械动力 (AC_2)		+		kW/hm ²	粮食生产农业机械总动力/粮食作物播种面积
单位粮食播种面积化肥施用量 (AC_3)		+		kg/hm ²	粮食生产化肥施用量/粮食作物播种面积
单位粮食播种面积农药施用量 (AC_4)		+		kg/hm ²	粮食生产农药施用量/粮食作物播种面积
有效灌溉率 (AC_5)		+		%	有效灌溉面积/耕地总面积
粮食供给量与稳定性		粮食总产量波动率 (AC_6)	-	%	(当年粮食产量-上年粮食产量)/上年粮食产量
粮食获取能力和利用水平		农民非农业生产收入所占比例 (AC_7)	+	%	农民非农业收入/农民总收入
		改良水源获取水平 (AC_8)	+	%	获取改良水源人口/总人口
		改良卫生设施获取水平 (AC_9)	+	%	获取改良卫生设施人口/总人口
		道路密集度 (AC_{10})	+	km/km ²	每平方千米土地面积道路长度

因子,减少问题的复杂性,且根据主成分的方差贡献率客观地确定权重,避免了评价指标的共线性和权重确定的人为性,使评价结果更趋客观合理^[25]。为降低多指标对关键特征的稀释,必须对指标体系进行降维,为此本文用因子分析方法分别对我国粮食安全脆弱性的暴露性、敏感性、适应能力三个要素提取主因子,然后计算三个子系统的因子得分。因子分析法的具体步骤为:(1)计算相关系数矩阵;(2)计算特征值 λ_i 和特征向量

α_i ; (3) 求得主成分贡献率及累计贡献率, 确定主因子F; (4) 计算因子载荷。

1.2.3 粮食安全系统脆弱性测度方法

粮食安全的脆弱性测度体现了“暴露性—敏感性—适应能力”之间的内在联系, 其中暴露性和敏感性指数值越高, 则表示对粮食安全系统受压力和冲击越大, 即粮食安全系统的脆弱性越大; 相反, 适应能力指数值越高, 则表示对粮食安全系统调整能力越强, 系统脆弱性越小。据此, 参考李彤玥^[26]、李小维等^[27]的研究, 构建基于VSD框架下暴露性、敏感性、适应能力三要素的粮食安全脆弱性函数关系式:

$$V=(E+S)-AC \quad (3)$$

式中: V 代表脆弱性 (vulnerability); E 代表暴露性 (exposure); S 代表敏感性 (sensitivity); AC 代表适应能力 (adaptive capacity)。需要指出的是, 粮食安全系统脆弱性指数 (V) 越低, 则代表粮食安全水平越高; 反之, 则表示粮食安全水平越低。

1.3 数据来源与处理

研究中所涉及的农村劳动力、第一产业产值、恩格尔系数、财政支农支出、农村贫困率等数据主要来源于《中国统计年鉴》(1991-2016年); 粮食作物播种面积、农作物播种面积、农作物成灾面积、粮食进出口量、粮食总产量、人均粮食占有量、有效灌溉面积、农业机械总动力、农药施用量等数据主要来源于《中国农村统计年鉴》(1991-2016年); 单位粮食播种面积劳动力和化肥施用量等数据来源于《全国农产品成本和统计资料汇编》(1991-2016年); 农业用水总量来源于《中国环境统计年鉴》《中国水资源公报》; 公路里程、农业生产资料和粮食类居民消费价格指数等数据主要来源于国家统计局数据库; 粮食获取能力和利用水平的相关数据主要是从粮农组织FAOSTAT数据库中获取。对于个别年份的数据缺失, 采用曲线拟合近似估算, 以保持数据完整性。

2 结果分析

2.1 主成分解释

借助SPSS 22.0软件分别对粮食安全脆弱性的暴露性、敏感性、适应能力三个要素进行KMO和Bartlett球形检验, 其值分别为0.802、0.749、0.778, Bartlett球形检验 P 值都小于0.01, 说明三个要素数据均满足主成分分析前提条件, 适合做主成分分析。依据特征值大于1和累计贡献率大于85%的原则, 从暴露性、敏感性、适应能力系统的主成分分析结果中各提取2个主因子, 主因子累计贡献率分别达到95.320%、96.275%、95.926%, 说明主因子能以较少的信息损失对数据进行了充分的概括。为了突出主因子的典型代表变量, 采用正交旋转方法旋转主因子, 得到旋转后的相关因子载荷矩阵(表2)。

因子载荷反映了个各主因子与原变量之间的相关性, 因子载荷绝对值越大, 表明原变量与主因子相关程度越高。从暴露性系统中, 第一主因子 F_{E_1} 在单位粮食播种面积用水量(E_2)、粮食短缺程度(E_3)、粮食不足发生率(E_6)、动物性蛋白质平均供应量(E_7)上载荷值较大, 与 E_2 成负相关, 与 E_3 、 E_6 、 E_7 成正相关, 主要反映了水资源及粮食短缺状况; 第二主因子 F_{E_2} 在单位粮食播种面积劳动力(E_1)、农作物成灾面积(E_3)、粮食自给率(E_4)、农村贫困发生率(E_8)上载荷较高, 与 E_1 、 E_3 、 E_8 成正相关, 与 E_4 呈负相关, 主要反映了劳动力和粮食供给稳定状况。敏感性系统中, 第一主因子 F_{S_1} 与粮食作物播种面积所占比例(S_2)呈现出较强的正相关, 而非农产业产值比例(S_3)、恩格尔

