

农业因素在人均GDP与婴儿死亡率间的中介效应分析

李鸿斌^{1,2}, 王 洁^{1,2}, 张小燕^{1,2}, 冯海娟³, 王国栋³, 施克芸^{1,2}, 李 节^{1,2}, 印冬珣^{1,2}

¹如皋市妇幼保健计划生育服务中心, 江苏 如皋

²如皋市妇幼保健院, 江苏 如皋

³如皋市人民医院, 江苏 如皋

收稿日期: 2025年10月5日; 录用日期: 2025年11月3日; 发布日期: 2025年11月12日

摘 要

本文基于世界银行数据库, 以不同收入国家的婴儿死亡率为因变量, 人均GDP为自变量, 分别以谷类产量、耕地、农业用地、食品生产指数、农业增加值为中介变量, 进行中介效应分析, 旨在论证农业因素在人均GDP与婴儿死亡率间的中介作用, 对于探索人均GDP的作用机制、认清正确的投入方向、适时调整针对性的防控策略、实现2030年儿童死亡率可持续发展目标均有现实意义。

关键词

婴儿死亡率, 人均GDP, 谷类产量, 耕地, 农业用地, 食品生产指数, 农业增加值

Analysis of the Mediating Effect of Agricultural Factors between Per Capita GDP and Infant Mortality Rate

Hongbin Li^{1,2}, Jie Wang^{1,2}, Xiaoyan Zhang^{1,2}, Haijuan Feng³, Guodong Wang³, Keyun Shi^{1,2}, Jie Li^{1,2}, Dongxun Yin^{1,2}

¹Rugao Maternal and Child Health and Family Planning Service Center, Rugao Jiangsu

²Rugao Maternal and Child Health Hospital, Rugao Jiangsu

³Rugao People's Hospital, Rugao Jiangsu

文章引用: 李鸿斌, 王洁, 张小燕, 冯海娟, 王国栋, 施克芸, 李节, 印冬珣. 农业因素在人均 GDP 与婴儿死亡率间的中介效应分析[J]. 农业科学, 2025, 15(11): 1307-1318. DOI: 10.12677/hjas.2025.1511165

Abstract

Based on the World Bank database, this article takes the infant mortality rate of different income countries as the dependent variable and per capita GDP as the independent variable, and uses grain yield, cultivated land, agricultural land, food production index, agricultural added value as mediating variables, exploring the mediating role of agricultural factors between per capita GDP and infant mortality rate through mediation analysis. It has practical significance for exploring the mechanism of per capita GDP, identifying the correct direction of investment, adjusting targeted prevention and control strategies in a timely manner, and achieving the sustainable development goal of child mortality by 2030.

Keywords

Infant Mortality Rate, Per Capita GDP, Grain Yield, Cultivated Land, Agricultural Land, Food Production Index, Agricultural Added Value

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

儿童是人类生存和发展的重要战略资源，而粮食是人类生存的基本物质条件。2030 年全球可持续发展议程[1]确定的第一个目标为在世界消除不同形式的贫穷；第二目标为消除饥饿、实现粮食安全、改善营养状况并促进可持续农业；第三目标要求到 2030 年，消除新生儿和 5 岁以下儿童可预防的死亡，各国争取至少将新生儿死亡率降至 12‰，5 岁以下儿童死亡率降至 25‰。婴儿死亡率是国际公认的基础健康指标，也是衡量经济社会发展和人类发展的重要综合性指标之一，其影响因素是涉及社会各领域的复杂系统[2]。1980 年乌干达卡拉莫贾饥荒期间，婴儿死亡率比 1969 年增加了近 10 倍[3]，中国在三年自然灾害期间，婴儿死亡率出现反跳现象[4]，在 1995~2013 年 84 个发展中经济体因食物不足导致婴儿死亡率增加[5]，粮食安全是婴儿死亡率的重要影响因素之一[2][6]。在论证人均 GDP 与婴儿死亡率关系变化的“拐点”假设时[7][8]，将婴儿死亡率下降的理想历程区分为第一转变前的非积极影响阶段、两次转变间的积极影响阶段、第二转变后的非积极影响阶段等三个连续的过程，推测在非积极影响阶段人均 GDP 通过中间变量间接降低婴儿死亡率，积极影响阶段还通过中间变量发挥作用。研究显示，人均收入与消费支出在中等收入国家发挥部分中介作用[9]，贫困、饥饿、营养不良与粮食供给有关，而耕地、农业用地与谷物产量有关，一定程度影响农业增加值和食品生产指数，故而相关农业因素与粮食安全有关联，因此，推测粮食等农业因素有可能也是人均 GDP 与婴儿死亡率间的中间变量。其理论框架见图 1。论证中间变量假设，对于探索人均 GDP 的作用机制、认清正确的投入方向、适时调整针对性的防控策略、实现 2030 年儿童死亡率可持续发展目标均有现实意义。我们以世界银行更新数据为基础，以婴儿死亡率为因变量，人均 GDP 为自变量，粮食等农业因素为中介变量，进行中介效应分析，探讨人均 GDP 通过农业因素降低婴儿死亡率的间接机制，为研究调整防控策略提供参考依据。

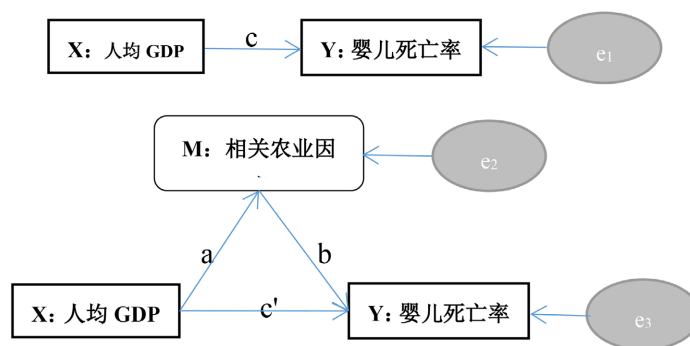


Figure 1. Schematic diagram of the theoretical framework for the assumption of intermediate variables
图 1. 中间变量假设的理论框架示意图

