

# 成本效益分析:优化的食品系统 公平与效率

概括

有食物的地方笑声最灿烂。 爱尔兰谚语

粮食体系优化已提上各个国家和地区的议事日程。为了解决贫困、不平等和可持续性差的问题,需要一个具有很强适应性和可扩展性的粮食系统模型。此外,我们还需要对原有的基础模型进行优化,以公平性和可持续性两个更优越的指标,并选择希腊和肯尼亚来测试模型。然后我们利用成本收益对不同性质的国家进行分析,找到平衡点,衡量发达国家和发展中国家之间收益和成本的差异。最后给出一组最优调整并对模型进行修改,以测试其可扩展性和适应性,并适用于更小和更大的区域。

首先,将24个劣质指标分为粮食、社会、经济、效率、紧急情况5个优先级指标,纳入基本粮食体系。接下来,我们找出每个劣势因素的归一化方法。然后对这些指标进行权衡,采用组合加权法。最后,公平性和可持续性对模型进行了优化,该模型受到以下因素的影响:种族、食品安全、性别、政策;气候变化、淡水利用、氮磷流动、生物多样性丧失和土地系统变化。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

接下来,基本粮食系统及其优化方案相继应用于希腊和肯尼亚。希腊位于发达国家之列,而肯尼亚则不在发达国家之列。综合食品系统评分用于衡量其自身食品系统的质量。利用收集到的数据,我们发现,在公平和可持续发展的情况下,希腊的得分为0.445,肯尼亚的得分为0.294,而在没有公平和可持续发展的情况下,希腊的得分为0.423,肯尼亚的得分为0.350。敏感性分析显示,希腊的粮食系统对气候变化、生物多样性和性别更敏感,而肯尼亚的粮食系统对经济变化更敏感。

为了考虑优先事项变化对不同国家收益和成本的影响,我们将优先指标分为基本需求:粮食、经济、效率和更高追求:社会效益、公平、可持续性。然后我们利用成本效益分析和效用最大化来分析发展中国家和发达国家的不同目标,从而确定各国的收入均衡点。我们发现,希腊的公平、可持续发展和社会福利指标得分为0.44494,肯尼亚为0.27036。

最后,我们通过缩放劣质指标来分析模型的可扩展性。对于较小的地区,由于协同效应,干预成本较低,这反映出重新考虑因素和权重的必要性;对于较大的区域,我们采用“分裂”的思想,单独考虑,综合计算V值。以亚洲为例,我们可以重新定义均衡点,得到改进的模型。

关键词:组合赋权法、平衡点、协同效应



关注数学模型  
获取更多资讯

内容

1 引言1.1 背景。。。	1
1.2 我们的工作。	1
2 假设	2
3 粮食系统测度与优化3.1 基本粮食系统模型的建立。	2
3.1.1 优劣指标讨论。	2
3.1.2 标准化方法。	6
3.1.3 确定指标在系统中的权重。	7
3.2 公平性和可持续性的优化。	8
3.2.1 公平影响建模。	9
3.2.2 可持续性影响建模。。。	10
4 在希腊和肯尼亚的应用	13
4.1 希腊和肯尼亚情况分析。	13
4.2 敏感性分析。	14
5 粮食系统的优先事项5.1 基于经济 and 环境的指标分析。	15
5.2 衡量发展中国家和发达国家的效益和成本。。。	16
5.3 寻找平衡点。	18
6 进一步讨论	19
6.1 更广泛或更小的食物系统。。。	19
6.2 讨论我们的模型的适应性。	20
6.2.1 较小区域的修改。	20
6.2.2 更大区域的修改。	20
7 结论	21
8 优点和缺点	22
参考	23



## 1 简介

### 1.1 背景

许多国家的粮食体系并不完善,存在贫困、分配不均、健康问题等一系列问题。随着国家发展水平的不断提高,更多国家开始注重公平和可持续发展。随着粮食体系的不断发展,越来越多的声音使得改变现行粮食体系迫在眉睫。

为了应对当前不同国家,包括发展中国家和发达国家面临的人口增长、环境恶化、收入不平等等问题,考虑构建优化粮食体系显得尤为重要。其特点是公平性和可持续指标的优化。

### 1.2 我们的工作

由于前人工作的不足,我们应该进一步研究这个问题。我们研究的思维导图详细如图1所示。首先,考虑更多因素,建立新的评价模型。还应考虑公平和可持续性的影响。然后对希腊和肯尼亚进行了分析并讨论了优化情况。希腊属于发达国家之列,而埃及则不在发达国家之列。为了计算食品系统的效益和成本,我们采用成本效益和效用分析,结合优化模型,找出平衡点。主要目的是国家追求效用最大化和成本最小化。最后,我们探讨了粮食系统的可扩展性,并重新考虑了较小和较大区域的干预因素和成本。

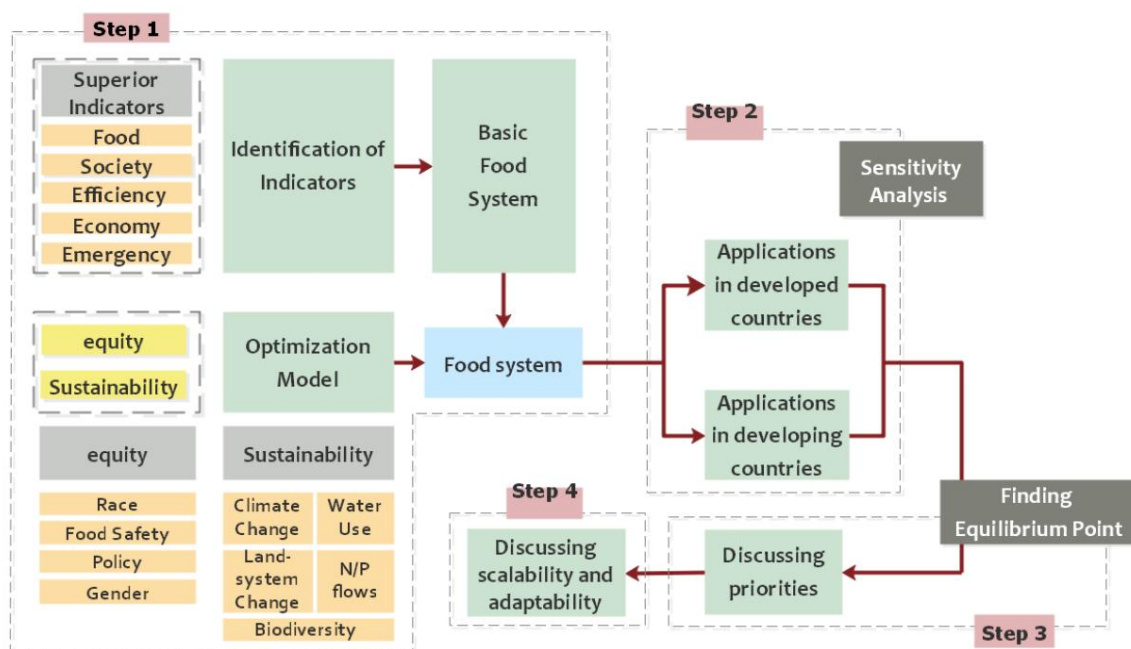


图 1:我们的研究流程图



关注数学模型  
获取更多资讯

## 2 假设

- 发展中国家和发达国家无法在短期内调整其粮食系统。如果一个国家能够很好地优化其粮食系统,这种变化甚至可以受益 (Ericksen PJ. 2008)。考虑到大多数发展中国家和发达国家的粮食体系并不一致,我们假设短期内无法调整。
- 突发事件的影响对于发展中国家和发达国家都是不可预测的  
国家,测量作为模型中的参数。
- 每个国家和地区都从自身的最大利益出发,因此经济学中的成本效益分析同样适用于国家间粮食系统的优化。
- 生理需要是人类最重要的需要。发达国家不仅更倾向于在其他领域投入,而且也愿意保障自己的基本需求。

## 3 食品系统的测量和优化

粮食系统模型包括两部分:用于描述系统的基本模型指标和系统公平性和可持续性的优化。因此,我们首先建立一个评估食物系统的基本模型。此外,公平性和可持续性被视为指标的优化因素。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