表2 暴露性、敏感性和适应能力子系统旋转后的因子载荷矩阵

Table 2 Rotated factor loading Matrix in the three subsystems of exposure, sensitivity and adaptive capacity

暴露性			敏感性			适应能力		
单项指标	F_{E_1}	F_{E_2}	单项指标	F_{S_1}	F_{S_2}	单项指标	F_{AC_1}	F_{AC_2}
E_1	0.006	0.211	S_1	0.034	0.194	AC_1	0.093	0.116
E_2	-0.438	0.306	S_2	0.391	-0.252	AC_2	0.116	0.005
E_3	-0.325	0.548	S_3	-0.253	0.054	AC_3	0.123	-0.071
E_4	0.273	-0.503	S_4	0.285	-0.456	AC_4	0.125	-0.103
E_5	0.235	-0.054	S_5	-0.043	0.258	AC_5	0.117	0.002
E_6	0.415	-0.271	S_6	0.001	0.225	AC_6	-0.084	0.966
E_7	0.178	0.017	S_7	-0.283	0.092	AC_7	0.109	0.047
E_8	0.071	0.136	S_8	-0.137	-0.082	AC_8	0.122	-0.057
—	—	—	—	—	—	AC_9	0.124	-0.082
—	—	—	—	—	—	AC_{10}	0.104	0.084
特征值	6.842	0.783	—	6.240	1.462	—	8.584	1.009
贡献率	84.529	10.791	—	77.997	18.278	—	85.837	10.089
累计贡献率	84.529	95.320	—	77.997	96.275	—	85.837	95.926

系数 (S_7)、营养不良发生率 (S_8) 呈从现较强的负相关, 主要反映了粮食种植与经济发展的关系; 第二主因子 F_{S_2} 与农业生产资料价格指数 (S_1)、粮食净进口量 (S_4)、粮食类居民消费价格指数 (S_6) 呈现较强的正相关, 与人均粮食占有量 (S_5) 有较强的负相关, 主要反映了价格因素与粮食消费的关系。适应能力系统中, 第一主因子 F_{AC_1} 除了财政支农支出 (AC_1)、粮食总产量波动率 (AC_6) 以外的所有因子, 载荷值都较大且成正相关, 反映了农业生产方式和粮食消费适应能力; 第二主因子 F_{AC_2} 在 AC_1 、 AC_6 因子上载荷值较高且成正相关, 反映了政府维持粮食供给稳定的能力。

2.2 暴露性、敏感性和适应能定量分析

依据主因子载荷矩阵可以分别计算出三个要素的主成分得分:

$$\text{暴露性子系统}(E): \begin{cases} F_{E_1} = 0.006X'_{i1} - 0.438X'_{i2} + \dots + 0.071X'_{i8} \\ F_{E_2} = 0.211X'_{i1} + 0.306X'_{i2} + \dots + 0.136X'_{i8} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{敏感性子系统}(S): \begin{cases} F_{S_1} = 0.034X'_{i1} + 0.391X'_{i2} + \dots - 0.137X'_{i8} \\ F_{S_2} = 0.194X'_{i1} - 0.252X'_{i2} + \dots - 0.082X'_{i8} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{适应能力子系统}(AC): \begin{cases} F_{AC_1} = 0.093X'_{i1} + 0.116X'_{i2} + \dots + 0.104X'_{i10} \\ F_{AC_2} = 0.116X'_{i1} + 0.005X'_{i2} + \dots + 0.084X'_{i10} \end{cases} \quad (6)$$

以方差贡献率占总方差贡献率的比例作为权重, 采用加权求和方法可以计算出暴露性、敏感性、适应能力三个要素的得分, 计算公式分别为:

$$\begin{cases} E = 0.845 \ 3F_{E_1} + 0.107 \ 9F_{E_2} \\ S = 0.780 \ 0F_{S_1} + 0.182 \ 8F_{S_2} \\ AC = 0.858 \ 4F_{AC_1} + 0.100 \ 9F_{AC_2} \end{cases} \quad (7)$$

根据上述计算公式, 得到1991-2015年中国粮食安全系统的暴露性、敏感性和适应能力三个脆弱性要素的得分如图1所示。由此可以得到以下几点:

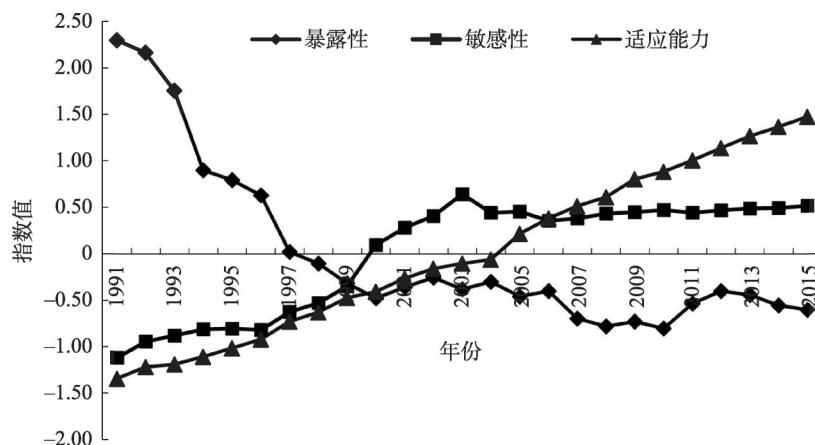


图1 1991-2015年中国粮食安全脆弱性三要素得分变化

Fig. 1 Changes in the three subsystems of food security vulnerability in China from 1991 to 2015