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

婴儿死亡率、人均 GDP 及农业等相关指标从世界银行数据库(<https://data.worldbank.org.cn/>)下载数据, 婴儿死亡率的更新时间为 2024 年 5 月 30 日, 其他的更新时间为 2024 年 6 月 28 日。根据数据的完整性选择 2000~2021 年纳入研究。

2.2. 拟选中介变量

根据下载数据的解释说明, 谷类产量按照收获土地每公顷千克数来计量, 包括小麦、水稻、玉米、大麦、燕麦、黑麦、小米、高粱、荞麦和杂粮。耕地(人均公顷数)按联合国粮农组织定义为用于种植短期作物(种植双季作物的土地只计算一次)、供割草或放牧的短期草场、供应市场的菜园和自用菜园的土壤, 以及暂时闲置的土地, 因转换耕作方式而休闲的土地不包括在内。农业用地(占土地面积的百分比)指耕地、永久性作物和永久性牧场用地的比例。食品生产指数(2014-2016 = 100)涵盖被视为可食用且含营养成分的食品作物, 不包括咖啡和茶。农业增加值(现价美元)对应《国际标准行业分类》, 在林业、狩猎和渔业以及作物耕种和畜牧生产等 5 个方面, 所有产出相加再减去中间投入得出的部门净产出。

2.3. 研究方法

2.3.1. 变量数据的预处理

首先, 按高、中、低收入国家分类, 再按不同中介变量分组, 然后对不同类别、分组的各变量进行描述性分析; 其次, 对不同分组的变量进行正态分布检验、时间序列平稳性检验、变量间的相关分析、人均 GDP 与各中介变量间的多重共线性诊断; 然后, 对各变量进行自然对数转换, 为方便分析表达, 避免回归方程中出现与中介变量无关的截距项[10], 对经自然对数转换后的变量再进行中心化处理。

2.3.2. 构建中介模型

在变量自然对数转换及中心化处理基础上, 以婴儿死亡率为因变量(Y)、人均 GDP 为自变量(X), 分别以谷类产量(M₁)、耕地(M₂)、农业用地(M₃)、食品生产指数(M₄)、农业增加值(M₅)为中介变量(M)。

模型 1: $Y = cX + e_1$, 模型 2: $M = aX + e_2$, 模型 3: $Y = c'X + bM + e_3$, c 为 X 对 Y 的总效应, a 为 X 对 M 的效应, b 为控制 X 影响后 M 对 Y 的效应, c' 为控制 M 后 X 对 Y 的直接效应。 e_1 、 e_2 、 e_3 为回归残差。中介效应 = 间接效应 = $a \times b = c - c'$ 。

依据中介效应检验流程[10]的五步法(逐步检验结合 Bootstrap 法)进行检验和结果判断:

第一步，检验模型 1 的系数 c ，如果显著，按中介效应立论，否则按遮掩效应立论。

第二步，依次检验模型 2 的系数 a 、模型 3 的系数 b ，如果两个都显著，则间接效应显著，转到第四步。如果至少一个不显著，进行第三步。

第三步，用 Bootstrap 法直接检验 $H_0:ab=0$ 。如果显著，则间接效应显著，进行第四步。否则间接效应不显著，停止分析。

第四步，检验模型 3 的系数 c' ，如果不显著，即直接效应不显著，说明只有中介效应。如果显著，即直接效应显著，进行第五步。

第五步，比较 ab 和 c' 的符号，如果同号，属于部分中介效应，报告中介效应占总效应的比例(ab/c)。如果异号，属于遮掩效应，报告间接效应与直接效应比例的绝对值 $|ab/c'|$ 。

2.4. 统计学方法

选择平行中介分析，同时进行 Bootstrap 抽样(1000)、系数乘积检验。描述性分析、正态分布检验、单位根检验、相关分析、共线性诊断、自然对数转换、中心化处理、平行中介分析等均在 SPSSPRO 1.1.28 上进行数据处理， $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 变量的描述性分析

不同收入国家不同分组变量的描述性分析结果见表 1。

Table 1. Descriptive analysis of variables grouped by mediator variables in high, medium, and low-income countries from 2000 to 2021

表 1. 2000~2021 年高、中、低收入国家按中介变量分组的变量描述性分析

国家分类	中介变量分组	变量	样本量	最大值	最小值	平均值	标准差	中位数	峰度	偏度	变异系数
高收入国家	M ₁	Y		37.10	1.500	6.68	5.28	4.75	8.00	2.50	0.79
		X	1100	133711.80	937.298	30391.99	21978.65	24658.80	2.60	1.42	0.72
		M ₁		36761.90	176.300	5333.85	3519.71	4961.75	21.46	3.60	0.66
	M ₂	Y		37.10	1.400	6.86	5.513	4.80	5.60	2.15	0.80
		X	1320	133711.80	937.298	30659.50	21411.54	24904.49	2.32	1.32	0.70
		M ₂		4606000.00	9.83×10^{-5}	73916.77	568374.82	0.11	55.57	7.58	7.69
	M ₃	Y		37.10	1.40	7.13	6.17	4.80	5.24	2.22	0.87
		X	1320	133711.80	937.30	30297.74	21639.86	24077.81	2.22	1.31	0.71
		M ₃		85.49	0.41	32.01	21.765	30.13	-0.83	0.36	0.68
	M ₄	Y		37.10	1.50	7.19	6.01	5.00	5.92	2.28	0.84
		X	1254	133711.80	937.30	29774.89	21640.19	23735.97	2.55	1.41	0.73
		M ₄		502.14	29.28	97.15	27.02	97.19	90.30	7.30	0.28
	M ₅	Y		37.10	1.50	6.92	5.57	4.80	5.42	2.13	0.81
		X	1276	133711.80	937.30	30446.02	21492.71	24718.89	2.420	1.35	0.71
		M ₅		22372373900.00	1.16	11178937245.15	24917783892.00	2649335569.42	30.56	4.98	2.23

