

王得坤. 世界化肥投入与谷物产出的门槛特征及耦合关系——基于 120 个国家及地区的实证分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 337–341. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.071

世界化肥投入与谷物产出的门槛特征及耦合关系 ——基于 120 个国家及地区的实证分析

王得坤

(中国社会科学院研究生院, 北京 102488)

摘要:基于 2002—2014 年世界 120 个国家及地区的面板数据, 构建以化肥投入为门槛变量的面板门槛模型, 分析化肥投入对谷物产出的门槛效应, 并且从耦合关系的视角, 利用耦合协调评价模型, 分析探讨了以美国、中国、印度为代表国的化肥投入与谷物产出的耦合协调关系。结果表明, 化肥投入对谷物产出的影响存在显著的门槛效应, 当化肥投入低于门槛值时, 化肥投入的增加将显著增加谷物产出, 当化肥投入跨过 4.287 7 的门槛值时, 化肥投入对谷物产出的影响将增加到化肥投入在门槛值内时的 1.47 倍。以美国、中国、印度为代表国的化肥投入与谷物产出之间的耦合性一直处于拮抗阶段, 二者之间的耦合协调关系也一直处于低度耦合协调阶段, 并且具有区域差异性。针对研究结果, 提出世界各国和地区应该加强协作, 致力于加强化肥领域的交流与合作, 提高化肥投入与谷物产出的耦合度和协调度, 以促进谷物增产。

关键词:化肥投入; 谷物产出; 门槛特征; 耦合

中图分类号: F316.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0337-05

化肥是农业生产过程中最主要的肥料, 施用化肥对谷物产出的保障作用是其他投入要素所不能替代的。从某种意义上说, 化肥同谷物一样关系国计民生, 对世界的减贫、稳定和发展发挥重要的作用。世界经济发展过程中, 面临着人口不断增加但耕地面积却不断减少的严峻挑战。在诸多影响谷物产出的因素当中, 化肥是最快、最有效、最重要的增产措施。2014 年, 化肥投入量前 10 名的国家依次是卡塔尔为 12 111.45 kg/hm²、马来西亚为 2 063.93 kg/hm²、中国香港为 1 966.45 kg/hm²、新西兰为 1 490.95 kg/hm²、巴林为 1 318.75 kg/hm²、新加坡为 1 076.79 kg/hm²、哥斯达黎加为 870.47 kg/hm²、阿拉伯联合酋长国为 846.40 kg/hm²、哥伦比亚为 708.60 kg/hm²、埃及为 662.53 kg/hm², 根据世界银行数据库官网上公布的 2014 年的数据排序而来。中国为 565.25 kg/hm², 高居世界第 12 位。但是, 除了阿拉伯联合酋长国和新西兰的谷物产出对应地位于世界前 10 位外, 其他国家的谷物产出均未与其化肥投入排名一样高居世界前 10 位, 化肥投入和谷物产出出现了背离。针对化肥投入对产出的促进作用这一问题, 早在 19 世纪, 学者就从不同的角度展开了研究。国外学者的研究多从生物化学角度研究化肥的分子结构以及如何研制高效的化肥, 如德国化学家 Liebig 从化学角度研究如何制成颗粒状新化肥以有利于作物的吸收^[1]。张乃凤等分别就化肥的施用、发展和技术等方面进行了研

究^[3-4]; 房丽萍等专门就化肥投入对中国粮食产量的贡献率进行了研究^[4-5]。可以看出, 目前关于化肥分子结构、施肥技术以及投入产出效率方面的研究均有涉及, 但是, 针对化肥投入与谷物产出之间的关系进行专门研究的文献还比较少见。在研究方法方面, 以往研究多是定性的描述, 定量研究也多局限在一些成熟的计量方法, 如运用 DEA 研究化肥投入对粮食产出的效率。此外, 在研究样本选取上, 学者也主要局限于某些地区或某个地域, 针对世界化肥投入与谷物产出之间的量化研究还不多见。在此背景下, 笔者基于已有研究成果, 采用面板门槛模型研究世界 120 个国家及地区 2002—2014 年化肥投入与谷物产出之间的非线性关系, 并且从耦合关系的视角, 利用耦合协调评价模型, 分析以美国、中国、印度为代表国的化肥投入与谷物产出的耦合协调关系, 以期为世界农业可持续发展提供有益的借鉴。