第一, 暴露性子系统指数呈现出明显的下降趋势, 表明中国粮食安全系统承受各方面的综合压力明显减小, 其变化大体划分两个阶段: 即1991-2000年的快速下降阶段和2001-2015年的波动下降阶段。第一阶段粮食安全系统暴露性指数值由1991年的2.298下降到2000年的-0.476, 年均下降0.308; 该阶段粮食安全系统暴露性的降低主要得益于粮食生产条件以及粮食获取能力和利用水平的大幅度提高。以单位粮食播种面积劳动力数量为例, 期间随着沿海乡镇企业的发展, 农村剩余劳动力开始向城镇快速转移, 9年内农业劳动力总量减少了1389万人, 使得单位粮食播种面积劳动力数量从2.285下降到2.098; 另一方面, 随着农业和农村经济的发展, 农村贫困人口不断减少, 粮食短缺程度从1991年197 kcal/人/天下降到2000年的127 kcal/人/天, 粮食不足发生率、农村贫困发生率等指标也都在迅速下降。第二阶段暴露性指数值由2001年的-0.358波动下降到2015年的-0.602, 年均下降0.017, 仅为第一阶段的5.67%; 其下降趋势的减缓原因在于虽然粮食生产条件仍在持续改善, 但期间中国表征粮食自给率呈现明显下降, 由2001年的100%下降到2015年的86.1%, 增加了粮食安全系统的暴露性水平; 与此同时, 随着脱贫工作重点不断向偏远地区转移, 脱贫工作难度持续增加, 因而该阶段粮食不足发生率、粮食短缺程度虽有下降, 但速度明显减小; 例如, 在此期间动物性蛋白质平均供应量年均增长0.93g/人/天, 仅为第一阶段年均增速的69.92%。

第二, 敏感性子系统指数总体呈现出上升趋势, 表明粮食安全系统对外界压力的反应变得越来越强烈, 其变化大体也可以划分为两个阶段: 即1991-2003年的快速上升阶段和2004-2015年的基本稳定阶段。在第一阶段, 中国仍然是典型的农业国家, 期间中国对粮食生产的扶持体系尚未建立, 因而粮食生产、供给量和稳定性极易受外界压力而产生显著变化; 与此同时, 由于经济发展水平较低, 因而城乡居民收入水平也较低, 其粮食获取能力和利用水平对外界压力的反应也较敏感。例如, 在经济发展过程中, 农业生产资料价格指数从1.09上涨到1.94, 导致种粮收益明显下降, 因而粮食作物播种面积所占比例从1991年的75%下降到2003年的65%; 期间虽然粮食生产技术进步, 但由于播种面积降幅过大, 导致1998-2003年间粮食总产量由5.12亿t下降到4.31亿t, 人均粮食占有量由412.50 kg下降到334.29 kg。在第二阶段, 中国经济发展水平明显提高, 先后出台了免

除农业税、粮食直补、农资综合补贴、农机具购置补贴等一系列支农惠农政策,建立了较为完整的农业生产扶持体系^[1],因而在此阶段粮食播种面积所占比例开始回升并稳定在68%作用,粮食产量实现了11连增,人均粮食占有量从362.22 kg提高到453.20 kg;与此同时农村经济快速发展,农民收入持续提高,恩格尔系数、营养不良发生率也明显降低,从而使得系统敏感性下降。但在此期间,农业生产资料价格指数和粮食类居民消费价格指数明显上涨,导致系统敏感性上升。两方面综合,因而在第二阶段系统的敏感性指数基本趋于稳定。这表明,国家经济实力的增强能够较好地应对外界压力变化,使得粮食安全系统对压力的反应趋于稳定。

第三,适应能力子系统指数呈现出显著的线性变化特征,表明中国维护国家粮食安全的能力大大增强,它是粮食安全系统脆弱性下降的最为重要驱动因子。适应能力系统指数在1991-2015年一直保持平稳上升,年均上升0.117。究其原因在于:随着农业现代化水平的提高,农业机械、化肥、农药等现代农业生产要素得到广泛应用,经济发展增强了政府对粮食生产的财政扶持能力,改善了道路、灌溉等农业基础设施,进而减少了粮食生产的波动。与此同时,经济发展显著提升了城乡居民收入水平,使其改良水源、改善卫生设施,进而获取更加健康营养食物的能力大为加强,家庭微观层面的粮食安全水平明显提高。例如,1991-2015年,财政支农支出指标年均增长率为12.6%;单位粮食播种面积机械总动力和农药施用量、道路密集度年均增长率在3%~7%之间;改良水源获取水平、改良卫生设施获取水平、单位粮食播种面积、化肥施用量和农民非农业生产收入所占比例年均增长率在1%~3%之间。

2.3 粮食安全系统脆弱性分析

按照式(3)计算得到1991-2015年中国粮食安全脆弱性指数变化(图2),从图中可以看出期间中国粮食安全脆弱性不断降低,这表明25年来粮食安全系统的稳定性不断增强,保障国家粮食安全的能力大幅度提升。进一步分析可知,中国粮食安全脆弱性指数呈现出三阶段变化特征,分别为1991-1999年、2000-2003年和2004-2015年三个阶段。