### 3.1 基本粮食系统模型的建立

食品系统是指生产、加工并向消费者提供食品的网络。这个复杂的网络受到许多环节和因素的影响。基本模型框架如图2所示。我们使用粮食、社会、效率、经济和紧急情况五个主要指标来衡量粮食系统。为了方便后续计算,我们使用集合 $I$ 来描述这些大指标。

$$I = \{FD, SC, EF, EC, EM\} \quad (1)$$

其中FD、SC、EF和EC分别代表粮食、社会、效率、经济和紧急情况。每个Superior都由几个小指标组成,这些小指标将在后面的章节中详细讨论。如图所示,我们的基本模型中总共考虑了24个劣质指标。我们用 $V$ 来描述线性组合的结果。

$$V = \sum_{i=1}^5 \omega_i I_i \quad (2)$$



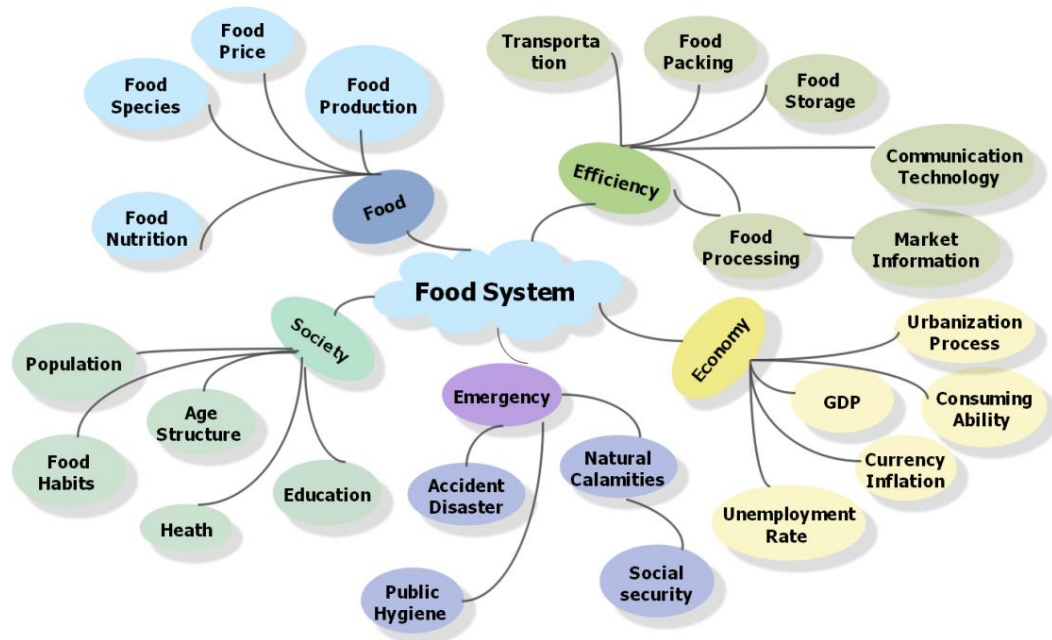


图2:基本系统模型框架

### 3.1.1 优劣指标讨论

在建立基本粮食体系的过程中,评价指标分为5个优级指标,优级指标又由24个劣级指标决定。我们下面将详细讨论。

#### ·食物

粮食是人类健康和繁荣的基础,为人们生活和工作提供能量。粮食系统最基本的粮食水平由粮食产量、粮食价格、粮食种类和营养组成。营养不良困扰着数十亿人,并可能导致几代人陷入贫困和营养不良的恶性循环。营养状况通过营养指数来衡量 (Willett,W.

2019)。与此同时,食品价格不断上涨,情况可能会恶化。这些现象目前想要改变粮食体系并不容易。

降水减少、耕地减少和气温升高造成粮食短缺的直接影响。具体来说,粮食短缺与降水、气温和耕地有关。更重要的是,食物可能会受到所有气候因素的影响。我们假设食物会随各个气候因素发生比例的变化,因此食物的影响系数可以得到:

$$\text{室颤} = 1 - \sqrt[3]{\lambda_{pr}\lambda_{te}\lambda_{ar}} \quad (3)$$

其中 $\lambda_{pr}$ 、 $\lambda_{te}$ 、 $\lambda_{ar}$ 分别是降水量、气温和耕地的百分比变化。

#### ·经济

经济水平与食品工业的发展水平密切相关。

可以说,这是一种孪生现象。经济水平高的国家食品工业普遍较为发达 (Alexandra,2016)。



关注数学模型  
获取更多资讯

这里我们考虑消费能力、GDP、城市化、通货膨胀、失业等可用指标,我们将这些指标对经济水平的总影响相加,来衡量经济水平对粮食系统的影响。

$$\text{vec} = \gamma_1 \text{eic} + \gamma_2 \text{eGDP} + \gamma_3 \text{eur} + \gamma_4 \text{EIF} + \gamma_5 \text{eue} \quad (4)$$

其中eic考虑消费能力的经济影响。消费能力部分反映在收入水平上,收入水平越高,购买力就越高,最终会影响到整个粮食系统。eGDP衡量一个国家的经济水平。能够维持经济增长和食品安全的国家通常表现出相对稳定和安全的社会。

世界银行也提供相同的数据集。

eur代表一个国家的城市化水平。城镇化的加速发展使更多的农民摆脱农业,粮食生产效率提高,收入增加。eif代表通货膨胀。通货膨胀是衡量一国经济发展水平的必要指标,用于调整一国的货币和财政政策,从而调节经济在粮食体系中的作用。eue代表全国失业率。失业率较高的国家粮食风

险较高,国家犯罪率也上升,影响粮食安全。

#### ·社会人口的增

加会造成粮食短缺,影响粮食供需平衡,造成粮食资源分配不均和浪费。

农业产量决定了该地区的饮食习惯,不同年龄段的人也有不同的饮食习惯。反过来,饮食习惯将决定农业食品产业的发展方向,例如速冻面食、自热米饭的消费地域特征。

#### ·效率

食品系统的效率与供应链和市场信息化程度有关。如今,食品体系的供应链以市场为导向,包括生产、加工、流通、批发、零售、消费和回收的全产业链 (Amir gharhegozli,2017)。每个环节都或多或少地影响着粮食系统的效率。随着人口的增长,居住在城市的人数也会增加。粮食需求要补充,订单要多,粮食运输要得更远,粮食系统的效率要改变。

我们关注对效率的间接影响。根据G7 2015年的报告 (Stang G Rttinger L,2015),效率低下会进一步加剧经济水平、食品安全等副作用。这可能会使一个州的粮食系统恶化。由此,效率指标的影响系数 $\text{vef}$ 定义为:  $\text{vef} = \alpha \text{vec} + \beta_1 \text{etp} + \beta_2 \text{epg} + \beta_3 \text{est} + \beta_4 \text{epc}$

(5)

其中 $\alpha$ 代表市场信息和沟通能力水平,PD代表产品生产效率,etp、epg、est、epc代表产品在运输、包装、储存、加工过程中的性能。



关注数学模型  
获取更多资讯



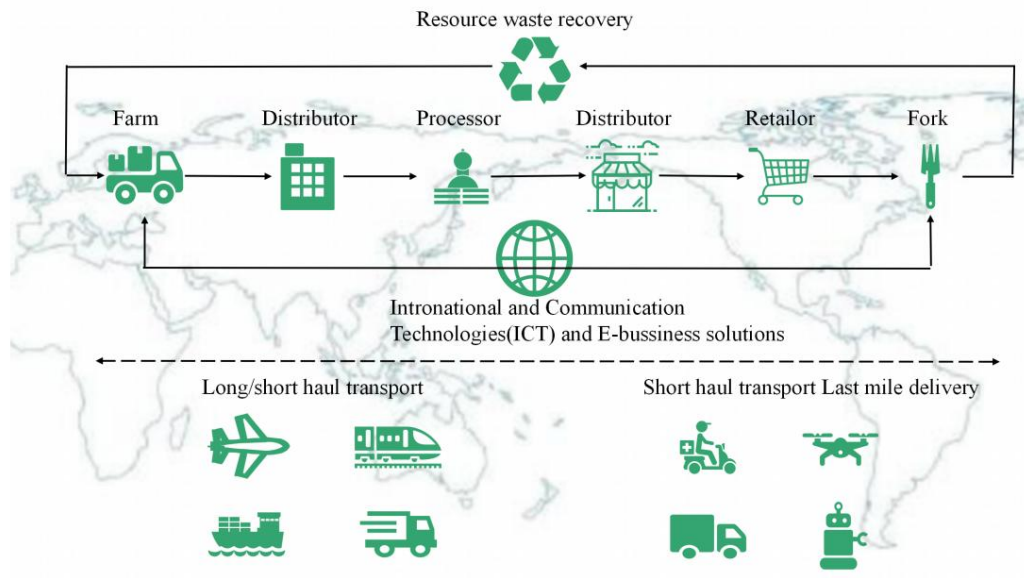


图 3:效率循环

### 紧急情况

突发事件包括自然灾害、事故灾害、公共卫生事件和社会安全事件可能对粮食系统产生毁灭性影响,虽然其发生的概率很小。例如,在采取遏制措施的第一个月内,COVID-19 对参与相关组织的影响