1 世界谷物产出、化肥投入与经济增长的历史趋势和现状分析

1.1 世界谷物产出、化肥投入与经济增长总体情况

1.1.1 世界谷物产出总体情况 世界银行数据库官方网站显示, 2002—2014 年, 世界谷物产出总体上呈上升的态势, 年均增长率达到 43.48% (图 1)。2002 年, 世界谷物产出平均值为 3 072.73 kg/hm², 为这 13 年最低值, 2014 年世界谷物产出平均值为 3 907.03 kg/hm², 是 2002 年世界谷物产出平均值的 1.27 倍, 为这 13 年最高值。世界谷物产出逐年增加对摆脱贫困具有重要的意义。

1.1.2 世界化肥投入总体情况 世界银行数据库官方网站显示, 2002—2014 年, 世界化肥投入总体上呈上升的态势, 年均增长率为 5.39% (图 2)。2002 年, 世界化肥投入平均值为 104.55 kg/hm², 是这 13 年最低值, 2014 年世界化肥投入平均

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 中国社会科学院创新工程项目“农业生态补偿机制与政策研究”; 中国社会科学院 2017 年国情调研重大项目“健康中国与营造绿色安全环境调研”。

作者简介: 王得坤 (1981—), 男, 安徽涡阳人, 博士研究生, 从事农业经济、土地资源管理领域的研究。E-mail: wdk6699@126.com。

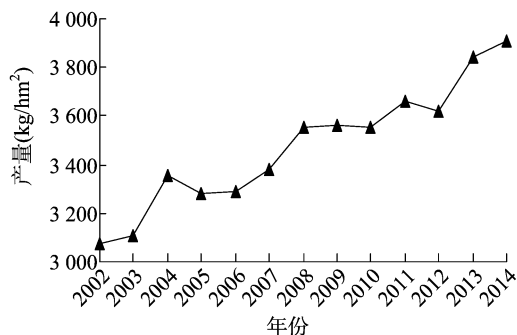


图1 2002—2014年世界谷物产出变化

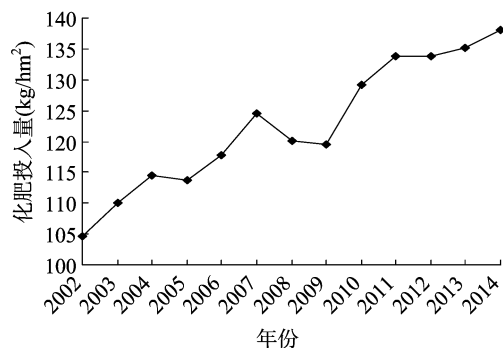


图2 2002—2014年世界化肥投入变化

值为 138.04 kg/hm², 是 2002 年世界化肥投入平均值的 1.32 倍, 是这 13 年最高值。总体来看, 过去 13 年间, 世界化肥投入的年均增长速度小于谷物产出的年均增长速度, 说明化肥投入的增加对谷物产出增加的促进作用低于传统的认识, 此外, 世界化肥投入逐年增加对农业生态资源造成很大的压力, 但是, 二者之间究竟存在怎样的定量关系, 是否存在门槛值, 有待进一步的验证。

1.1.3 世界人均 GDP 总体情况 世界银行数据库官方网站显示, 2002—2014 年, 世界人均 GDP 总体上呈上升的态势, 年均增长率为 248.74% (图 3)。2002 年, 世界人均 GDP 平均值为 5 514.32 美元, 为这 13 年最低值, 2014 年世界人均 GDP 平均值为 10 850.22 美元, 是 2002 年世界人均 GDP 平均值的 1.97 倍, 为这 13 年最高值。总体来看, 过去 13 年间, 世界人均 GDP 年均增长速度远远高于谷物产出和化肥投入增长速度, 说明世界经济高速增长通过促进化肥投入品的增加进而促进谷物产出增加的作用不是特别明显, 但是, 二者之间的促进程度究竟如何, 需要进行深入分析。