第一阶段中国粮食安全脆弱性指数从1991年的2.524快速下降到1999年的-0.185,年均下降0.339。究其原因在于,在此期间虽然敏感性指数由-1.117上升到-0.346,上升了0.771;但期间暴露性指数由2.298快速下降到-0.315,下降了2.613;适应能力指数由-1.344上升到-0.477,上升了0.867,可见暴露性指数的快速下降是该阶段中国粮食安全水平不断提高的根本原因。而暴露指数快速下降和适应能力不断提高的原因在于,该阶段中国正式开启市场经济体制改革,工业化和城镇化开始进入快速发展通道,经济实力的提升显著提高了城乡居民的收入水平,使得他们的粮食获取能力和利用水平大幅提升;同时也改善了农业基础设施,使得农业机械、化肥、农药等农业生产要素得到广泛应用。

第二阶段中国粮食安全脆弱性指数值由0.030上升到0.371,表明期间粮食安全水平有所降低。究其原因在于:在此期间暴露性指数基本维持稳定(其指数值由-0.476变化到-0.380,仅提高0.096),适应能力指数虽然从-0.407提高到了-0.107,但也仅上升0.300;比较而言,敏感性指数则从0.098上升到了0.644,上升了0.546,是脆弱性提高的主要动力。该阶段敏感性指数快速上升的原因在于,20世纪90年代中后期,中国粮食出现短暂的供给过剩,粮食供求关系由长期短缺向“总量平衡,丰年有余”方向转变;由于此时国家经济实力较弱,政府没有足够财力建立农业生产扶持体系,因而农业经济发

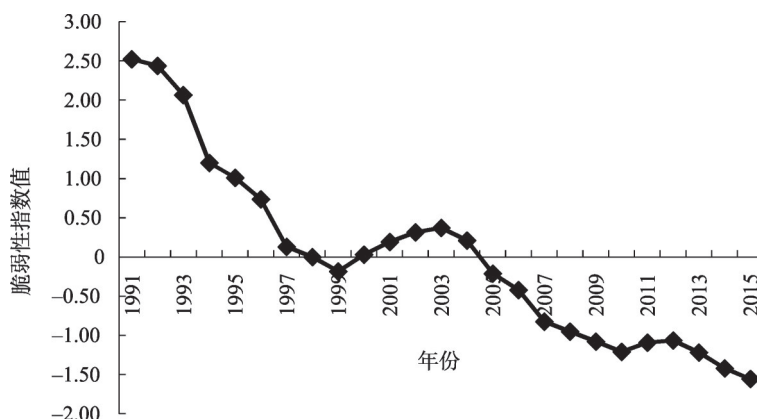


图2 1991-2015年我国粮食安全脆弱性得分变化

Fig. 2 Changes in food security vulnerability index in China from 1991 to 2015

展形势持续低迷,农民收入增长出现停滞。与此同时,受1998年长江流域洪涝灾害影响,1999年中国出台退耕还林政策,导致1999-2003年耕地面积因此有较大幅度减少;例如2003年减少的耕地中,退耕还林还草面积约占总数的80%^[28],因而也加速了耕地粮食生产力损失速率^[29]。因此综合1991-1998年和1999-2003年这两段时间来看,在此13年间,中国粮食安全水平虽然整体提高,但这只是在较低经济发展水平下,仅限于满足人们温饱水平的粮食安全保障能力的提升。

第三阶段中国粮食安全脆弱性指数从2004年的0.211持续下降到2015年的-1.558,年均下降0.161,为第一阶段的47.49%。脆弱性指数持续下降的原因在于,此阶段粮食安全的敏感性指数由0.446上升到0.518,仅提高0.058;但暴露性指数由-0.299波动下降到-0.602,下降了0.303;适应能力则从-0.064持续提高到1.474,提高了1.538;可见适应能力的持续快速提升是该阶段脆弱性不断下降的根本动力。期间适应能力快速提升的根本原因在于,2000-2003年粮食安全脆弱性的持续上升引起了国家高度重视^[30],2004年之后,随着国家经济实力的增强,为持续稳定经济社会发展,保障中国的粮食安全,国家连续14年发布的中央1号文件都集中在“三农”问题上,建立了一套完整的农业生产扶持体系,着力改善农村基础设施条件,增加农民收入^[30]。与第一阶段相比,第二阶段的粮食安全脆弱性下降是在更高经济发展水平下,由“吃饱”向“吃好”状态转变的粮食安全保障能力的整体提升。

2.4 中国粮食安全脆弱性的驱动机制分析

2.4.1 粮食安全脆弱性驱动模型的建立

粮食安全脆弱性的驱动机制是指推动粮食安全状态变化的各个动力因子,是粮食安全脆弱性变化的深层次原因,也就是各动力因子通过改变粮食生产条件、可供量和稳定性、获取能力和利用水平等各种方式,对粮食安全系统施加各种影响,进而导致粮食安全系统脆弱性发生变化。根据前文暴露性、敏感性、适应能力三个要素所提取的6个主成分可知,贫困、经济发展、价格等因素与粮食生产、获取能力与利用水平的关系是粮食安全脆弱性的主要影响因子;Kearney^[31]、Godfray等^[32]、Satterthwaite等^[33]、姚成胜等^[4]、Ma等^[34]研究表明,经济增长、城镇化、收入增长是近二十多年来导致粮食生产、流通、消费等领域变化的主要原因。例如,经济增长可以通过增强国家的整体经济实力,进而