续表

中收入国家	M ₁	Y		120.70	2.00	31.06	20.76	24.20	0.72	1.09	0.67
		X	2090	15765.42	137.18	3545.28	2832.28	2722.74	0.91	1.17	0.80
		M ₁		30400.20	0.10	2705.527	2436.703	2287.950	53.810	5.990	0.901
	M ₂	Y		120.70	2.00	31.21	21.01	24.20	0.78	1.12	0.67
		X	2222	19849.72	137.18	3636.01	2944.67	2800.91	1.92	1.33	0.81
		M ₂		16869000.00	0.001	154218.91	1543907.06	0.14	96.95	9.93	10.01
	M ₃	Y		120.70	2.00	31.02	21.10	23.80	0.80	1.14	0.68
		X	2200	19849.72	137.18	3605.02	2948.72	2742.10	2.00	1.36	0.82
		M ₃		84.31	0.45	40.39	21.02	40.89	-0.88	0.04	0.52
	M ₄	Y		120.70	2.00	31.16	20.92	24.25	0.82	1.13	0.67
		X	2244	19849.72	137.18	3631.86	2932.42	2813.03	1.97	1.34	0.81
		M ₄		183.45	17.00	91.55	20.12	94.61	1.00	-0.02	0.22
	M ₅	Y		120.70	2.00	30.99	20.61	24.70	0.82	1.11	0.67
		X	2046	14613.04	137.18	3479.78	2737.22	2698.10	0.96	1.17	0.79
		M ₅		1290382586162.91	7907084.16	18609474366.14	81744534607.80	2150925925.93	108.27	9.65	4.39
低收入国家	M ₁	Y		138.300	16.30	65.91	23.738	64.30	-0.28	0.25	0.36
		X	506	2971.28	110.46	583.92	345.98	522.94	10.88	2.44	0.59
		M ₁		4345.30	289.20	1247.86	603.23	1125.10	2.04	1.25	0.48
	M ₂	Y		138.30	16.30	65.91	23.74	64.30	-0.282	0.25	0.36
		X	506	2971.28	110.46	583.92	345.98	522.94	10.882	2.44	0.59
		M ₂		1.20	0.04	0.26	0.19	0.211	5.667	2.13	0.73
	M ₃	Y		138.30	16.30	65.91	23.74	64.30	-0.282	0.25	0.36
		X	506	2971.28	110.46	583.92	345.98	522.94	10.88	2.44	0.59
		M ₃		81.89	7.83	49.12	20.59	51.952	-0.91	-0.39	0.42
	M ₄	Y		138.30	16.30	66.61	23.97	65.20	-0.32	0.19	0.36
		X	484	2971.28	110.46	565.33	334.10	516.07	13.66	2.74	0.59
		M ₄		153.68	29.20	90.49	23.65	95.50	-0.34	-0.22	0.26
	M ₅	Y		138.30	16.30	64.30	23.71	62.65	0.01	0.36	0.37
		X	418	2971.28	110.46	593.03	353.05	545.42	11.71	2.54	0.60
		M ₅		41811231713.50	130274522.28	3789149355.80	5202931903.40	2286741828.49	16.39	3.54	1.37

3.2. 相关分析与共线性诊断

高收入国家农业用地与人均 GDP ($r = 0.03$, $P = 0.913$)、耕地与婴儿死亡率($r = -0.035$, $P = 0.206$)、食品生产指数与婴儿死亡率($r = 0.012$, $P = 0.665$)的相关分析差异均无统计学意义。中收入国家耕地与人均 GDP 的相关分析差异无统计学意义($r = 0.028$, $P = 0.193$)。低收入国家耕地与人均 GDP ($r = 0.020$, $P =$

0.650)、谷类产量与人均 GDP ($r = 0.070$, $P = 0.116$)的相关分析差异均无统计学意义。其他变量间的相关分析差异均有统计学意义($P < 0.05$)。不同分组的中介变量与人均 GDP 的方差扩大因子(VIF)均小于 5。具体结果从略。

3.3. 正态分布检验与时间序列变量的平稳性检验

对各组变量进行正态分布检验,少数组别差异无统计学意义,有统计学意义的在比较峰度、偏度再结合直方图、PP 图 QQ 图后,婴儿死亡率、人均 GDP 虽不绝对正态但可描述为基本符合正态分布,但中介变量峰度的绝对值(>10)偏高、偏度的绝对值(>3)偏大,不符合正态分布。正态分布检验结果、直方图、PP 图、QQ 图从略。

低收入国家农业用地 0 阶差分的 ADF 检验差异无统计学意义($t = -2.584$, $P = 0.096$),经自然对数转换后 1 阶差分的 ADF 检验差异有统计学意义($t = -9.795$, $P = 0.000$);中收入国家的农业增加值 0 阶差分的 ADF 检验差异无统计学意义($t = -4.568$, $P = 1.000$),经自然对数转换后 1 阶差分的 ADF 检验差异有统计学意义($t = -10.408$, $P = 0.000$);其他各组时间序列变量的 0 阶差分 ADF 检验差异均有统计学意义($P < 0.05$),具体检验结果从略。

3.4. 不同分组的中介效应分析

低收入国家的农业用地、中收入国家的农业增加值使用自然对数转换后 1 阶差分序列,相应模型的因变量、自变量也选择 1 阶差分序列,然后经中心化处理后,纳入中介效应模型,其他分组的变量按 0 阶差分序列自然对数转换后中心化处理的结果纳入中介效应模型。