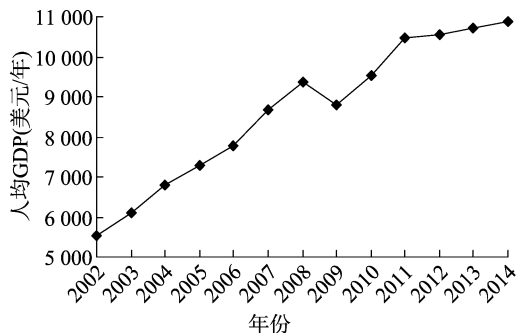


图3 2002—2014年世界人均GDP变化

1.2 世界不同国家谷物产出、化肥投入与经济增长情况

由于各国土壤状况、播种面积、种植结构、作物品种、施肥方法等自然条件和农业生产方式差别较大, 各个国家谷物产出、化肥投入与经济增长的情况也有明显的差别^[6]。从总量上看, 2014 年, 阿拉伯联合酋长国的谷物产出量达到了 41 907.8 kg/hm², 是第 2 名圣文森特和格林纳丁斯的 1.71 倍, 中国位居第 30 位, 产量为 5 886.4 kg/hm², 美国、法国、日本等农业大国的谷物产量都在中国之上。在化肥投入方面, 2014 年, 卡塔尔的化肥投入量高达 12 111.45 kg/hm², 是第 2 名的 5.87 倍, 是世界化肥投入量最少的中非共和国的 43 085.91 倍, 中国高居第 12 位, 投入量为 565.25 kg/hm², 此外, 世界农业大国中仅有日本的化肥投入量和中国一样超过了 200 kg/hm², 其他农业大国的化肥投入量均在 200 kg/hm² 以下。在经济增长方面, 2014 年, 列支敦斯登的人均 GDP 高达 179 478.6 美元, 是第 2 名卢森堡的 1.5 倍, 是人均 GDP 最小的布隆迪的 573.87 倍, 中国位居第 108 位, 人均 GDP 为 7 683.50 美元, 此外, 澳大利亚、美国、法国、日本等农业大国的人均 GDP 超过了 20 000 美元。

2 研究方法数据来源

2.1 门槛模型

本研究采用汉森 (Hansen) 提出的门槛面板回归模型^[7]进行回归分析。以两区制门槛面板回归模型为例, 可以将模型简洁地表示为:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1' x_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2' x_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

使用 2 步法对该模型进行估计。首先, 给定 γ 的取值, 用 OLS 对方程 $y_{it} = \beta' x_{it}^*(\gamma) + \varepsilon_{it}^*$ 进行一致估计, 得到估计系数 $\hat{\beta}(\gamma)$ 以及残差平方和 $SSR(\gamma)$ 。其次, 选择 $\hat{\gamma}$, 使得 $SSR(\hat{\gamma})$ 最小。此 $\hat{\gamma}$ 值即为最优门槛值。相应地, 模型对应的参数值也随之确定。在确定门槛值和参数之后, 需要进一步对门槛效应的显著性和门槛估计值的真实性进行检验。

首先针对门槛效应的显著性, 其模型检验的假设为: $H_0: \beta_1 = \beta_2; H_1: \beta_1 \neq \beta_2$ 。在原假设下构造 LM 统计量: $LM_1 = [S_0 - S_1(\hat{\gamma})] / \hat{\sigma}_1^2$; $LM_2 = [S_1(\hat{\gamma}) - S_2(\hat{\gamma}_1 - \hat{\gamma}_2)] / \hat{\sigma}_3^2$ 。其中, $S_0, S_1(\hat{\gamma})$ 分别为原假设下及备择假设下的残差平方和, $\hat{\sigma}_1^2, \hat{\sigma}_3^2$ 为备择假设下回归残差的方差。由于在原假设下 γ 不可识别, 因此 LM 统计量不服从标准的 χ^2 分布, 因此可以通过“自抽样法” (Bootstrap) 模拟其渐进分布, 并构造对应的 P 值。如果原假设成立, 但是 $\beta_1 = \beta_2$, 即模型不存在门槛效应, 此时的方程退化为一般的线性方程。如果原假设成立, 并且 $\beta_1 \neq \beta_2$, 则表示模型存在门槛效应, 可进一步对门槛估计值的真实性进行检验。真实性检验的原假设为: $H_0: \hat{\gamma} = \gamma_0$, 相应的 LR 统计量为 $LR(\gamma) = [SSR(\gamma) - SSR(\hat{\gamma})] / \hat{\sigma}^2$ 。在显著性水平 α 上, 当 $LR(\gamma) \leq 22 \ln(1 - \sqrt{1 - \alpha})$ 时, 接受原假设。