提高政府对粮食生产的财政扶持,改善灌溉等基础设施,增强农业机械、化肥等农业生产要素的供给能力^[31];通过增强对外获取粮食的能力、改善交通基础设施等手段以稳定粮食供给和获取能力^[32]。城镇化则通过推动农村劳动力持续向非农产业转移,为农村土地流转进而实现适度规模经营创造有利条件;也可以通过城镇和非农产业的扩张,导致农村土地、水、劳动力等资源的非农化^[4,33]。城乡居民收入增长能够有效降低贫困水平,改善城乡居民的卫生条件,降低食物不足、食物短缺、营养不良等发生率,提升家庭微观层面的粮食安全水平^[34];另外,农村居民收入增长还能促使其将各种非农就业收入用于支持农业技术革新和提高土地集约利用水平,为先进农业生产技术推广创造条件^[31]。

为此,本文选取人均GDP(Y_1)、城镇化率(Y_2)、城镇居民人均可支配收入(Y_3)和农村居民人均可支配收入(Y_4)4项指标分别代表经济增长、城镇化和城乡居民收入,分别作为自变量;以粮食安全脆弱性指数作为因变量,建立多元回归模型,分别对1991-1999年和2000-2015年两个时段进行回归(原因在于2000-2003仅有3年间隔,因此把脆弱性指数整体划分为两个下降阶段进行比较分析)。经检验,4个自变量之间存在明显的多重共线性,因而采用主成份回归分析来消除多重共线性的影响。经Pearson相关系数分析得到 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 与粮食安全脆弱性指数之间的相关系数分别为0.827、0.911、0.854、0.833,反映出人均GDP、城镇化率、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入4个驱动因子与中国粮食安全脆弱性水平存在显著的相关关系。采用主成分分析方法各提取得到两个时段4个变量的一个主成分 F_1 和 F_2 ,方差贡献率分别为97.229%和99.054%,说明主成分可以充分概括数据信息。然后计算主成分得分,以主成分得分为自变量,粮食安全脆弱性指数作为因变量进行线性回归,其结果见表3。

表3 中国粮食安全脆弱性驱动因子回归分析
Table 3 Regression of factors inducing to food security vulnerability in China

时段/年	主成分因子	非标准化系数	标准化系数	<i>T</i> 统计量	Sig.
1991-1999	常数	1.102		15.727	0.000
	F_1	-0.996	-0.982	-13.781	0.000
2000-2015	常数	-0.620		-9.501	0.000
	F_2	-0.620	-0.928	-9.293	0.000
时段/年	R^2	调整后 R^2	F	Sig.	
1991-1999	0.964	0.959	189.920	0.000	
2000-2015	0.861	0.851	86.364	0.000	

从表中可以看出,1991-1999年和2000-2015年两个阶段模型中的决定系数分别为0.964和0.861,说明整体拟合优度较好。由于标准回归系数值的大小反映了自变量对因变量的影响强弱^[35],为此本文采取标准化回归系数揭示4个自变量对粮食安全脆弱性的影响。方程显著性检验*t*统计量分别为-13.781和-9.293,均通过显著性检验,表明回归方程效果显著。最后根据主成分因子的标准回归系数,将回归结果转化为以原始变量为自变量的回归模型,公式如下:

$$Q_1 = -0.249Y_1 - 0.247Y_2 - 0.248Y_3 - 0.250Y_4$$

(8)

$$Q_2 = -0.234Y_1 - 0.232Y_2 - 0.234Y_3 - 0.233Y_4$$

(9)

2.4.2 驱动因子作用强度及阶段演变分析

从式(8)、式(9)中可以得到在1991-1999年和2000-2015年两个阶段,人均GDP、城镇化率、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入4个动力因子的标准化回归系数差别较小,表明4个因子共同驱动我国粮食安全脆弱性的不断降低。在1991-1999年的第一阶段,农村居民人均可支配收入回归系数最高为-0.250,表明增加农民收入是降低粮食安全脆弱性的最为重要因子,这是因为该阶段中国是典型的农业社会,政府的财政和扶持能力有限,因而农民收入的增长对于改善农业生产条件,提升粮食获取能力和利用水平起着最为重要的作用^[4];其次是人均GDP,其对粮食安全脆弱性的影响系数为-0.249,最低为城镇化水平,其系数为-0.247。在2000-2015的第二阶段,人均GDP和城镇居民人均可支配收入对粮食安全脆弱性的影响系数均为-0.234,表明两者对于降低粮食安全系统脆弱性的作用相同,其主要原因在于:在此期间经济增长促使国家整体经济实力大为加强,国家对农业生产所建立的扶持体系已替代农民收入,成为农业生产条件改善和维持粮食生产稳定的最为重要因子;与此同时,随着城镇化的持续推进,中国城镇人口数量已明显超过农村人口,因而城镇居民收入的增长对于提高粮食获取能力和利用水平起着更为重要作用。农村居民人均可支配收入对粮食安全脆弱性的影响系数为-0.233,城镇化率仍然最低为-0.232。总体来看,第二阶段4个因子对粮食安全脆弱性的驱动作用明显小于第一阶段,表明受要素边际效用递减规律的影响,促进经济增长、提升城镇化水平和城乡居民收入对于提升中国粮食安全水平的边际作用有所降低。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文从系统科学视角出发,基于VSD脆弱性分析框架,将粮食安全系统分解为暴露性、敏感性和适应能力三个要素,在此基础上构建了中国粮食安全脆弱性评价指标体系,采用主成分分析法得到1991-2015年粮食安全脆弱性指数及其三个子系统指数变化状况,并采用主成分回归方法揭示了粮食安全脆弱性的驱动因子,主要研究结论如下:

(1) 1991-2015年间,中国粮食安全的暴露性指数呈现出1991-2000年的快速下降和2001-2015年的波动下降的两个阶段变化特征,表明粮食安全整体受到的综合压力明显减小;敏感性指数则呈现出1991-2003年的快速上升和2004-2015年的基本稳定的两个阶段变化特征,表明粮食安全对压力的反应在第一阶段较为敏感,第二阶段较为稳定。比较而言,研究期间适应能力指数则呈现出持续的上升态势,表明25年来中国应用政策、经济、科技等手段来维护粮食安全的能力大为提升。

(2) 中国粮食安全脆弱性呈现出三个阶段的变化特征,即1991-1999年快速下降阶段、2000-2003年的轻微提升阶段和2004-2015年的持续下降阶段。第一阶段粮食安全脆弱性指数的下降是在敏感性指数不断上升的情况下,由于暴露性指数快速下降和适应能力指数的持续上升所造成的;第二阶段的轻微提升是由于敏感性指数的快速上升所导致的;而第三阶段的持续下降则是在敏感性指数基本稳定的情况下,由暴露性指数的持续下降和适应能力指数的持续上升所造成的。

(3) 研究表明人均GDP、城镇化率、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入4个动力因子共同作用推动中国粮食安全脆弱性的变化,而且第二阶段(2000-

2015年)4个动力因子对粮食安全脆弱性的驱动作用均明显小于第一阶段(1991-1999年)。随着经济增长和城镇化的持续推进,粮食安全脆弱性的第一驱动力由第1阶段的农村居民可支配收入,转变为第2阶段的人均GDP和城镇居民可支配收入,两个阶段中城镇化对降低粮食安全脆弱性的作用始终最小。

3.2 讨论

(1) 推进经济增长,优化粮食生产扶持体系。本文研究表明,随着人均GDP的增长,国家经济实力不断增强,极大提升了政府建立比较完善的粮食生产扶持体系和农民增收促进体系的能力,改善了粮食生产基础设施条件,进一步稳定了粮食供给,显著提升了城乡居民的粮食获取能力和利用水平。因此,在当前国际贸易保护主义抬头的背景下,应加快适应国内外经济形势的新变化,促进经济持续稳定增长,以进一步提升国家保障粮食安全水平的能力。与此同时,在经济增长过程中,中国粮食消费总量持续扩大,粮食消费结构正不断向以动物性食物为主的消费模式转变,导致近年来中国由于饲料粮的大幅进口(尤其是大豆),粮食自给率大幅下降。为此,政策扶持重点应向加快建立农村土地流转市场,培育农业大户、家庭农场等新型农业经营主体,发展农业合作组织,推进农业联户经营等方向转变,以实现粮食生产的规模化、集约化经营,提升粮食生产效率,进而达到稳定和提升粮食产能,适应粮食消费总量持续扩大的需求。另一方面,应加快调整粮食种植结构,在确保口粮绝对安全的基础上,重点推进镰刀湾地区、轮耕休作的生态脆弱区、地下水漏斗区的粮改饲工作,重点种植青贮玉米、大豆等饲料作物,以减轻大豆等饲料作物进口的压力,这在中国对美国大豆征收高关税的背景下显得尤为突出。

(2) 推进扶贫攻坚,促进城乡居民收入增长。暴露性、敏感性和适应能力三个要素的变化特征和粮食安全脆弱性的驱动机制分析均表明,农民收入增长能有效降低贫困率,使他们能够更好地利用清洁水源,改良卫生设施条件,提高食物的购买能力,降低粮食短缺程度、粮食不足和营养不良发生率,提升家庭微观层面的粮食安全水平。因此,应建立长期稳定的扶贫工作机制,重点加强对中西部边远山区、革命老区、生态脆弱区等主要地区的扶贫工作,确保到2020年贫困人口实现全部脱贫。与此同时,应大力实施乡村振兴战略,合理引导农业龙头企业、高校毕业生、返乡创业人员等各类创新创业主体,利用城镇的资金、技术、管理理念等生产要素,着力壮大农村集体经济,推进农村一二三产融合发展,促进城乡联动发展。另一方面,要进一步完善农村集体经济组织制度、集体经济成员认定制度、农地及宅基地三权分立制度等各项制度建设,使经济发展的成果能够在农村集体经济组织和成员中得到公平合理的分配,促进城乡居民收入稳步提升。

(3) 推进以人为本的新型城镇化,提升城镇化质量。粮食安全脆弱性驱动机制分析表明,从整体上看城镇化水平的提高能有效降低粮食安全脆弱性,但众多研究也表明,传统粗放式的城镇化是中国优质耕地快速减少的最为重要原因,会对中国长期粮食安全造成不利影响。因此应坚决贯彻《国家新型城镇化规划(2014-2020年)》,着力提升农业转移人口的收入水平,保障农业转移人口享有城镇公共服务的各项权利,加快农业转移人口的市民化进程,增强他们的粮食获取能力和利用水平,提升城镇居民家庭微观层面的粮食安全水平。与此同时,应进一步优化城镇空间布局,科学确定城镇扩展边界,

进一步盘活城镇的存量建设用地,提升城镇土地的集约利用水平,改变传统的以土地扩张为主的粗放的土地城镇化发展模式,逐步实现城镇建设和耕地保护的协同推进,城镇化水平和粮食安全水平的全面提升。

参考文献(References):