英国某一地区的紧急食品响应和新兴营养不安全感 (德比郡 E, 2020)。

自然灾害、事故灾害、公共卫生和社会安全事件有点随机。所以,我们用随机模拟来模拟这些突发情况并衡量它们可能的影响。泊松分布用于测量

特定时期内自然灾害的频率 (Palmgren J, 2005), 因此我们建议一年中发生的灾害数量服从泊松分布:

$$N \quad P(\mu) = \frac{\mu^k e^{-\mu}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

其中 $\mu$ 是泊松分布的参数,也称为平均值

$N \cdot \mu$  描述了紧急情况是否频繁发生,可以由历史数据确定。紧急情况将影响我们的粮食系统它发生了。其影响的一般意义是通过指数来衡量的分配。我们假设平均每次的一般显着性为0.001,因此:

$$\text{Sig} \quad f(x) = \begin{cases} 1000e^{-1000x}, & x > 0 \\ 1000, & x \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

选择平均值作为一般显着性 (Sig)。各减少指标仍然根据紧急情况的一般重要性,使用指数分布进行模拟。因此,突发事件的影响可表示为:

$$\delta \quad f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\text{信}} e^{-\frac{x}{\text{西格}}}, & x > 0 \\ \text{号0}, & x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

因此确定突发指数 $\delta$ 来衡量对粮食系统的影响。



关注数学模型  
获取更多资讯

### 3.1.2 标准化方法

为了消除量纲的影响,避免出现大数吃小数的现象,劣势指标需要在0到1之间归一化,但优劣指标对应的各个指标,应该是值越大越好他们表演。因此我们给出了不同的数据处理方法。

#### 1. 会员功能

该方法适用于运输能力等模糊指标的标准化。首先对这些指标进行分级,然后通过隶属函数对它们进行归一化和量化。在这个问题中,我们将这些指标分为五个级别。

级别越高,指标值越大。公式如下:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \frac{1}{A}}, & 1 \leq x < 3 \\ (x-b)2 \ln x + d, & 3 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (9)$$

假设当等级为5时,隶属度为1,即 $f(5) = 1$ ;同时,  $f(3) = 0.8$ ,  $f(1) = 0.01$ 。所以我们可以计算出公式中的参数,即 $a=1.1086, b=0.8942, c=0.3915, d=0.3699$ 。由此,五个等级指标的归一化定量值为(0.01, 0.5245, 0.8, 0.9126, 1)。

#### 2. S形函数

Sigmoid函数是一个很好的阈值函数。它可以用于人口、人均粮食产量等的标准化,没有明显的限制。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-b(x-x_{\min})}} \quad (10)$$

其中,  $x_{\min}$ 为指标最小值,  $b$ 用于控制函数上升速度。

#### 3. 最大值、最小值和最优值归一化方法

对于一些效益型指标,如土地灌溉率,采用最大归一化法。

$$f(x) = \frac{x}{\text{最大}x} \quad (11)$$

对于一些成本类型指标,例如失业率,采用最小标准化方法。

$$f(x) = 1 - \frac{x}{\text{最大}x} \quad (12)$$

对于一些取值最优的指标,采用中值归一化方法。

当指标的原始值越接近最优值时,归一化值就越大,例如通货膨胀率。公式如下:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x_{\max} - x_0}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_0 \leq \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \\ \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_0 > \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \end{cases} \quad (13)$$



关注数学模型  
获取更多资讯



4. Z 分数归一化方法

该方法可用于一些近似正态分布的指标,例如消费能力。公式如下:

$$\mu f(x) = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{14}$$

其中 $\mu$ 是所有样本的平均值, $\sigma$ 是所有样本的平均值。  
利用这些归一化方法,可以对所有劣质指标进行归一化。这里省略各个劣指标的详细方法。

3.1.3 确定系统中指标的权重

熵权法 (EWM)是考虑指标之间的内在规律和权威值来确定指标权重的客观方法。我们采用以下公式确定各指标的客观权重:

$$E_j = - \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln n} \tag{15}$$

$$p_{ij} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}} \tag{16}$$

$$E_j \beta_j = \frac{1}{k - \sum E_j} \tag{17}$$

其中 $y_{ij}$ 为第  $i$  个国家的第  $j$  个指标,  $E_j$ 为第  $i$  个国家的信息熵第  $j$  个指标,  $\beta_j$ 为第  $j$  个指标的权重。

这种方法虽然具有客观优势,但无法反映人们对不同指标的重视程度,并且会有一定的权重,可能在某种程度上与实际相悖。因此,为了得到更加合理的指标权重,我们采用主客观权重法 (AHP)与EWM相结合的方式弥补单一权重法的不足。

$$w_j = \frac{\sqrt{\alpha_j \beta_j}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\alpha_j \beta_j}} \tag{18}$$

其中 $\alpha_i$ 为AHP计算的权重,  $\beta_i$ 为EWM计算的权重。阿克-  
根据以上分析,我们得到最终的权重结果如下:

表1:基本粮食系统指标权重

食物	社会经济 食品种类 2.3% 年龄结构 4.8% 城市化进
程 7.1% 食品价格 2.3% 教育 5.2% 消费能力 7.4% 食品生产 2.7% 第三变量 货币通胀 7.5% 食品营	养 3.3% 饮食习惯 4.8% 失业率 5.5 % 人口 4.8% GDP 10.6%



关注数学模型  
获取更多资讯

表2:基本粮食系统指标的权重

效率 运输	紧急情况
4.4% 食品包装 4.7%	意外灾害 1.5% 自然灾害
食品储存 4.1% 食品	1.6% 公共卫生 2.1% 社会
加工 3.9% 市场信息	保障 1.0%
6.5% 通讯技术 6.0%	

### 3.2 公平性和可持续性的优化

我们提取了四个重要因素,因为它们几乎贯穿了所有股权。这四个指标是:种族、食品安全、性别和政策。此外,我们在可持续发展方面还提取了另外五个卓越指标。(威利特,W.,2019)。它们是:气候变化、淡水利用、氮磷流动、生物多样性丧失和土地系统变化。

我们将探讨这些影响公平、可持续性和粮食系统的劣质指标之间的影响机制,此时我们会考虑将原来的基本模型优化为公平和可持续性因素。因此,我们可以给出影响后的优化指标:

$$VC = v_i \times i + \varepsilon_i \quad (19)$$

式中,  $VC$ 为公平性和可持续性优化后的指标;  $v_i$ 为不同指标的影响系数,表征长期影响;基本模型中包含优良指标,  $\varepsilon_i$ 为不可预测因素,包括不确定事件造成的突发影响。