本研究通过一系列实证检验, 排除交叉项对谷物产出影响的非线性关系, 发现化肥投入对谷物产出的影响具有显著的区间效应, 最终将化肥投入作为门槛变量, 构建门槛面板模型, 公式为:

$$\ln cl = \varphi_i + \varphi_i + \eta x_{it} + \alpha_1 \ln hf \cdot I(\ln hf \leq \theta) + \alpha_2 \ln hf \cdot I(\ln hf > \theta) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: φ_i 为个体效应, φ_t 为时间效应, x_{it} 为 1 组对谷物产出有影响的控制变量, η 为相应的系数向量, α_1 、 α_2 为估计参数,化肥投入(hf)为门槛变量, θ 为待估算的门槛值, $I(\cdot)$ 为指标函数, e_{it} 表示随机扰动项,其中 i 、 t 分别表示第 i ($i=1,2,\cdots,120$) 个国家及地区和第 t ($t=2002,2003,\cdots,2014$) 年。

2.2 耦合度评价模型

耦合度评价模型通常由功效函数、耦合度函数和耦合协调度函数 3 部分构成。

2.2.1 功效函数 首先,指标数据标准化。化肥投入系统与谷物产出系统之间存在量纲,为了消除指标量纲不同而造成的影响,需要对各指标进行无量纲化处理,方法如下:

$$\mu_{ij} = [x_{ij} - \min(x_{ij})] / [\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})], \mu_{ij} \text{ 为正向指标};$$
$$\mu_{ij} = [\max(x_{ij}) - x_{ij}] / [\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})], \mu_{ij} \text{ 为负向指标}.$$

(3)

式中: μ_{ij} 为第 i 个系统的第 j 个指标,值为 x_{ij} ($i=1,2,j=1,2,$

表 1 耦合度与耦合协调度阶段参照标准

耦合度值	耦合阶段	耦合协调度值	耦合协调类型	综合耦合阶段
$0.0 < C \leq 0.3$	分离阶段	$0.0 < D \leq 0.3$	低度耦合协调	低度协调分离阶段
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.3 < D \leq 0.5$	中度耦合协调	中度协调拮抗阶段
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.5 < D \leq 0.8$	高度耦合协调	高度协调磨合阶段
$0.8 < C \leq 1$	耦合阶段	$0.8 < D \leq 1$	极度耦合协调	极度协调耦合阶段

2.2.3 耦合协调度函数 当多个国家或地区进行比较分析时,各国或地区的化肥投入与谷物产出不可能完全一致,但二者的耦合度却可能相同,单纯地依靠耦合度模型无法全面有效地反映这种差异,使得分析结果具有一定的局限性。因此,借鉴相关研究^[10],建立化肥投入与谷物产出的耦合协调度函数,即

$$D = \sqrt{C \times T}; T = \alpha U_1 + \beta U_2.$$

(6)

式中: D 为耦合协调度, T 为化肥投入与谷物产出的综合协调度指数,体现了二者在何种耦合水平上的协调; α 、 β 为待定系数,分别表示化肥投入与谷物产出的贡献系数。由于化肥投入和谷物产出的相互促进作用居于同等地位,所以 α 、 β 均为 0.5。与耦合度相似,也可将协调度值划分为 4 个连续区间(表 1)。

2.3 变量选取与数据来源

2.3.1 谷物产出(cl) 选取当年各个国家和地区谷物的总产出与该国或该地区的可耕地面积的比值来衡量^[11],单位为 kg/hm^2 。数据均来源于世界银行数据库官方网站。世界银行数据库官方网站网址: <https://data.worldbank.org.cn/>, 由于阿鲁巴岛、东亚和太平洋等国家及地区数据缺失严重,故将其剔除。由于研究中谷物产出这一关键指标 2002 年之前的数据不完整,2014 年之后的数据尚未公布,最终本研究统计样本为 2002—2014 年世界 120 个国家及地区。