- [1] 姚成胜, 滕毅, 黄琳. 中国粮食安全评价指标体系构建及实证分析. 农业工程学报, 2015, 31(4): 1-10. [YAO C S, TENG Y, HUANG L. Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 1-10.]
- [2] 朱红波. 粮食安全的耕地资源保障措施研究. 水土保持研究, 2006, (5): 160-162, 165. [ZHU H B. Study on the cultivated land resource guarantee measure of food security. Research of Soil and Water Conservation, 2006, (5): 160-162, 165.]
- [3] BAO C, FANG C L. Water resources flows related to urbanization in China: Challenges and perspectives for water management and urban development. Water Resources Management, 2012, 26(2): 531-552.
- [4] 姚成胜, 邱雨菲, 黄琳, 等. 中国城市化与粮食安全耦合关系辨析及其实证分析. 中国软科学, 2016, (8): 75-88. [YAO C S, QIU Y F, HUANG L, et al. Coupling relationship between urbanization and food security in China: An empirical study. China Soft Science, 2016, (8): 75-88.]
- [5] 郑志浩, 高颖, 赵殷钰. 收入增长对城镇居民食物消费模式的影响. 经济学: 季刊, 2016, 15(1): 263-288. [ZHENG Z H, GAO Y, ZHAO Y Y. Impact of income growth on food consumption patterns in urban China. China Economic Quarterly, 2016, 15(1): 263-288.]
- [6] 李哲敏. 近50年中国居民食物消费与营养发展的变化特点. 资源科学, 2007, 29(1): 27-35. [LI Z M. Change of Chinese inhabitant's food consumption and nutrition development in the last 50 years. Resources Science, 2007, 29(1): 27-35.]
- [7] 唐华俊. 新形势下中国粮食自给战略. 农业经济问题, 2014, 35(2): 4-10. [TANG H J. China's grain self-sufficiency strategy in the new situation. Issues in Agricultural Economy, 2014, 35(2): 4-10.]
- [8] 吕新业, 冀县卿. 关于中国粮食安全问题的再思考. 农业经济问题, 2013, (9): 17-26. [LYU X J, JI X Q. Rethinking of food security issues in China. Issues of Agricultural Economy, 2013, (9): 15-24.]
- [9] 张广翠. 中国粮食安全的现状与前瞻. 人口学刊, 2005, (3): 37-41. [ZHANG G C. The present situation and prospect of China's food security. Population Journal, 2005, (3): 37-41.]
- [10] 肖玉, 成升魁, 谢高地, 等. 我国主要粮食品种供给与消费平衡分析. 自然资源学报, 2017, 32(6): 927-936. [XIAO Y, CHENG S K, XIE G D, et al. The balance between supply and consumption of the main types of grain in China. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 927-936.]
- [11] 田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系. 地理研究, 2013, 32(1): 55-63. [TIAN Y P, XIANG Q C, WANG P. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes. Geographical Research, 2013, 32(1): 55-63.]
- [12] 黄建毅, 刘毅, 马丽, 等. 国外脆弱性理论模型与评估框架研究评述. 地域研究与开发, 2012, 31(5): 1-5. [HUANG J Y, LIU Y, MA L, et al. Review on the theoretical model and assessment framework of foreign vulnerability research. Areal Research and Development, 2012, 31(5): 1-5.]
- [13] 李鹤, 张平宇. 全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望. 地理科学进展, 2011, 30(7): 920-929. [LI H, ZHANG P Y. Research progress and prospective applications of vulnerability approach under global change. Progress in Geography, 2011, 30(7): 920-929.]
- [14] 袁海红, 高晓路. 城市经济脆弱性评价研究: 以北京海淀区为例. 自然资源学报, 2014, 29(7): 1159-1172. [YUAN H H, GAO X L. Assessing the economic vulnerability to disasters of cites: A case study of Haidian in Beijing. Journal of Natural Resources, 2014, 29(7): 1159-1172.]
- [15] FAO. The state of food insecurity in the world 2013: The multiple dimensions of food security. Rome, 2013.
- [16] XU M, HE C Y, LIU Z F, et al. How did urban land expand in China between 1992 and 2015? A multi-scale landscape analysis. Plos One, 2016, 11(5): e0154839, Doi: 10.1371/journal.pone.0154839.
- [17] HE C Y, LIU Z F, XU M, et al. Urban expansion brought stress to food security in China: Evidence from decreased cropland net primary productivity. Science of the Total Environment, 2017, 576: 660-670.