3.4.1. 高收入国家的中介效应分析

在 $X \rightarrow M_1 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_4 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_5 \rightarrow Y$ 路径, c 、 c' 回归系数 t 检验差异有统计学意义,而 a 或 b 回归系数 t 检验差异无统计学意义,Bootstrap95%CI 包括 0。谷类产量、食品生产指数、农业增加值的中介作用不显著。

在 $X \rightarrow M_2 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_3 \rightarrow Y$ 路径, c 、 a 、 b 、 c' 回归系数 t 检验差异均有统计学意义, ab 与 c' 异号, M_2 、 M_3 发挥遮掩作用,耕地的间接效应与直接效应比例的绝对值 $|ab/c'| = |0.032/(-0.584)| = 5.48\%$, 农业用地的 $|ab/c'| = |0.009/(-0.592)| = 1.52\%$ 。见表 2、表 3。

3.4.2. 中收入国家的中介效应分析

在 $X \rightarrow M_1 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_4 \rightarrow Y$ 路径, c 、 a 、 b 、 c' 回归系数 t 检验差异均有统计学意义, ab 与 c' 同号, M_1 、 M_4 均发挥部分中介作用,谷类产量的间接效应占总效应的比例 $ab/c = (-0.027)/(-0.552) = 4.89\%$, 食品生产指数的 $ab/c = (-0.020)/(-0.492) = 4.07\%$ 。

在 $X \rightarrow M_2 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_5 \rightarrow Y$, c 、 c' 回归系数 t 检验差异有统计学意义,而 a 或 b 回归系数 t 检验差异无统计学意义,Bootstrap95%CI 包括 0,耕地、农业增加值的中介作用不显著。

在 $X \rightarrow M_3 \rightarrow Y$ 路径, c 、 a 、 b 、 c' 回归系数 t 检验差异有统计学意义, ab 与 c' 异号, M_3 发挥遮掩作用,农业用地的间接效应与直接效应比例的绝对值 $|ab/c'| = |0.008/(-0.513)| = 1.56\%$ 。见表 2、表 3。

3.4.3. 低收入国家的中介效应分析

在 $X \rightarrow M_1 \rightarrow Y$ 路径, c 、 b 、 c' 回归系数 t 检验差异有统计学意义, a 的回归系数差异无统计学意义,Bootstrap95%CI 不包括 0, ab 与 c' 同号, M_1 发挥部分中介作用,谷类产量的间接效应占总效应的比例 $ab/c = (-0.018)/(-0.463) = 3.89\%$ 。

在 $X \rightarrow M_2 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_3 \rightarrow Y$ 路径, c 、 c' 回归系数 t 检验差异有统计学意义, a 或 b 回归系数 t 检验差

异无统计学意义, Bootstrap95%CI 包括 0, 耕地、农业用地的中介作用不显著。

在 $X \rightarrow M_4 \rightarrow Y$ 、 $X \rightarrow M_5 \rightarrow Y$ 路径中, c 、 a 、 b 、 c' 回归系数 t 检验差异均有统计学意义, ab 与 c' 同号, M_4 、 M_5 均发挥部分中介作用, 食品生产指数的 $ab/c = (-0.116)/(-0.479) = 24.22\%$, 农业增加值的 $ab/c = (-0.042)/(-0.450) = 9.33\%$ 。见表 2、表 3。

Table 2. Mediating effect analysis of agricultural factors as mediating variables in different income countries and groups from 2000 to 2021

表 2. 2000~2021 年不同收入国家不同分组的按农业因素为中介变量的中介效应分析

国家 分类	中介变 量分组	模型 1			模型 2			模型 3					
		c	t	P	a	t	P	b	t	P	c'	t	P
高收 入国 家	M ₁	-0.480	-27.298	0.000	0.257	12.922	0.000	-0.021	-0.784	0.433	-0.475	-25.143	0.000
	M ₂	-0.552	-31.997	0.000	-0.632	-6.167	0.000	-0.051	-11.455	0.000	-0.584	-34.985	0.000
	M ₃	-0.584	-35.316	0.000	-0.108	-2.951	0.003	-0.079	-6.490	0.000	-0.592	-36.271	0.000
	M ₄	-0.548	-32.130	0.000	0.037	4.952	0.000	-0.063	-0.990	0.323	-0.546	-31.683	0.000
	M ₅	-0.543	-31.058	0.000	0.210	1.641	0.101	-0.024	-6.462	0.000	-0.538	-31.220	0.000
中收 入国 家	M ₁	-0.522	-41.232	0.000	0.135	7.387	0.000	-0.198	-13.618	0.000	-0.495	-40.290	0.000
	M ₂	-0.492	-38.322	0.000	0.006	0.119	0.905	-0.011	-2.093	0.036	-0.492	-38.346	0.000
	M ₃	-0.504	-39.640	0.000	-0.119	-5.967	0.000	-0.070	-5.192	0.000	-0.513	-40.210	0.000
	M ₄	-0.492	-38.530	0.000	0.116	22.236	0.000	-0.176	-3.397	0.001	-0.472	-33.513	0.000
	M ₅	-0.396	-5.652	0.000	0.269	2.407	0.018	-0.003	-0.044	0.965	-0.395	-5.454	0.000
低收 入国 家	M ₁	-0.463	-17.987	0.000	0.071	1.886	0.060	-0.256	-9.112	0.000	-0.445	-18.564	0.000
	M ₂	-0.463	-17.987	0.000	0.059	1.127	0.260	0.130	6.178	0.000	-0.471	-18.925	0.000
	M ₃	-0.528	-13.210	0.000	0.014	1.090	0.278	0.115	0.370	0.712	-0.530	-13.114	0.000
	M ₄	-0.479	-17.638	0.000	0.285	13.539	0.000	-0.406	-7.300	0.000	-0.363	-11.975	0.000
	M ₅	-0.450	-15.455	0.000	0.866	9.702	0.000	-0.048	-3.037	0.003	-0.408	-12.789	0.000