2.3.2 化肥投入(hf) 选取当年各个国家和地区化肥施用总量与该国或该地区的可耕地面积的比值来衡量^[12],单位为 kg/hm^2 。数据均来源于世界银行数据库官方网站。

2.3.3 经济增长(gdp) 选取当年各个国家和地区人均

$\cdots, n)$, $\max(x_{ij})$ 、 $\min(x_{ij})$ 分别为指标 x_{ij} 的最大值和最小值。

然后,通过集成方法确定化肥投入系统和谷物产出系统对综合系统的贡献程度,公式如下:

$$U_{i=1,2} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \mu_{ij}; \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} = 1.$$

(4)

式中: U_1 代表化肥投入系统的综合评价系数, U_2 代表谷物产出的综合评价系数, λ_{ij} 为权重。本研究探讨的是化肥投入和谷物产出 2 个指标构成的 2 个系统的耦合关系,故权重均为 1。

2.2.2 耦合度函数 在参考文献[8-9]的基础上,构建化肥投入与谷物产出耦合度函数,即:

$$C = \sqrt{U_1 U_2} / (U_1 + U_2).$$

(5)

C 值在 0 到 1 之间。当 $C=0$ 时,说明化肥投入与谷物产出之间不存在耦合关系;当 $C=1$ 时,说明化肥投入与谷物产出实现良性耦合,其他情形见表 1。

GDP 来衡量^[13],单位为美元/(人·年)。数据均来源于世界银行数据库官方网站。

3 世界化肥投入与谷物产出的门槛特征分析

3.1 模型各变量的描述性统计

将模型中各变量的具体数值导入 STATA 14.0,即可得到各变量的均值、标准差、最小值、最大值等基本情况,结果见表 2。从表 2 可以看出,谷物产出的对数的平均值为 7.999 1,化肥投入的对数的平均值为 4.342 3,人均 GDP 的对数的平均值为 8.559 6,显示出世界谷物产出总体水平较低,化肥投入总体水平较高,世界人均 GDP 有待进一步提高。

表 2 变量的描述性统计

变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
$\ln cl$	1 560	7.999 1	0.636 8	5.673 3	11.214 6
$\ln hf$	1 560	4.343 2	1.386 5	0.311 1	7.907 9
$\ln gdp$	1 560	8.559 6	1.490 9	4.712 8	11.688 3

3.2 门槛效应检验

为了确定化肥投入的门槛值个数,分别在不存在门槛、存在单一门槛、存在双重门槛等假设条件下对公式(2)进行估计,由此可以得到 F 统计量。通过“自抽样法”(Bootstrap)得出的 P 值确定各门槛变量的门槛值及个数。本研究将 Bootstrap 次数设置为 300 次^[14],并结合相应结果依次进行单一门槛、双重门槛及三重门槛检验,具体结果见表 3。

从表 3 可以看出,以化肥投入为门槛变量的单一门槛检验结果非常显著,对应的 P 值为 0.000 0,双重门槛和三重门

表 3 化肥投入的门槛效应检验

门槛变量	门槛数	F 值	P 值	10%	5%	1%	门槛值	95% 置信区间
化肥施用量	单一	375.19	0.000 0	12.263 7	13.086 3	14.146 3	4.287 7	(4.227 3, 4.295 8)
	双重	285.58	0.440 0	11.997 2	13.051 9	15.401 8		
	三重	183.35	0.810 0	10.913 5	12.630 6	14.756 4		

槛的检验结果均不显著,其中双重门槛对应的 P 值为 0.440 0。因此,本研究将选取化肥投入为门槛变量的单一门槛模型,对化肥投入对谷物产出的关系进行分析。

根据门槛模型的原理,门槛估计值是似然比检验统计量 LR 为零时的 γ 的取值,在以化肥投入为门槛变量的单门槛模型中,估计值为 4.287 7,据此,我们绘制了相应的似然比函数图(图 4),其中,门槛变量的似然比用实线代表,而 5% 显著性水平下的临界值(7.35)则用虚线代表。