下一节,我们结合相关文献,详细阐述公平性 (3.2.1节)和可持续性 (3.2.2节)中劣质指标对粮食系统的影响机制。

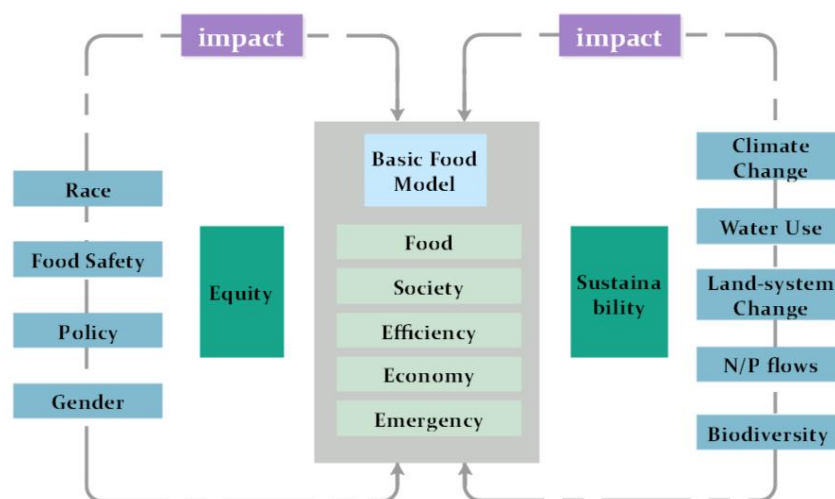


图 4:公平和可持续发展指标的影响



关注数学模型  
获取更多资讯

### 3.2.1 公平影响建模

#### ·种族

粮食主权是国际农民运动要求所有人都有权获得通过生态上无害和可持续的方法生产的健康和文化上适宜的粮食,并有权定义自己的粮食和农业系统 (Via Campesina 2009)。

食品正义活动人士并没有将资本在食品系统中的运作视为种族中立,而是认为制度上的种族主义政策,例如美国农业部对非裔美国农民的歧视。因此,其不公平性体现在制度上。

#### ·食品安全

在家庭内部,粮食安全与家庭收入、就业状况和权利变化等因素相关 (J. von Braun, 2007)。研究表明,低收入、缺乏住房所有权、无法获得福利和单亲母亲、缺乏储蓄和投资更容易缺乏粮食安全,而关系是动态的,因此也反映了粮食系统的不平等。

一个国家的食品质量存在一些问题,但食品法典委员会 (CAC)制定了相关标准。一般来说,监管部门会随机抽查粮食作物、畜产品等数百种食品,确保食品安全,总体食品质量符合正态分布。因此,我们建议不同国家的不合格食品数量遵循正态分布:

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad (20)$$

参数  $\mu$  是分布的均值或期望 (以及中位数和众数),而参数是其标准差。 $\mu$  描述了采样过程中产生劣质质量的概率。

#### ·性别

农业是由妇女发展起来的,因此性别也是粮食系统的影响因素之一。妇女生产了世界一半的粮食,并对粮食安全做出了最重要的贡献 (Jatinder Bajaj, 2001)。然而,以女性为中心的食品体系正在逐渐转变为资本主义父权企业。人们忽视妇女对粮食系统的贡献,导致妇女在粮食系统中的作用无法发挥。这种不平等也会影响食物系统。因此,有必要建立一个基于妇女粮食和农业遗产的公平、可持续、健康的粮食体系,并充分发挥妇女的作用。

#### ·政策

在政策方面,联合国呼吁会员国实施公共卫生政策,为健康饮食建立可持续和有弹性的粮食系统 (Willett W, 2019),即推广对环境影响较小并有助于促进健康的饮食。粮食和营养安全以及子孙后代的健康生活。



关注数学模型  
获取更多资讯

不同国家采取不同的政策,我们可以引入一个参数来衡量政策指标对公平性的影响。

### 3.2.2 可持续性影响建模

#### 气候变化

人为排放的温室气体直接或间接改变土地利用方式,如森林砍伐、湿地排水和土壤耕作等,从而改变粮食的产量和分配,影响整个粮食系统。

《巴黎气候协定》达成共识,要求到 2100 年将全球平均气温上升幅度控制在 2 °C 以下,如果可能的话接近 1.5 °C。下图总结了可能满足巴黎气候目标要求的全球温室气体排放轨迹的最新数据:

有效的措施是利用碳循环,使碳排放和吸收相对稳定,粮食系统可持续。

温室气体总是由食品系统内部生产过程产生,碳排放量与生产类型有关。这里我们给出计算碳排放的方法 (José Luis Vicente, 2021) 来反映气候变化对粮食系统的影响。他将碳排放分为动物、植物、运输和包装。下面分别给出计算方法:

- 估算植物性产品生产中的二氧化碳排放量的方法:对于农药和无机肥料中的二氧化碳当量,结果以单位面积 (公顷)给出。为了将它们转换为人均排放量 ( $\text{kg CO}_2$  人均),应用了以下公式 (Eq):

$$\text{CO}_2\text{-eq} = \text{CO}_2\text{-eq inorg.fert.} \times \frac{1}{\text{CY}} \quad (21)$$

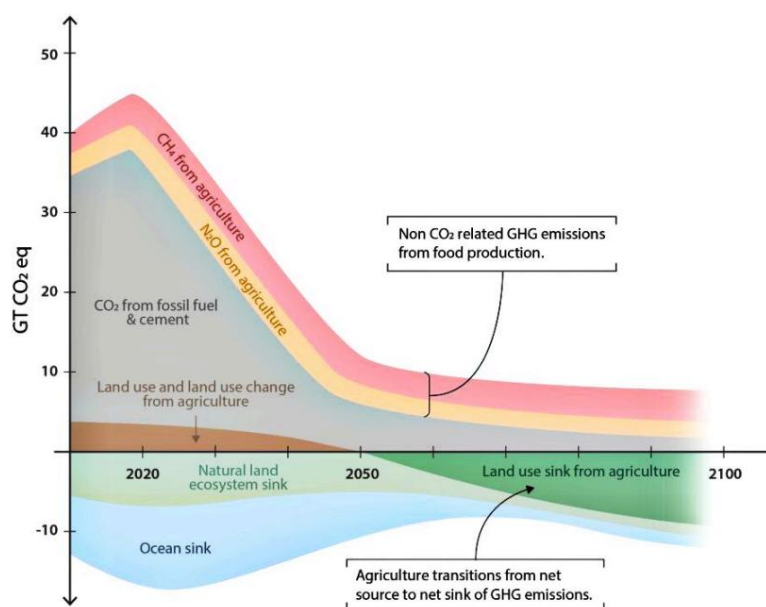


图 5:全球排放轨迹评估



关注数学模型  
获取更多资讯

其中CO<sub>2</sub>-eq inorg.fert.是每单位面积的 CO<sub>2</sub>-当量排放量 ( KgCO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ) ,Y 是特定产品的产量 (该产品的人均 Kg 产品消耗量 (Kg 产品人均<sup>-1</sup>) )和C是反对占有量)

- 估算动物产品生产二氧化碳排放量的方法：

CO<sub>2</sub>-eq 动 = C × EF (22)

物其中 C 是特定产品的人均消费量 (Kg 产品人均) ,EF 是动物产品生产的排放因子 (即<sup>-1</sup>排放强度) (KgCO<sub>2</sub> - eqKg 产品<sup>-1</sup>) 。

- 估算交通运输二氧化碳排放量的方法：

CO<sub>2</sub>运输 = C × EF × D (23)

其中C是人均产品消费量 (Kg产品人均) ,EF是运输方式的排放因子 (KgCO<sub>2</sub>Kg<sup>-1</sup>产品-1 km-1 ) ,D是原产国和卡塔尔之间的距离 (Km) 。

淡水使用

粮食生产是世界上最大的耗水部门 (Whitmee S,2015) 。水驱动养分循环,包括冲洗。并浸出营养物质和污染物,因此水的利用将对粮食系统的可持续性产生巨大影响。

考虑灌溉水或其他用途对食物的影响。上游灌溉农业将导致取水量增加,进而导致河流环境水流量降低。所以,这就是环境流量要求值。EFR 定义了允许的上游取水和消耗,设定了流域规模的用水边界,确保流域内有足够的环境流量。(Pastor A2014) 。我们使用FAOS 地表水来测量EFR,然后测量淡水使用对可持续性的影响。