- [18] YAN T, WANG J, HUANG J. Urbanization, agricultural water use, and regional and national crop production in China. *Ecological Modelling*, 2015, 318(318): 226-235.
- [19] 陈锡文, 陈昱阳, 张建军. 中国农村人口老龄化对农业产出影响的量化研究. *中国人口科学*, 2011, (2): 39-46. [CHEN X W, CHEN Y Y, ZHANG J J. An analysis of rural population aging's effect on agricultural output in China. *Chinese Journal of Population Science*, 2011, (2): 39-46.]
- [20] 程名望, 黄甜甜, 刘雅娟. 农村劳动力转移对粮食安全的影响: 基于粮食主销区面板数据的实证分析. *上海经济研究*, 2015, (4): 87-92. [CHENG M W, HUANG T T, LIU Y J. The influence of rural labor transfer on food security: An empirical analysis based on panel data of main grain sales area. *Shanghai Journal of Economics*, 2015, (4): 87-92.]
- [21] 殷培红, 方修琦. 中国粮食安全脆弱区的识别及空间分异特征. *地理学报*, 2008, 63(10): 1064-1072. [YIN P H, FANG X Q. Assessment on vulnerable regions of food security in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(10): 1064-1072.]
- [22] POLSKY C, NEFF R, YARNAL B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, 2007, 17(3-4): 472-485.
- [23] 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于 VSD 框架的半干旱地区社会: 生态系统脆弱性演化与模拟. *地理学报*, 2016, 71(7): 1172-1188. [CHEN J, YANG X J, YIN S, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1172-1188.]
- [24] 陈萍, 陈晓红. 全球环境变化下人—环境耦合系统的脆弱性研究综述. *地理科学进展*, 2010, 29(4): 454-462. [CHEN P, CHEN X L. Summary on research of coupled human-environment system vulnerability under global environmental change. *Progress in Geography*, 2010, 29(4): 454-462.]
- [25] 张鹏岩, 秦明周, 闫江虹, 等. 河南省耕地资源利用效益的影响因素及特征分析. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(1): 162-169. [ZHANG P Y, QIN M Z, YAN J H, et al. Study on impact factors and characteristic of cultivated land resources' utilization benefit in Henan province. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(1): 162-169.]
- [26] 李彤玥. 基于“暴露—敏感—适应”的城市脆弱性空间研究: 以兰州市为例. *经济地理*, 2017, 37(3): 86-95. [LI T Y. Spatial vulnerability based on the framework of the exposure-sensitivity-adaptive capacity: A case study of Lanzhou. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 86-95.]
- [27] 李小维, 黄子眉, 陈剑锋, 等. 基于 VSD 模型的铁山港湾红树林生态系统脆弱性初步评价. *热带海洋学报*, 2018, 37(2): 47-54. [LI X W, HUANG Z M, CHEN J F, et al. Mangrove ecosystem vulnerability preliminary assessment of Tieshangang Bay based on VSD model. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(2): 47-54.]
- [28] 黄季焜. 中国的食物安全. *中国农村经济*, 2004, (10): 4-10. [HUANG J K. Food security in China. *China Rural Economy*, 2004, (10): 4-10.]
- [29] 闫慧敏, 刘纪远, 黄河清, 等. 城市化和退耕还林草对中国耕地生产力的影响. *地理学报*, 2012, 67(5): 579-588. [YAN H M, LIU J Y, HUANG H Q, et al. Impacts of cropland transformation on agricultural production under urbanization and grain for green project in china. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(5): 579-588.]
- [30] 姚成胜. 中部地区粮食生产波动性分析及政策建议. *江西社会科学*, 2011, (9): 70-75. [YAO C S. Fluctuation analysis of food production in central region of china and policy recommendations. *Jiangxi Social Sciences*, 2011, (9): 70-75.]
- [31] KEARNEY J. Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2010, 365(1554): 2793-2807.
- [32] GODFRAY H C J, CRUTE I R, HADDAD L, et al. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2010, 365(1554): 2769-2777.
- [33] SATTERTHWAITE D, MCGRANAHAN G, TACOLI C. Urbanization and its implications for food and farming. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2010, 365(1554): 2809-2820.
- [34] MA H, HUANG J, FULLER F, et al. Getting rich and eating out: Consumption of food away from home in urban China. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2006, 54(1): 101-119.
- [35] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. *地理学报*, 2009, 64(4): 387-398. [CHEN M X, LU D D, ZHANG H. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 387-398.]

The vulnerability assessment and driving mechanism analysis of China's food security system

YAO Cheng-sheng^{1,2}, YIN Wei³, LI Zheng-tong⁴

(1. Center of Central China Economic Development Research, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

3. School of Tourism, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 4. Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: China has attained lots of achievements in maintaining its food security in the past two decades. However, the food security system of China is still faced with great challenges and has its typical vulnerability characteristics. From the perspective of food security system, using the VSD (vulnerability acoping siagram) analysis framework, the evaluation index system of food security vulnerability in China was constructed in three dimensions of exposure, sensitivity and adaptive capacity. Based on the statistical data in China from 1991 to 2015, we used the method of principal component analysis to examine the changing characteristics of exposure index, sensitivity index and adaptive capacity index, and revealed the overall trend of food security system vulnerability and its driving factors. The results showed that: (1) The development of exposure index can be divided into rapid decrease stage (1991-2000) and slow decrease stage (2001-2015), and its annual average decline value is 0.121; the development of sensitivity index can be divided into rapid increase stage (1991-2003) and relatively steady stage (2004-2015), while the adaptive capacity index shows a continuous increasing trend during the period of 1991 to 2015, and its annual average increase value is 0.117. (2) The index of food security system vulnerability in China is overall on the decrease, which means that the state of food security in China has been greatly improved. And the changing process of the food security system vulnerability can be divided into three stages of 1991-1999, 2000-2003 and 2003-2015, the first and second stages happened in the age of lower food security level of merely eradicating hunger, and the second decrease stage was in the age of higher food security level of eating more diversified food. (3) The four factors which induced to the change of food security vulnerability in China are per capita GDP, urbanization rate, annual per capita disposable income of urban households (ACDIUH), and annual per capita disposable income of rural households (ACDIRH). In the second stage (2000-2015), the driving effect of the four factors was much smaller than that of the first stage (1991-1999), and the leading driving factor in the first stage was ACDIRH, while in the second stage, the leading driving factors were per capita GDP and ACDIUH. At last, some suggestions are proposed to lower China's food security vulnerability, such as to promote economic growth, increase urban and rural residents' income to eradicate poverty and propel new urbanization.

Keywords: food security; vulnerability; driving mechanism; VSD analysis framework; China