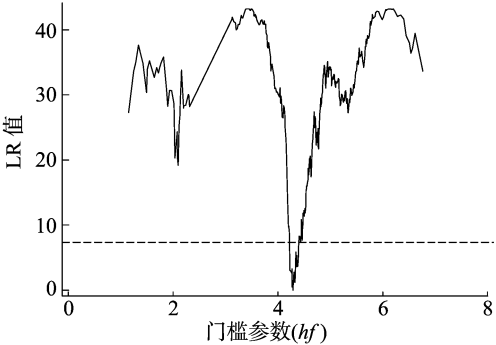


图4 化肥投入单门槛估计值真实性检验

3.3 门槛值区域划分

由于化肥投入存在门槛值,可以根据门槛值将世界各国及地区划分为 2 个区间。其中,2002 年,包括安哥拉、阿根廷、澳大利亚在内的 55 个国家和地区没有跨过化肥投入门槛值,接近分析样本数的 50%。当年,包括美国、中国、印度等农业大国在内的 65 个国家及地区跨过了化肥投入门槛值。可能受经济增长等因素的影响,2014 年,加拿大、墨西哥、洪都拉斯、爱沙尼亚、拉托维亚等国家跨过了门槛值,跨过化肥投入门槛值的国家及地区数增加到 73 个。总体而言,世界各国及地区,特别是安哥拉、阿根廷、澳大利亚等国家和地区的化肥投入仍然有很大的提升空间。说明化肥投入水平较低对谷物产出产生重大影响。因此,世界各国应着手围绕加快促进经济增长、加强化肥吸收效率技术研究等方面努力。但是,

应该看到的是,经济增长是一项长期持续的工程,研制出吸收效率高的化肥也需要漫长的过程,不能期望在短期内就获得“跨越式”增加。

3.4 门槛回归结果及分析

通过上述检验发现,由于化肥投入存在一个门槛值,可以将化肥投入对谷物产出的影响划分为 2 个区间,分别为大于化肥投入门槛值区间和小于化肥投入门槛值区间,然后进行门槛回归分析,结果见表 4。

表 4 以化肥投入为门槛变量的面板门槛模型回归结果

回归元	系数估计	标准误	t 值	P 值
$\ln gdp$	0.120 9	0.102 5	11.79	0.000
$\ln hf(\ln hf \leq 4.287 7)$	0.098 7	0.021 1	4.68	0.000
$\ln hf(\ln hf > 4.287 7)$	0.145 3	0.015 2	9.55	0.000
常数项	6.359 1	0.088 1	72.14	0.000

从表 4 可以看出,以化肥投入为门槛变量的门槛回归结果,人均 GDP 与谷物产出呈正相关,说明世界谷物产出还处于资本投入阶段,随着人均 GDP 的增加,投入到增加谷物产出的资本将增加,谷物产出会随之增加。当化肥投入在 4.287 7 的门槛值内时,化肥投入每增加 1 个单位,谷物产出会增加 0.098 7 个单位。当化肥投入超过门槛值时,化肥投入增加对谷物产出的影响将增加到化肥投入在门槛值内时的 1.47 倍。出现这种现象的主要原因是超过门槛值后的化肥投入对谷物产出的贡献大于化肥投入在门槛值内时对谷物产出的贡献,而化肥投入在门槛值内时对谷物生长的贡献大于对谷物产出的贡献,因而使得对谷物增产的促进作用更强烈。

4 世界化肥投入与谷物产出耦合分析

利用已构建的化肥投入与谷物产出耦合关系模型,测算了 2002—2014 年世界 120 个国家及地区的化肥投入与谷物产出的耦合度和耦合协调度。限于文章篇幅,仅以美国、中国、印度 3 个农业大国的化肥投入与谷物产出的耦合度和耦合协调度结果为例加以说明,并进行对比分析(表 5)。