Table 3. Mediation effect test results of Bootstrap sampling method and Sobel coefficient product method for different mediation models

表 3. 不同中介模型 Bootstrap 抽样法与 Sobel 系数乘积法的中介效应检验结果

国家 分类	中介变量 分组	ab	Bootstrap95%CI			Sobel 法	
			Boot SE	下限	上限	z	P
高收 入国 家	M ₁	-0.005	0.008	-0.021	0.010	-0.669	0.504
	M ₂	0.032	0.004	0.025	0.039	8.928	0.000
	M ₃	0.009	0.003	0.003	0.015	3.017	0.003
	M ₄	-0.002	0.003	-0.011	0.002	-4.537	0.000
	M ₅	-0.005	0.004	-0.013	0.000	-1.401	0.162
中收 入国 家	M ₁	-0.027	0.005	-0.036	-0.017	-5.459	0.000
	M ₂	-0.0001	0.000	-0.001	0.001	-0.146	0.884
	M ₃	0.008	0.003	0.004	0.014	3.334	0.001
	M ₄	-0.02	0.005	-0.031	-0.011	-4.020	0.000
	M ₅	-0.001	0.014	-0.034	0.023	-0.052	0.959

续表

低收入国家	M ₁	-0.018	0.009	-0.035	-0.001	-2.098	0.036
	M ₂	0.008	0.008	-0.006	0.024	0.985	0.325
	M ₃	0.002	0.005	-0.006	0.014	0.313	0.755
	M ₄	-0.116	0.016	-0.149	-0.089	-7.234	0.000
	M ₅	-0.042	0.010	-0.066	-0.024	-3.991	0.000

4. 讨论

生存和发展一直是人类的永恒主题，保护儿童生存、促进儿童发展、保障粮食安全是保障主题永恒的基本条件。粮食安全和营养对于改善健康状况至关重要。全球国家的经济社会发展存在着显著的差异，健康结果(包括婴儿死亡率)的影响因素因收入水平不同也存在着差异[11]，不同经济发展国家的社会经济条件与健康之间的关联有所不同[12]。描述性分析表明，高、中、低收入国家的婴儿死亡率阶梯式增高，而人均 GDP 与各中介变量阶梯式下降，全球国家因收入不同，婴儿死亡率、人均 GDP 及农业因素相关中介变量存在着较大差异，各中介变量的作用可能不尽相同，相关防控政策也应有所侧重，因此，有必要深入探讨弄清楚不同中介变量在不同收入国家的作用。

4.1. 变量数据预处理的必要性

不同分组变量的描述性分析表明，变量数据呈现极差大、中位数与均值偏差大、标准差大、变异系数大、中介变量的峰度与偏度的绝对值大等异常特征，说明数据分布广泛、不均匀，跨度大、离散程度大，中介变量与正态分布相距较远。部分变量间相关分析差异无统计学意义，强行用线性模型拟合，会导致模型拟合不佳和错误的效应估计。偏态数据常常伴随异方差，会使其标准误的计算出现偏差，使假设检验结果不可信。严重偏态数据会导致误差项非正态，使系数的显著性检验失效。使用原始数据进行中介分析，其结果很可能是扭曲的、不稳健的，显著性检验也是不可靠的，故而对原始数据进行预处理。自然对数转换能有效改善原始数据的异常问题，一是通过压缩高值区域的尺度、拉伸低值区域的尺度，大幅缓解偏态，使分布更加接近正态分布，同时也会削弱了异常值的极端影响；二是通过压缩数据的尺度，使方差不再与均值水平成比例，从而稳定方差，缓解异方差性；三是自然对数转换后原无相关性 2 个变量转变为有显著的相关性，原有相关性的线性关系得到了明显的增强。因此，自然对数转换能显著提升中介分析的质量和可信度。结果还显示，人均 GDP 与各拟选中介变量间不存在严重的共线性，说明中介模型 3 可直接使用线性回归方程。少数非平稳时间序列经自然对数转换后具有较好的平稳性。总之，经数据预处理后，使纳入模型的变量符合技术假设的要求，是进行后续中介分析的统计基础。另外，在中介模型中，回归方程的截距项代表当所有自变量都为零时，因变量的预期值，对于探索人均 GDP 与婴儿死亡率间的中介变量没有实质性的意义，在自然对数转换后，进一步进行了中心化处理，模型表达更加简明，使变量数据集的各个数据点向下平移了均值个单位，仅改变了数据的位置，不会改变数据分布形式，并不影响相关分析、正态分布检验、共线性诊断及单位根检验的结果。

4.2. 粮食安全通过营养状况影响婴儿生命健康

在 2014 年盖洛普世界民意调查 147 个国家 152,206 人的全球分析显示[13]，粮食不安全程度较高的国家婴儿死亡率、孕产妇死亡率较高。1966~2015 年孟加拉国作物生产对婴儿死亡率有间接负面影响[14]。美国粮食不安全影响了大约 11.1%家庭，并与婴儿状况恶化有关，2019 年北卡罗来纳州 18 个县级的多变量线性回归分析表明粮食不安全与婴儿死亡率呈正相关，是婴儿死亡率的最强预测因子[15]。那么，粮食