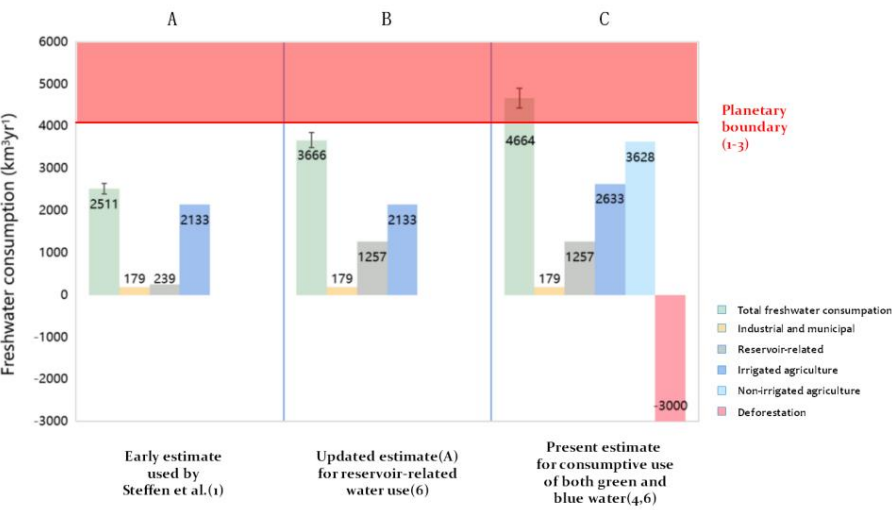


图6:淡水资源影响因素

氮和磷流



关注数学模型  
获取更多资讯

农田适当施用含氮、磷肥料,可以最大限度地提高粮食产量。但氮、磷超标会导致海洋富营养化等环境污染。

受 De Vries W (2013) 的启发,我们创造性地使用行星边界模型来评估区域氮、磷和粮食安全的影响。关键氮输入 (即氮应用)是当前全球氮输入的一小部分,目前已超出行星边界。N (62-82) Tg Nyr<sup>-1</sup>和 P (6.2 - 11.2 Tg P yr<sup>-1</sup>)的行星边界,我们查询了国际肥料协会 (IFA)的氮、磷元素数据并评估对食品的影响系统。

### ·生物多样性丧失

生物多样性可以帮助粮食系统生产、授粉和控制害虫。  
稳定性和可持续性也提高了粮食系统的生产力和复原力。

目前的灭绝率 (Barnosky AD,2011)和种群数量下降 (Ceballos G,2017)比全新世每年每百万物种约 1 次灭绝 (E/MSY)的背景率高出几个数量级。在这里,我们汇总了 2010-2017 年 WWF 有关濒危动物的数据,以反映粮食系统的可持续性。

### ·土地系统的变化

为了维持人类世稳定的粮食系统,土地利用面临的挑战是保护调节地球状况并提供支持粮食生产的生态功能的关键陆地和海洋生物群落。

耕地利用率反映了自然陆地生态系统最大限度地转化为耕地以保护重要生物群落的程度。这不超过全球无冰陆地表面的 15%,其中约 12% 是十年前种植的 (Ramankutty N,2008)。

为了量化土地制度变革的价值 (以价值vld 为单位,以货币形式衡量),我们考虑了原始土地价值v0以及实施该土地制度变革的影响(l)。此外,我们假设该值在系统区域内是均匀的,因此上述所有值都是区域(a) 的函数。

$$vld(a) = v0(a) + l(a) \quad (24)$$

为了定义原始土地价值 (v0),我们使用一个系数集,每个系数集表示所选土地应带来的每单位面积的货币价值,可以是正数或负数。

$$v0(a) = (c1 + c2 + \dots) \times A0 = \sum_{i=1}^n ciA0 \quad (25)$$

其中系数ci由评估土地系统的相应指标确定。n是系数总数。A0为规划用地面积。

为了定义实施对土地系统价值 (l)的影响,我们考虑生态系统中影响累积的现象。由于生态系统是一个复杂的、相互关联的系统,最初的影响将导致





指数级更高的间接影响。受到 Pierre-Francois Ver-hulsts 人口动态 (Cramer, 2003) 的启发, 我们将  $l$  表示为逻辑增长按以下方式运行,

$$\frac{dl}{dt} = C0l \left( 1 - \frac{l}{K} \right) \tag{26}$$

$C0$  代表项目实施对土地系统的影响。 $C0$  的大小是值的最大单位面积变化率, 即反映了变化将导致的土地制度的范围。  $K$  是承载容量, 负  $K$  表明变化正在污染土地系统; 正  $K$  表明变化正在改善生态系统, 而当  $K = 0$  时, 变化则不是影响土地的生态服务。我们通过以下方式求解逻辑方程 (eq.) 分离变量并积分, 重新排列以获得解析解  $l$  值,

$$l(a) = \frac{K}{Ke^{-C0a} + 1} \tag{27}$$

因此, 我们有了整个模型: 土地系统的价值作为面积的函数,

$$v(a) = \sum_n c_i a_i + \frac{K}{Ke^{-C0a} + 1} \tag{28}$$

到目前为止, 我们考虑了 Equity 和可持续性, 并用相关模型衡量其影响。最后, 我们可以把这些指标纳入我们优化粮食系统的基本模型中。

## 4 在希腊和肯尼亚的应用

### 4.1 希腊和肯尼亚情况分析

我们选择一个典型的发达国家 希腊和一个发展中国家 肯尼亚作为研究对象。我们将计算优化前后考虑可持续性和公平性的食物系统模型的综合得分, 并分析其变化

优化前后的食物系统。重量、内部参数及上面给出了各指标的计算公式。

表 3: 基本粮食系统指标的权重

指标	希腊		肯尼亚	
	基础系统	优化系统	基础系统	优化系统
食物	0.401	0.578	0.785	0.720
社会	0.771	0.854	0.521	0.720
经济	0.408	0.383	0.265	0.197
效率	0.377	0.355	0.287	0.263
紧急情况	0.031	0.023	0.016	0.021
V	0.423	0.445	0.350	0.294



关注数学模型  
获取更多资讯

表2列出了基本模型和优化后的5个Superior指标以及V值。表2显示,考虑可持续性和公平性的基本食物系统优化后,希腊食物系统模型的综合得分从0.423提高到0.445,变化为5.2%。相应地,对于肯尼亚来说,在考虑可持续性和公平性后,其粮食系统的综合得分变小,这表明肯尼亚粮食系统的整体表现变差。

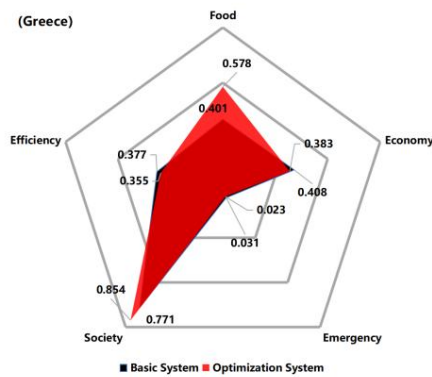


图7:希腊的综合价值

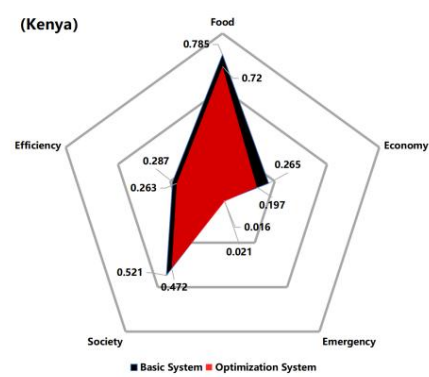


图8:肯尼亚的综合价值

上面两张雷达图更直观地展示了考虑可持续性和公平性的粮食系统优化前后模型中各指标的变化。由图可见,在考虑可持续性和公平性后,经济指标和效率指标的得分有所下降,而社会指标的得分有所上升。这说明粮食系统在兼顾可持续性和公平性的同时,会牺牲部分经济和效率。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