表 5 美国、中国、印度化肥投入与谷物产出耦合度和耦合协调度

年份	耦合度			耦合协调度		
	美国	中国	印度	美国	中国	印度
2002	0.375 3	0.496 9	0.477 3	0.258 5	0.338 4	0.191 2
2003	0.369 1	0.497 6	0.474 8	0.242 2	0.308 1	0.177 2
2004	0.379 5	0.500 0	0.490 7	0.273 0	0.244 0	0.197 6
2005	0.326 2	0.486 7	0.464 3	0.240 2	0.312 8	0.184 6
2006	0.349 6	0.493 4	0.476 6	0.246 9	0.325 9	0.191 7
2007	0.464 9	0.460 3	0.487 2	0.197 1	0.259 3	0.156 2
2008	0.466 7	0.453 1	0.481 0	0.199 8	0.275 2	0.168 4
2009	0.490 8	0.391 0	0.420 3	0.205 6	0.280 0	0.171 8
2010	0.488 4	0.408 4	0.435 7	0.188 8	0.257 7	0.160 6
2011	0.496 6	0.401 5	0.434 3	0.202 1	0.273 9	0.170 4
2012	0.468 1	0.471 7	0.496 0	0.239 3	0.338 5	0.205 6
2013	0.411 7	0.492 5	0.499 1	0.275 1	0.367 8	0.218 8
2014	0.442 2	0.470 5	0.498 0	0.230 7	0.309 2	0.188 2

4.1 美国、中国、印度化肥投入与谷物产出耦合度与耦合协调度的演变

从耦合关系来看,2002—2014 年,美国化肥投入与谷物产出的耦合度总体呈现出逐年增加的变化趋势,但是耦合度值始终介于 0.30~0.50 之间,说明美国的化肥投入与谷物产

出的关系一直处于拮抗阶段,二者之间的耦合度不是十分乐观;中国化肥投入与谷物产出的耦合度没有发生明显的波动,耦合度值除 2009 年为 0.391 0 外,其他年份始终介于 0.40~0.50 之间,总体较美国高,说明中国的化肥投入与谷物产出的关系一直处于拮抗阶段,二者之间的耦合度不是十分乐观,

但是好于美国;印度化肥投入与谷物产出的耦合度非常稳定,始终介于 0.40~0.50 之间,说明印度的化肥投入与谷物产出的关系也一直处于拮抗阶段,二者之间的耦合度也不是十分乐观(表 5)。

从耦合协调度关系来看,2002—2014 年,美国化肥投入与谷物产出的耦合协调度始终处于低度耦合协调阶段,耦合协调度值始终在 0.30 以内。中国化肥投入与谷物产出的耦合协调度波动较大。具体而言,2002—2003 年,二者的关系是中度耦合协调;2004 年,两者的关系是低度耦合协调;2005—2006 年,二者的关系是中度耦合协调;2007—2011 年,二者的关系又回到低度耦合协调;2013—2014 年,二者的关系又上升到中度耦合协调。印度化肥投入与谷物产出的耦合协调度也始终处于低度耦合协调阶段,耦合协调度值始终在 0.30 以内(表 5)。

综上所述,以美国、中国、印度为代表的国家化肥投入与谷物产出是不完全耦合的。并且,虽然以中国为代表的化肥投入与谷物产出的耦合协调关系近几年有了较大程度的改善,但是二者之间的中度耦合协调关系是建立在拮抗阶段基础之上的,还不稳定。

4.2 美国、中国、印度化肥投入与谷物产出耦合度与耦合协调度的地区差异分析

在耦合度方面,美国、中国、印度化肥投入与谷物产出的耦合度和耦合协调度呈现出一定的区域性差异。近 10 多年来,美国化肥投入与谷物产出的耦合度较中国低,而中国又较印度低,表现为美国的耦合度值比当年中国的耦合度值更小,而中国的耦合度值比当年印度的耦合度值更小。

在耦合协调度方面,美国、中国、印度的差异性更明显。2002—2014 年,中国化肥投入与谷物产出的耦合协调度较美国高,美国较印度更高,表现在中国的耦合协调度值比当年美国的耦合协调度值更大,而美国的耦合协调度值比当年印度的耦合协调度值更大。

5 结论与启示

5.1 结论

利用世界 120 个国家及地区 2002—2014 年的平衡面板数据,结合 Hansen 提出的门槛检验方法,分析了化肥投入对谷物产出的门槛效应,并且从耦合关系的视角,利用耦合协调评价模型,分析探讨了以美国、中国、印度为代表的国家的化肥投入与谷物产出的耦合协调关系,得出如下主要结论:

化肥投入对谷物产出的影响存在显著的门槛效应。化肥投入未跨过门槛值之前,化肥投入的增加将显著增加谷物产出,当化肥投入跨过 4.287 7 的门槛值时,化肥投入对谷物产出的影响将增加到化肥投入在门槛值内时的 1.47 倍。2002 年,包括安哥拉、阿根廷、澳大利亚在内的 55 个国家和地区没有跨过化肥投入门槛值,接近分析样本数的 50%。2014 年,跨过化肥投入门槛值的国家及地区增加到包括加拿大、墨西哥、洪都拉斯、爱沙尼亚、拉托维亚等在内的 73 个。总体而言,世界各国及地区的化肥投入在不断增加,但是安哥拉、阿根廷、澳大利亚等国家和地区的化肥投入仍然有很大的提升空间。

以美国、中国、印度为代表的国家的化肥投入与谷物产出之间

存在着不完全的耦合关系,二者之间的耦合性一直处于拮抗阶段,二者之间的耦合协调关系也不十分理想,总体上也一直处于低度耦合协调阶段。虽然中国阶段性地出现化肥投入与谷物产出的耦合协调关系处于中度耦合协调阶段,但是,这种中度耦合协调是建立在拮抗阶段的基础上的,十分不稳定。

以美国、中国、印度为代表的国家的化肥投入与谷物产出的耦合度和耦合协调度具有区域差异性。就耦合度而言,美国的耦合度较中国低,而中国又较印度低。就耦合协调度而言,中国高于美国,而美国又高于印度。

5.2 启示

针对仍有一大批国家化肥投入未跨越门槛值的事实,世界各国和地区应该加大协同,致力于加强化肥领域的合作,拓展国际化肥市场,促进谷物增产。

针对以美国、中国、印度为代表的国家的化肥投入与谷物产出之间存在着不完全的耦合关系的事实,各国应联合攻关,加快高效率化肥利用技术的研发,加强谷物的国内供给能力,形成良性循环。

针对典型代表国家的化肥投入与谷物产出的耦合度和耦合协调度具有区域差异性的事实,各国及地区应加强交流与合作,从技术研究到实践操作上缩小区域差异,实现全球化肥投入与谷物产出高度的耦合和协调。

参考文献:

- [1] Liebig G F, Bradford G R, Vanselow A P. Effects of arsenic compounds on citrus plants in solution culture[J]. Soil Science, 1959, 88(6): 342-348.
- [2] 张乃凤. 我国五千年农业生产中的营养元素循环总结以及今后指导施肥的途径[J]. 中国土壤与肥料, 2002(4): 3-4.
- [3] 程学达. 农家肥料自给法[M]. 3 版. 北京: 新农出版社, 1953.
- [4] 房丽萍, 孟 军. 化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析——基于主成分回归 C-D 生产函数模型的实证研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(17): 156-160.
- [5] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [6] 栾 江, 仇焕广, 井 月, 等. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源学报, 2013, 28(11): 1869-1878.
- [7] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: estimation, testing, and inference[J]. Journal of Econometrics, 1999, 93(2): 345-368.
- [8] 魏金义, 祁春节. 农业技术进步与要素禀赋的耦合协调度测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 90-96.
- [9] 王丽芳, 苏建军, 黄解宇. 山西省森林公园旅游经济发展与生态环境耦合协调度分析[J]. 农业技术经济, 2013(8): 98-104.
- [10] 鞠晓伟, 赵树宽. 产业技术选择与产业技术生态环境的耦合效应分析[J]. 中国工业经济, 2009(3): 71-80.
- [11] 冯 超. 中国谷物产出的“面积-质量”导向因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 7-13.
- [12] 曾 靖, 常春华, 王雅鹏. 基于粮食安全的我国化肥投入研究[J]. 农业经济问题, 2010(5): 66-70.
- [13] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011(5): 4-16, 31.
- [14] 王群勇. STATA 在统计与计量分析中的应用[M]. 天津: 南开大学出版社, 2007.