不安全是如何影响婴儿死亡率的呢？众多证据表明，营养不良是重要的途径。印度随机抽样调查米佐拉姆塞哈区 17 个村庄的 1650 名母亲[16]，收集了每天食用的所有食物，并评估营养状况，结果表明该地区的高婴儿死亡率是由于粮食不安全和营养不良造成的。20 世纪 60 年代的印度[17]，由于食物摄入不足和反复感染，生活在贫困线以下的学龄前儿童、孕妇和哺乳期母亲营养不良的风险很高，营养不良导致免疫力低下，导致婴儿死亡率上升。1991 年至 2016 年南部非洲发展共同体的人口增长和营养不良对整个分布区的婴儿死亡率具有积极而显著的影响[18]。1995 年至 2010 年埃及[19]早期发育迟缓反映了母亲食物摄入不足、健康状况不佳等因素的累积影响。营养不良是粮食不安全引起婴儿死亡等生命健康问题的重要路径。另有研究[20]，以撒哈拉以南非洲 31 个国家 2001 年至 2018 年的年度数据，经多国面板数据分析和多种估计技术，营养不良发生率每增加 1%，婴儿死亡率就会增加 0.0119 个百分点，平均膳食能量供应量每增加 1%，婴儿死亡率就会降低 0.0139 个百分点，进一步证实[20]粮食不安全损害健康结果，营养不良的增加会增加婴儿死亡率。粮食安全受气候因素、生态系统、社会经济因素和农业生产效率的多样性影响，与粮食供应、粮食可及性和粮食稳定性呈正相关[21]。在 2001~2011 年，全球食品价格上涨引发 2008 年全球粮食危机，对 95 个发展中国家营养状况造成重要的不利影响[22]，导致发展中国家特别是最不发达国家婴儿和儿童的死亡率增长。土地拥有情况也有一定的影响，巴西南里约格兰德州[23]地主子女的营养不良情况最轻，早期死亡风险也更小。总之，粮食不安全的因素复杂多样，可通过营养不良影响健康状况，从而导致区域中婴儿死亡率的提高。

4.3. 不同收入国家的中介作用不尽相同，防控策略应有所侧重

4.3.1. 高收入国家相关农业因素的中介作用

结果表明，在高收入国家中，谷类产量、食品生产指数、农业增加值的中介作用不显著，提示没有发挥中介作用。高收入国家农业技术高度发达，3 个变量相对稳定，可能已经达到较高的产量，增长空间有限，同时，高收入国家的经济结构往往是以服务业和工业为主导，谷类产量、食品生产指数和农业增加值这些农业相关因素对人均 GDP 的影响较小，进而中介作用不明显。耕地、农业用地发挥遮掩作用，提示人均 GDP 分别通过这两个中介变量使总效应减弱，耕地的间接效应与直接效应比例的绝对值 5.48%，农业用地占 1.52%，说明遮掩效应的抑制作用均较小。高收入国家的耕地和农业土地利用方式较为复杂，土地政策往往倾向于城市发展和土地的多功能利用，部分农业用地转化为城市建设用地，发展高端制造业和服务业，部分耕地可能用于景观维护、生态保护等非农业生产，使得耕地和农业用地与农业生产的直接关联减弱，从而在人均 GDP 和婴儿死亡率之间产生了一种遮掩作用。高收入国家有完善的社会保障体系，家庭收入来源多样化，有高质量的医疗卫生体系，围产期医疗保健服务广覆盖、高质量，即使农业生产出现波动，家庭在医疗、教育等方面的保障也不会受到太大影响，即使本国农业生产有限，仍然有丰富的国际市场，可通过进口大量农产品满足国内需求，使得国内谷类产量等农业指标在人均 GDP 与婴儿死亡率之间的关联被弱化，从而其间接影响微不足道。建议高收入国家建立保护有限耕地、农业用地的政策，促进农业现代化，推进农业农村地区经济多元化，并进一步改进农村医疗水平，推进针对母婴的公共卫生项目，致力于纠正耕地、农业用地的遮掩作用。同时，加强环境污染治理，构建食品生产供给的完整产业链，建立严格的食品安全监管体系，确保食品安全，为婴儿的健康成长提供保障。

4.3.2. 中收入国家相关农业因素的中介作用

结果显示，在中等收入国家，谷类产量、食品生产指数均发挥部分中介作用，提示人均 GDP 分别通过这 2 个中介变量增强总效应，谷类产量的间接效应占总效应的 5.17%，食品生产指数占 4.07%，说明间接效应均较弱。中等收入国家以谷类作为主食来源，其产量的稳定增长保障了居民基本食物供给，更多的谷类供应意味着能够满足更多人口的能量需求，减少因营养不良导致的婴儿健康问题。食品生产指数

综合反映食品生产各环节的发展,指数上升代表食品产业整体的进步,使得食品质量提升、供应稳定性增强,间接助力婴儿死亡率降低。农业用地发挥遮掩作用,提示该中介变量发挥抑制作用,人均 GDP 通过它使总效应减弱,间接效应与直接效应比例的绝对值为 1.56%,说明抑制作用较弱。在中等收入国家,可能存在土地利用粗放现象,利用效率较低,部分农业用地未得到科学规划,灌溉、施肥等技术应用不足,导致单位土地产出低,另外,不合理的农业用地扩张可能破坏生态环境,引发水土流失、土壤肥力下降等问题,影响农作物生长,多种因素的综合作用遮掩了土地规模本应带来的正向效应。耕地、农业增加值的中介作用不显著,提示没有发挥中介作用。一些中等收入国家在向工业化、服务业转型过程中,对农业重视不够,农业投入相对不足,有效耕地的利用率不高。农业增加值受限,因产业链短、高附加值产品少,无法有效传导人均 GDP 增长对降低婴儿死亡率的作用。国内农产品价格不稳定影响农民种植积极性,谷类生产规模与效益波动频繁,难以为经济与社会福祉提供持续支撑。国际农产品竞争压力下,本国农业缺乏政策保护与扶持,农业附加值外流,削弱农业增加值提升空间,使得其在人均 GDP 和婴儿死亡率关系间难以形成有效中介链条。建议中等收入国家要保障农业生产核心要素,加大农业科研投入,推广精准农业技术,提高单位面积产量,如高产种子、节水灌溉和精准农业等,以提高谷物产量,再如推广耐旱作物品种,以适应气候变化,保障种植稳定性,进一步强化谷类产量正向中介作用。进一步优化农业用地管理,制定科学土地规划,推广生态农业模式,提高土地利用效率,扭转遮掩效应。推动农业产业升级,提升食品生产综合能力,提升食品生产指数,有效整合农业、卫生和经济政策,确保食品生产增长与健康直接链接,以优质多元食品供应满足母婴营养需求,同时,利用技术进步与创新,使用区块链技术跟踪食品供应链,确保质量,从而强化食品生产指数的部分中介作用。并进一步健全完善政策支持体系,稳定农业市场,保障农业产业持续健康发展,激活中介效应潜力。