## 4.2 敏感性分析

基于上述建立的食品系统模型,对重要变量进行敏感性分析。我们讨论这三个指标对粮食系统模型的优越指标的影响。当其中一个指标改变时,另外两个指标保持初始值不变。

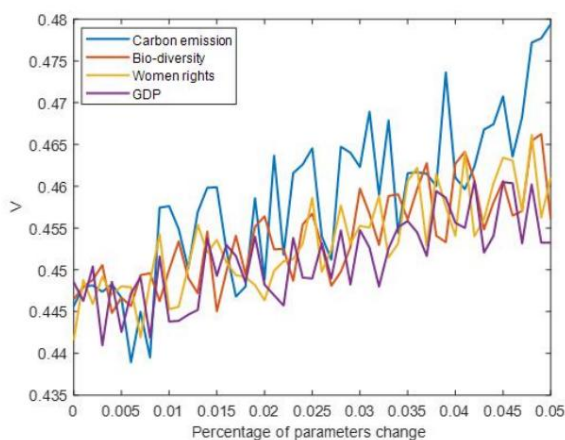


图9:希腊

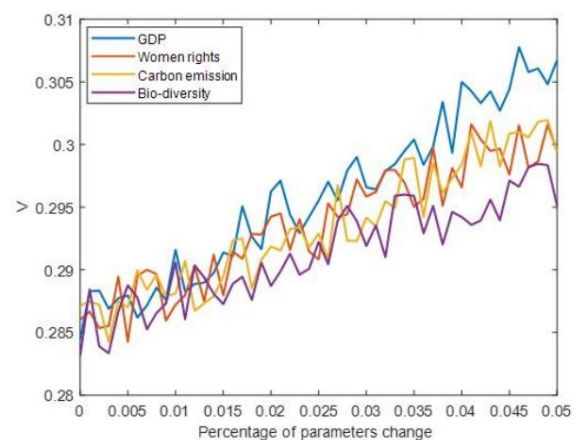


图10:肯尼亚



关注数学模型  
获取更多资讯

微信号:数学模型

三项指标单独由0.1%改为5% , 每0.1%计算一次指标值。  
对于希腊和肯尼亚的粮食系统总指标,采用归一化数据进行计算,对粮食系统起到了积极的作用。

由图可见,希腊GDP变化对粮食系统造成的影响并不显著,相反对碳排放、生物多样性、妇女权利等因素的变化较为敏感。肯尼亚的粮食系统随着GDP的增长而大幅波动,并且对其他参数的变化不敏感。同时我们可以发现突发事件对粮食系统也产生了一定的影响。

因此,发展中国家在构建粮食体系时应更加注重经济发展和效率,而不是对公平性和可持续性的优化敏感。过度考虑公平性和可持续性会影响甚至限制经济发展。对于发达国家来说,由于其经济发展水平已达到一定水平,追求利益和效率不会对其粮食体系的稳定性产生太大影响,而考虑公平和可持续性更有利于完善粮食体系。

## 粮食系统的 5 个优先事项

### 5.1经济、环境指标分析

主流经济学家认为,平等与效率之间存在着巨大的权衡。这一矛盾进一步影响粮食系统的稳定和安全。另一方面,发展中国家和发达国家发展阶段的差异导致粮食系统公平和效率的优先重点不一致。一个很好的例子是,流向发展中国家的外国直接投资被应用于绿色技术和良好的环境,以促进发展中国家的可持续发展,但在这些国家,环境问题被认为不太重要,高昂的治理成本阻碍了他们使用更绿色的生产技术(Obed)夸梅·埃桑多,2020)。因此,此类措施可能会破坏粮食系统,粮食安全难以保障。

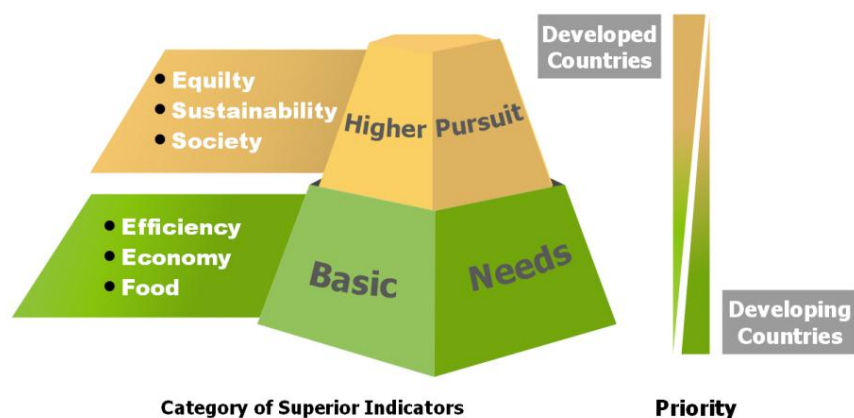


图 11:指标按优先级分类



关注数学模型  
获取更多资讯

因此,改变粮食体系指标的优先顺序就必须付出相应的代价,而且由于发展中国家和发达国家的发展阶段目标不同,必须将粮食体系指标的优先顺序视为粮食体系指标的优先顺序。现阶段适合他们国家的最佳决策。旨在发展粮食系统的国家之间的矛盾之处在于,发展中国家需要足够的食物并确保其利润最大化和生产成本最小化,而发达国家则需要更健康的食物并确保其效用最大化。(注:区别在于利润、成本和效用)

·发展中国家的目标

$$\pi_{\max} = \sum_{i=1}^n p_i y_i - \sum_{i=1}^m w_i x_i; \text{最小} \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad \text{维西} \quad (29)$$

$$\text{st } f(x_1, x_2, \dots, x_m) = y \quad (30)$$

·发展中国家的目标

$$\text{最大 } U(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (31)$$

为了追求利润最大化和成本最小化,发展中国家在短期内将放弃对可持续性、公平和社会稳定等指标的优先考虑,而转而选择适合自身特点的更高优先级的选择,如效率、经济发展等和食品;为了追求效用最大化,发达国家不太担心自己的吃饭能力,而是更关心自己的长期目标:可持续性、公平和整体社会福利。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

在这里,我们的任务是找到一个可以根据发展中国家和发达国家的需要调整其优先事项的动态参数。在某个时刻,当发展中国家的发展水平能够达到发达国家的门槛时(发展中国家成为发达国家!),该参数对应的粮食系统的优先顺序应该是相同的。当参数稍作调整时,粮食系统的优先级就会发生变化,从而产生相应的收益和成本。

## 5.2 衡量发展中和发达国家的效益和成本 国家

我们从发展中国家开始,假设他们调整他们的食物系统优先级基于成本效益分析,因此应最大化其总效益:

$$R^0 = R_{\max} = \sum_{i=1}^n p_i y_i - \min \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad \text{维西} \quad (32)$$

这里我们将食物系统的基本模型和优化指标联系起来考虑总收入的公平和可持续影响:

$$R^0 = \alpha_i (i - v_{ii}^0 - \varepsilon_i), i \in I \quad (33)$$



关注数学模型  
获取更多资讯

微信号:数学模型

其中 $\alpha_i$ 是线性系数;  $i_0$ 为指标取前的原始值  
考虑公平和可持续性的影响。

另一方面,我们考虑发达国家的效用最大化,因为:  
综上所述,发达国家效用最大化的总收益为:

$$R = \sigma \text{GDP} \quad (34)$$

GDP是衡量一个国家发展水平的重要指标,但在发达国家,人们越来越关注公平、可持续发展和社会整体福利水平。 $\sigma$ 是我们关注的焦点, $\sigma$ 衡量发达国家其他领域我们创造性地将基尼系数、环境库兹涅茨曲线和收入弹性结合起来,考虑公平、可持续发展和社会福利总体水平对发达国家总效益的影响。

#### ·股权和基尼系数

基尼系数广泛用于评估特定社会的收入分配平等 (Milanovic1997)。基尼系数的范围是0到1。基尼系数越小,意味着不平等程度越高,而0.4通常被认为是表明不平等程度是否过高的一个重要点。这里我们给出基尼系数,它考虑了种族、食物和政策:

$$\text{GINI}_{it} = f(\text{RA}_{it}, \text{F Sit}, \text{GD}_{it}, \text{P}_{it}, i_{\theta it}) \quad (35)$$

其中 $\text{RA}_{it}$ 、 $\text{F Sit}$ 、 $\text{GD}_{it}$ 、 $\text{P}_{it}$ 分别代表不同国家(i)不同阶段(t)的种族、食品安全、性别和政策以及不可预测因素对基尼系数的影响,  $\theta_{it}$ 代表时间-依赖因素

托尔。

#### ·可持续性和库兹涅茨环境曲线

越来越多的学者对库兹涅茨曲线进行了修正,并将其应用到各个领域,库兹涅茨环境曲线描述了一个国家的经济发展水平较低时,环境污染程度较轻,但随着人均收入的增加,环境污染趋于趋于稳定。由低到高增加,环境恶化程度随着经济增长而加剧。

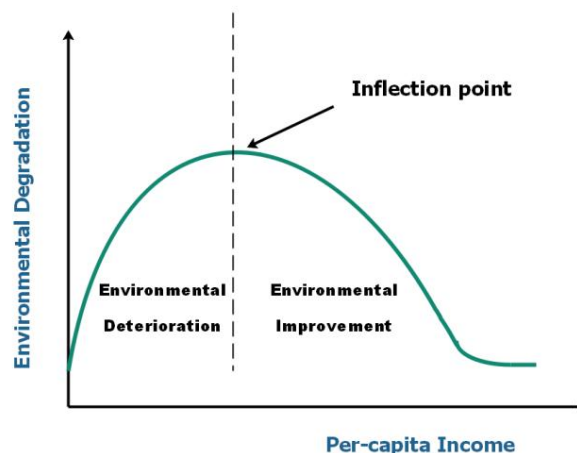


图 12: 环境库兹涅茨曲线



关注数学模型  
获取更多资讯



### ·社会和收入弹性

收入弹性是指在价格等因素不变的情况下,消费者收入变化引起需求量变化的程度。在收入增加的发达国家,对昂贵商品的需求迅速增加,而对面包等基本商品的需求仅略有增加。因此这些商品的需求收入弹性为负。

因此,发展中国家和发达国家的社会生活水平可以通过不同商品的收入弹性来反映。

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta D/D}{\Delta I/I} \quad (36)$$

其中  $\varepsilon_d$  是需求收入弹性,  $\Delta D/D$  是需求量的变化,  $\Delta I/I$  是收入的变化。

## 5.3 寻找平衡点

现在,我们分别得到了发展中国家和发达国家总收入的表达式

$$R^0 = \alpha_i (i - v_{ii} - \varepsilon_i), i \in I \quad (37)$$

$$R = \sigma \text{GDP} \quad (38)$$

结合我们之前的分析,当发展中国家和发达国家的总收入相等时(即发展中国家转变为发达国家)我们有:

$$R^0 = R \quad (39)$$

所以我们可以得到,随着 $\sigma$ 改变食物系统的价值,下图展示了 $\sigma$ 的变化对各国食物系统价值的影响关系。对于希腊和肯尼亚来说,在一定时间内改变粮食系统的优先顺序是有效的。根据平衡点,各国改变系统中指标的优先顺序,使其更符合本国的现状。

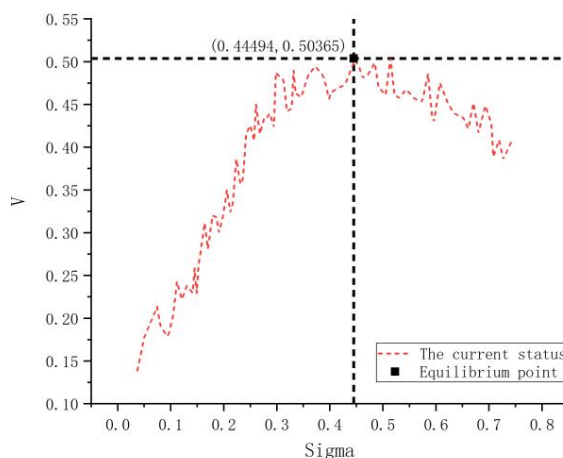


图13:希腊

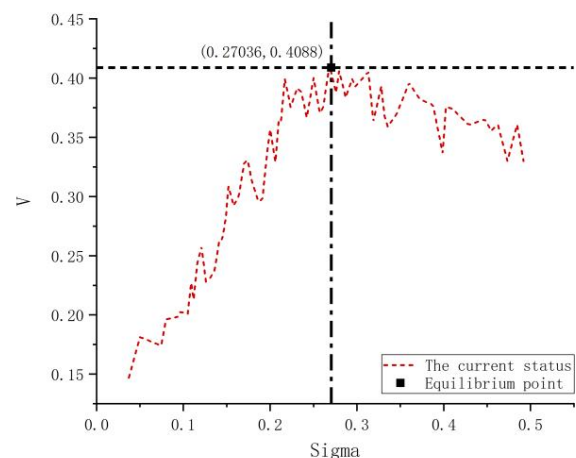


图 14:肯尼亚



关注数学模型  
获取更多资讯



## 6 进一步讨论

### 6.1 更广泛或更小的食物系统

无论是希腊、肯尼亚还是世界上任何一个国家,都需要建立适合自己国家的粮食体系。然而,由于区域异质性和国家内部的其他特征,国家之间的粮食系统受到越来越大的影响 (Bureau of Reclamation, 2012)。因此,需要建立一个更广泛或更小的食物系统,而食物系统的可扩展性使得可以灵活地应用于更多领域。通过扩展,我们指的是解决方案的就地扩展,通过扩展其地理边界或降低其资格要求来增加其覆盖范围,以及可扩展至可扩展水平,同时仍产生显着的结果 (Ceschin, F., 2014)。这两个过程都应考虑到具体的区域差异和不同利益相关者的观点,而规模化还应考虑在更广泛的范围内实施时产生系统性影响。

然而,据我们所知,尚无关于特定城市或地区背景下粮食系统的可转移性和可扩展性的研究,考虑到社会技术的复杂性、系统性影响和全面的可持续性成果 (Forrest N, 2014)。

参照Ceschin F关于社会技术可持续发展的研究框架,我们对原始食品系统分析中衡量的7个优先级指标进行了调整,以适应应用范围的大小。例如,在考虑经济因素时,国家层面衡量的通货膨胀、城镇化、GDP和消费水平等指标可以反映在该地区的房价、收入和银行存款中。下图反映了我们最初在较大或较小区域中建立的七个高级指标的调整,反映了粮食系统的可扩展性。

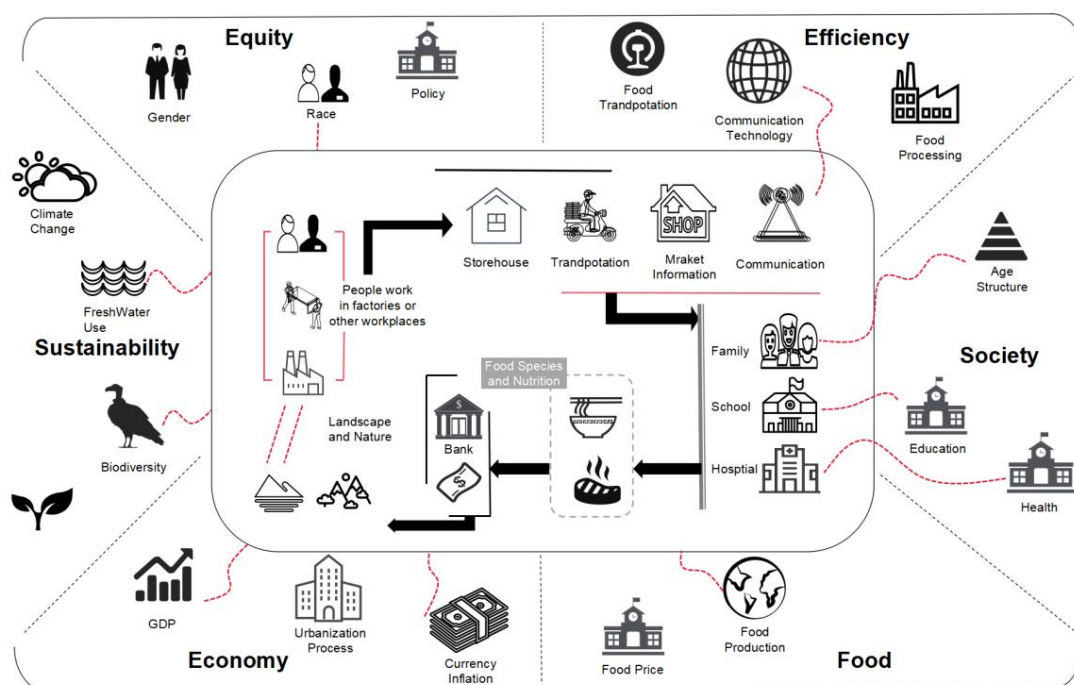


图 15:可扩展粮食系统的框架



关注数学模型  
获取更多资讯

6.2 我们模型的适应性讨论

我们很多指标都是根据国家层面来选择的,这些指标对于某些小区域或大区域来说,可能没有意义或难以获取数据。因此,我们的模型可能不再适用。例如,对于一个小国家来说,城市化进程、饮食习惯等指标对粮食影响不大。制度方面,而GDP、市场信息、教育等因素则具有更大的影响力。对粮食系统的影响。对于更大的地区,例如亚洲,粮食进出口成为常态,食物的品种也非常齐全。因此,这些影响关于粮食系统的两个指标可以忽略不计。发展中国家和发达国家他们的粮食系统有不同的优先事项。