4.3.3. 低收入国家相关农业因素的中介作用

结果还表明,在低收入国家的耕地、农业用地没有发挥中介作用,可能低收入国家耕地、农业用地质量低下,许多非洲低收入国家的土壤肥力差,缺乏有效的灌溉系统。像撒哈拉以南非洲的部分地区,土壤中养分流失严重,虽然有一定面积的耕地、农业用地,但土地的产出能力有限。土地利用效率也较低,可能缺乏现代化的农业技术和管理经验,导致复种指数不高,有的低收入国家部分农民仍采用传统的耕种方式,一年一熟的种植模式较为常见,没有充分发挥耕地与农业用地的生产潜力。耕地、农业用地分配不均,在一些低收入国家,少数地主或特权阶层占有大量优质耕地、农业用地,而广大农民拥有的面积有限。从而导致耕地、农业用地中介作用不明显。其他 3 个变量均发挥部分中介作用,谷类产量的间接效应占总效应的 3.89%,食品生产指数占 24.22%,农业增加值占 9.33%,除食品生产指数的间接效应相对较高外,其他的均较弱。建议加强针对低收入国家的农业技术推广与技术援助,不断改善农业基础设施,着力提高谷类产量。不断优化农业用地,制定科学合理的农业用地规划,促进农业用地的多功能开发,加强对农业用地生态环境的保护。致力于提升食品生产指数,鼓励低收入国家调整农业产业结构,在保障主食生产的基础上,发展多样化的食品生产,促进农业与食品工业的融合,加强对食品生产、加工、流通等环节的监管,确保食品安全,引导低收入国家延长农业产业链,政府和企业合作,培育具有地方特色的农产品品牌,增加对农业科研的资金支持,与国际科研机构合作,设立农业院校和培训机构,培养农业种植、加工、营销等方面的专业人才。

4.3.4. 人均 GDP 的直接作用

结果显示,发挥中介效应或遮掩效应的中介变量,对总效应的增强作用或抑制作用均较弱,人均 GDP 的直接作用仍处于主导地位,在整体防控策略上要充分发挥人均 GDP 的“增长引发”或“超增长扶持”[4][7]作用,不断有序扩大经济成果在社会各领域的投入与政策扶持力度,保障民生,促进婴幼儿健康。

4.4. 局限性与未来工作方向

局限性：受不同国家变量指标完整性的影响，不同中介变量分组的样本数不尽相同。在中介变量筛选时，没有收集到适当与肉类、禽蛋类等相关农业因素指标，影响了结果的全面性。限于篇幅因素，正态分布检验、单位根检验、相关分析、多重共线性诊断的结果未呈现文中。关于模型 1、模型 2、模型 3 仅呈现了回归系数值及 t 检验结果，与判断中介效应无关的其他模型指标没有列出。仅高收入国家食品生产指数的 Sobel 系数乘法差异有统计学意义，而 Bootstrap 抽样法包括 0，其他的中介效模型均有高度的一致性。这可能是由于中介效应的系数乘积项通常并不服从正态分布，而 Sobel 检验强行假设其分布为正态，导致标准误不够准确，从而影响了 P 值的可靠性。Bootstrap 抽样法不依赖于任何先验假设，具有更高的检验力，结果更为稳健。有关中介变量的“遮掩效应”在文中缺少深入的剖析，尚缺乏有力的依据与文献支撑。

未来工作重点：深入挖掘不同收入国家相关农业因素中介作用差异性的内在机制。进一步积累数据资料，创新研究方法，深入探究农业因素的作用。有必要整合经济、社会、公共卫生管理理论，构建一个解释农业、经济、健康关系的更完善的理论框架。

5. 小结

在对变量数据的预处理后，纳入模型变量间的相关分析、人均 GDP 与各中介变量间的共线性诊断、各变量的正态分布检验、平稳性检验均符合构建中介效应模型的基本要求。

在高收入国家，谷类产量、食品生产指数、农业增加值的中介作用不显著，耕地、农业用地发挥遮掩作用；在中等收入国家，谷类产量、食品生产指数均发挥部分中介作用，农业用地发挥遮掩作用，耕地、农业增加值的中介作用不显著；在低收入国家，耕地、农业用地中介作用不显著，谷类产量、食品生产指数、农业增加值均发挥部分中介作用。

发挥中介效应或遮掩效应的中介变量，对总效应的增强作用或抑制作用均较弱，人均 GDP 的直接作用仍处于主导地位。

不同收入国家针对农业相关因素的整体防控策略需因地制宜、各有侧重，还要充分发挥人均 GDP 的直接作用，不断有序扩大经济成果在社会各领域的投入与政策扶持力度，保障民生，促进婴幼儿健康。但本研究是基于宏观数据的相关性分析，其政策指导意义是启发性的而非决定性的。

基金项目

南通市妇幼健康专科联盟项目(TFM202509)。

参考文献

- [1] United Nations (2017) Global Indicator Framework for the Sustainable Development Goals and Targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
- [2] 李鸿斌, 贲宇, 冯海娟. 婴儿死亡率影响因素及未来防控策略思考[J]. 临床医学进展, 2022, 12(8): 7992-8000.
- [3] Biellik, R. and Henderson, P. (1981) Mortality, Nutritional Status, and Diet during the Famine in Karamoja, Uganda, 1980. *The Lancet*, **318**, 1330-1333. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(81\)91349-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(81)91349-0)
- [4] Li, H.B., Feng, H.J., Wang, J., Qian, Z.J. and Gu, J.M. (2017) Relationships among Gross Domestic Product per Capita, Government Health Expenditure per Capita and Infant Mortality Rate in China. *Biomedical Research*, **28**, 2859-2864.
- [5] Lu, Z., Bandara, J.S. and Paramati, S.R. (2019) Impact of Sanitation, Safe Drinking Water and Health Expenditure on Infant Mortality Rate in Developing Economies. *Australian Economic Papers*, **59**, 13-33. <https://doi.org/10.1111/1467-8454.12167>
- [6] 李鸿斌. 基于世界银行数据 20 个低收入国家婴儿死亡率影响因素的岭回归分析[J]. 临床医学进展, 2023, 13(8):

- 13116-13153.
- [7] 李鸿斌. 中国婴儿死亡率影响因素的岭回归分析[J]. 临床医学进展, 2023, 13(6): 9368-9377.
- [8] 李鸿斌. 日本人均 GDP 与婴儿死亡率关系转变的分析与启示[J]. 统计学与应用, 2023, 12(5): 1222-1237.
- [9] 李鸿斌, 冯海娟, 王正栋, 等. 人均收入或消费支出在人均 GDP 与婴儿死亡率间的中介效应分析[J]. 统计学与应用, 2025, 14(4): 383-398.
- [10] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [11] Schell, C.O., Reilly, M., Rosling, H., Peterson, S. and Mia Ekström, A. (2007) Socioeconomic Determinants of Infant Mortality: A Worldwide Study of 152 Low-, Middle-, and High-Income Countries. *Scandinavian Journal of Public Health*, **35**, 288-297. <https://doi.org/10.1080/14034940600979171>
- [12] Kontodimopoulos, N. (2022) The Association between Social Development and Population Health: A Cross-Sectional Study across Countries of Different Economic Growth. *Research in Health Services & Regions*, **1**, Article No. 2. <https://doi.org/10.1007/s43999-022-00003-5>
- [13] Frongillo, E.A., Nguyen, H.T., Smith, M.D. and Coleman-Jensen, A. (2019) Food Insecurity Is More Strongly Associated with Poor Subjective Well-Being in More-Developed Countries than in Less-Developed Countries. *The Journal of Nutrition*, **149**, 330-335. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy261>
- [14] Chen, M., Atiqul Haq, S.M., Ahmed, K.J., Hussain, A.H.M.B. and Ahmed, M.N.Q. (2021) The Link between Climate Change, Food Security and Fertility: The Case of Bangladesh. *PLOS ONE*, **16**, e0258196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258196>
- [15] Cassidy-Vu, L., Way, V. and Spangler, J. (2022) The Correlation between Food Insecurity and Infant Mortality in North Carolina. *Public Health Nutrition*, **25**, 1038-1044. <https://doi.org/10.1017/s136898002200026x>
- [16] Sati, V.P. and Vangchhia, L. (2016) Nutritional Status and Infant Mortality Rate in Saiha District, Mizoram, India. *Current Science*, **110**, 2280-2285. <https://doi.org/10.18520/cs/v110/i12/2280-2285>
- [17] Sridevi, G., Jyotishi, A., Patturi, B. and Srinivas, M. (2023) Is ICDS Intervention in Telangana Dwindling? A Quest. *Indian Journal of AGRICULTURAL economics*, **78**, 301-318. <https://doi.org/10.63040/25827510.2023.03.001>
- [18] Mbulawa, S. (2019) Health Care Outcomes, Malnutrition and Food Security in Southern Africa Development Community: A Quantile Regression Approach. *Journal of Social Economics Research*, **6**, 1-12. <https://doi.org/10.18488/journal.35.2019.61.1.12>
- [19] Zaghloul, S. (2013) Reversal of Progress against Malnutrition in Egypt. *The FASEB Journal*, **27**, lb337. https://doi.org/10.1096/fasebj.27.1_supplement.lb337
- [20] Beyene, S.D. (2023) The Impact of Food Insecurity on Health Outcomes: Empirical Evidence from Sub-Saharan African Countries. *BMC Public Health*, **23**, Article No. 338. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15244-3>
- [21] Singh, A.K., Kumar, S. and Jyoti, B. (2022) Association of Sustainable Food Security with Climatic and Non-Climatic Factors in Gujarat State of India: A District-Wise Panel Data Investigation. In: Leal Filho, W., Kovaleva, M. and Popkova, E., Eds., *Sustainable Agriculture and Food Security*, Springer, 259-282. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98617-9_16
- [22] Lee, H., Lee, S.A., Lim, J. and Park, C. (2015) Effects of Food Price Inflation on Infant and Child Mortality in Developing Countries. *The European Journal of Health Economics*, **17**, 535-551. <https://doi.org/10.1007/s10198-015-0697-6>
- [23] Victora, C.G. and Vaughan, J.P. (1985) Land Tenure Patterns and Child Health in Southern Brazil: The Relationship between Agricultural Production, Malnutrition and Child Mortality. *International Journal of Health Services*, **15**, 253-274. <https://doi.org/10.2190/6ndy-9ycl-wqlx-edc3>