6.2.1 较小区域的修改

综合以上分析,对于较小的区域,有些指标不再适用,所以我们需要改进模型,删除一些指标,增加一些指标,所以以便更准确地计算当地粮食系统的综合得分。我们仍然采用组合赋权法计算各指标的权重。

表 4:粮食系统指标的修改权重

食品 12.9%		社会18.6% 年	经济30.8%
食品种类2.3%	食品	龄结构4.8%	消费能力3.6%
价格4.6%	食品产量	教育6.7%	货币通胀6.4%
2.7%	食品营养3.3%	希斯 5.4%	失业率 5.5%
		人口 1.7%	GDP 15.3%

表 5:粮食系统指标的修改权重

效率30.5% 运输	紧急情况7.2%
4.4%	意外灾害 1.5%
食品包装 3.8%	自然灾害 1.6%
食品储存 4.5%	食品加工
3.9%	公共卫生 2.1%
市场信息 7.9%	通讯技术 6.0%
	社会保障2.0%

从表中可以看出,模型的主要部分没有变化,但重量每个索引都发生了变化。这些索引仍然可以代入我们之前的模型得到食品系统的综合得分。

6.2.2 更大区域的修改

对于较大的区域,我们的模型仍然适用,“分裂”的思想可以用来区分发展中国家和发达国家以确定更合理的



关注数学模型  
获取更多资讯

措施。此时,均衡点的变化是制定措施和政策考量的关键,决定了该地区是经济优先、效率优先还是公平可持续,此时的均衡点应在发展中国家和发达国家。以亚洲为例,亚洲有4个发达国家和45个发展中国家,我们分开考虑。当A变化时,我们取这些国家的V值和平均值作为新的V值,得到如下曲线。图中显示均衡点为(0.34432,0.45744),所以亚洲可以参考这个均衡点确定粮食系统的优先顺序。

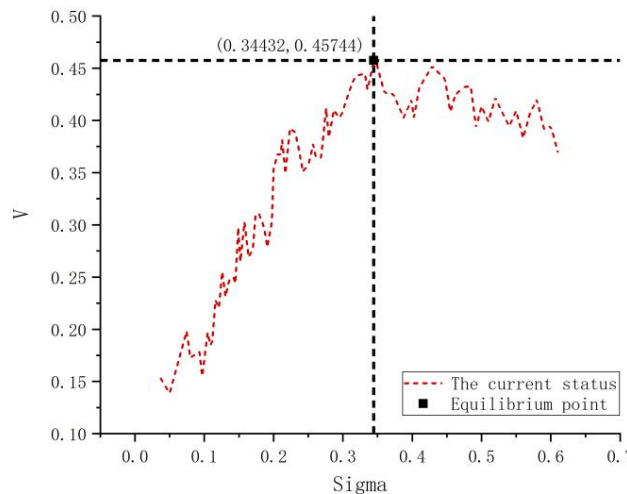


图 16:改进模型的平衡点

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels

## 7 结论

综上所述,我们首先建立了基本食品系统模型,然后利用公平性和可持续性两个优越指标对原有基本模型进行优化。通过建立指标体系,用粮食系统综合评价指数来衡量粮食系统的稳定性。

选择希腊和肯尼亚来应用和测试该模型。利用收集到的数据,我们发现在公平性和可持续性方面,希腊的得分为 0.445,肯尼亚的得分为 0.294。如果不考虑公平和可持续性,希腊为 0.423,肯尼亚为 0.350。百分比变化为5.2%和-16.0%,敏感性分析显示希腊的粮食系统对气候变化、生物多样性和性别更敏感,而肯尼亚的粮食系统对经济变化更敏感。

在讨论粮食系统的优先级时,系统中的指标分为两类:基本需求和更高追求。成本效益函数用于分析不同性质的国家以找出均衡点。通过衡量发达国家和发展中国家之间的效益和成本差异,讨论了优先权对粮食系统的影响。希腊和肯尼亚的均衡点对应参数分别为0.44494和0.26847。

通过调整模型框架,提高模型的可扩展性。对于较小的地区,模型中的指标需要重新考虑和加权,而对于较大的州,影响范围有限,并且由于难以确定,成本较高。



关注数学模型  
获取更多资讯

管理更大的国家。我们仍然使用希腊和肯尼亚的数据,并测试模型的可扩展性和适应性。

## 8 优点和缺点

### 优势

- 对劣质指标进行标准化时,通过比较四种标准化方法,采用最合适的方法对不同指标进行标准化。
- 在对指标进行赋权时,比较了主观赋权法和客观赋权法后,采用层次分析法和熵值法的综合赋权法,使赋权结果尽可能接近实际结果,提高了模型的可靠性。
- 将粮食系统分为基本需求和高级追求,并采用成本效益分析和效用最大化分析来分析发展中国家和发达国家的收入均衡点。

### 弱点

- 当改变模型应用的区域时,各指标对粮食系统的影响也会发生相应的变化,模型中忽略这种变化使得结果产生一定的偏差。
- 模型中我们考虑了突发事件对粮食系统的影响,但当一个国家或地区发生战争等严重突发事件时,该模型就不适用。

微信公众号:数学模型微信号:MATHmodels



## 参考

亚历山德拉·尤尔吉列维奇·特雷西·伯奇·约翰娜·肯塔拉·莱托宁等。食品系统向循环经济转型。 2016年,8 (1)。

Barnosky AD、Matzke N、Tomiya S 等人。地球第六次生物大灭绝已经到来了吗?自然2011; 471 (7336) : 51。

垦务局,2012 年。科罗拉多河流域供水和需求研究执行摘要。美国内政部垦务局重新检索。

Ceballos G、Ehrlich PR、Dirzo R。正在进行的第六次大规模灭绝导致的生物灭绝,以脊椎动物种群的损失和下降为标志。 2017年美国国家科学院院刊; 114(30):E6089-E96。

切斯钦 F。社会技术实验的设计如何能够实现可持续发展的根本性改变[J]。国际设计杂志,2014,8(3):1-21。

Derbyshire E、Delange J。COVID-19:免疫营养有作用吗,特别是对于 65 岁以上的老年人? BMJNPH 2020; 3:1005。

德弗里斯 W、克罗斯 J、克罗泽 C、塞辛格 SP。评估与粮食安全和不利环境影响相关的行星和区域氮边界。 2013 年当前环境意见。

埃里克森 PJ。 2008 年。为全球环境变化研究构建粮食系统概念。全球。环境。改变嗡嗡声。政策维度。 18:23445。

福雷斯特·N , 斯坦因Z , 维克 A。可持续城市水解决方案的可转移性和可扩展性 以科罗拉多河流域为例[J]。资源节约与回收,2020,157:104790。

詹姆斯·S·克莱默。Logit模型的起源和发展。Logit 模型来自经济学和其他领域,第 149158 页,2003 年。

Jatinder Bajaj 和 MD Srinivas,“Annam Bahu Kurvita”,金奈:政策研究中心,1996 年),8; Vandana Shiva,“Annadana:食物的礼物”,《神圣的信托:生态与精神价值观》,基于王子基金会和英国 Temenos 学院组织的一系列讲座,2。

J. von Braun,《世界粮食形势:新驱动力和必要行动》(国际粮食政策研究所,华盛顿特区,2007 年)。

Obed Kwame Essandoh、Moinul Islam、Makoto Kakinaka。将国际贸易和外国直接投资与CO<sub>2</sub> 排放联系起来:发达国家和发展中国家之间有何差异? 。 2020,712。

Pastor A、Ludwig F、Biemans H、Hoff H、Kabat P。全球水评估中环境流量要求的核算。水文与地球系统科学 2014; 18 (12) :5041-59。

帕尔姆格伦 J。泊松分布[M]//生物统计学百科全书。 2005 年。通过坎佩西纳。 2009 年。涅日莱尼宣言。农民研究杂志36 (3) :673676。

威利特 W 等人。人类世中的食品:EATLancet 委员会致力于可持续食品系统中的健康饮食。柳叶刀。 2019; 393(10170):447-92。

