

谁动了我的食物？一个新的食品系统优化

摘要

饥饿滋生了不满情绪。随着人口的不断增加，粮食匮乏变得越来越严重。因此，我们建立了一个新的、有效的、灵活的粮食系统，并使用规划模型来优化该系统，给出解决方案。

首先，我们在**食品经济学**的基础上建立一个新的食品体系。其中，有 4 个一级指标，即效率、利润率、公平和可持续性，以及 12 个二级指标。我们用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) **AHP** 来确定指标的权重，并得到对象函数的系数。以中国为例，我们只建立了一个**线性编程模型**来优化公平性和可持续性，得到优化后的方案，并与原系统进行比较。在估计达到这一水平的时间时，我们通过回归得到指数变化的函数表达式。结果显示，这个时间约为 4-6 年。

其次，我们建立了一个**目标规划模型**，用优先级因素来表达优先级，然后实现一个可以灵活调整优先级的食品系统。在此，我们引入综合优化指数的概念 (**COI**) 来选择哪个优先级的食品系统是最优化的。我们以中国和美国为例。结果显示，中国的优先级是**效率>公平>盈利>可持续**，其值为 13.75。COI 值为 13.75。美国的优先级是**效率>盈利性>股权>可持续性**，其数值为.....。COI 值为 9.78。

然后，我们得到，中国的粮食系统达到这个水平，需要 2-4 年。在**帕累托优化**的情况下，我们引入农业经济管理中的农业投资效益系数的概念 (**AIEC**)，从农业经济管理的角度来评价中国和美国的粮食系统的收益和成本。结果显示，中国和美国的 AIEC 中国和美国的数值为 0.83 和 0.46。

最后，我们对模型进行了敏感性分析，以固定的步长调整约束条件的参数，评估了优化效果，然后将模型应用于较小的区域进行解决。同时还分析了该模型的优点和缺点。

关键词：线性规划；优先因素；目标规划模型；帕累托最优线性规划；优先因素；目标规划模型；帕累托最优

内容

1 引言.....	1
1.1 问题背景.....	1
1.2 我们的工作.....	2

1.3 符号	1
2 假设和词汇	1
2.1 假设	2
2.2 术语	3
3 重塑食品系统：一个新的尝试	3
3.1 一个新的食品系统	3
3.2 只为公平和可持续性而优化	4
3.3 系统变化的特征分析	5
3.4 对实现优化目标的时间估计	6
4 一个灵活的食品系统模型	7
4.1 一个食品系统模型。改变目标的优先次序	8
4.2 找到综合优化的水平	9
4.3 实现综合优化水平的时间估计	10
4.4 食品系统的收益和成本之间的差异。美国和中国的案例	11
5 敏感度分析	12
5.1 可扩展性分析	12
5.2 适应性分析	13
6 优势和劣势	14
6.1 优势	14
6.2 弱点	15
参考文献	16
附录	18
附录A	18
附录B	18

1 引言

1.1 问题背景

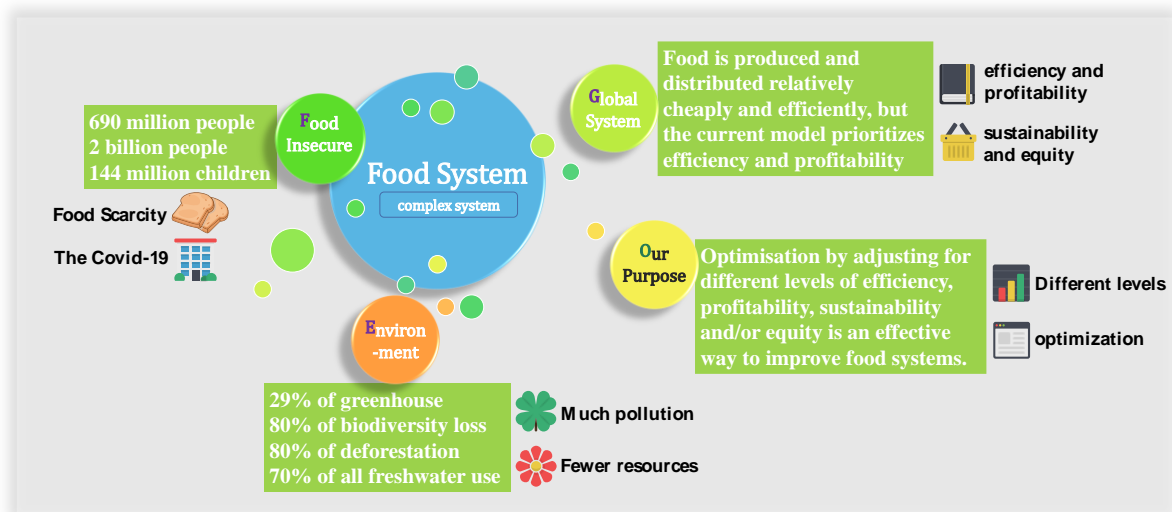


图 1. 食品系统的问题和我们的目的

作为人类最重要的生存资源之一，食物在世界各地形成了一个复杂的系统。然而，我们可以看到，我们的全球粮食系统是不稳定的，即使是在它普遍服务良好的地区。目前，世界上仍然存在一些问题，如粮食匮乏、粮食安全、环境可持续发展和公平。截至2019年，全世界有6.9亿人遭受饥饿，20亿人不能正常获得安全、营养和充足

的食物，1.44亿儿童发育不良。自2020年以来，Covid-

19大流行病对全球粮食系统产生了严重影响，严重影响了弱势人群，与之前相比，饥

此外，环境可持续性也是我们必须关注的问题。全球粮食系统的发展过程导致了饥饿人口的数量大幅增加[1]。即使在物质资源丰富的发达国家，仍然有食物匮乏的地区。"29%的温室气体排放，高达80%的生物多样性损失，80%的森林砍伐，以及70%的

和无法获得正常食物和营养的公民。淡水使用"。专家强调，可持续粮食系统的选择包括可持续集约化、资源密集度较低的

饮食、提高饲料效率、减少粮食损失、减少粮食浪费、营养物质的循环利用以及减少

生物燃料和天然纤维的使用

由巨大的国家和国际食品生产商和经销商组成的食品系统，使食品的生产 and 分配

这是一个令人恐惧的现象。如果我们不在可持续性的基础上发展食品系统，我们将逐渐失去食品系统的未来。

的粮食政策经常根据粮食供求的变化进行调整，而公平和可持续性往往被推迟。因此

，通过调整不同程度的效率、利润率、可持续性和/或公平性来进行优化是改善粮食系统的有效途径。

1.2 我们的工作

首先，以食品经济学为基础，建立以效率、收益、公平和可持续性为一级指标的新食品指标体系，采用德尔菲法和层次分析法(AHP)来确定指数权重，以获得线性关系。

接下来，我们以中国为例，只针对公平和可持续性，建立一个线性编程模型来优化食品系统。我们用各因素的加权和的最大值作为目标函数，通过

MATLAB编程，实现模型的求解，并与原系统进行比较。最后，通过回归得到指标变化的函数表，

其次，在只针对公平和可持续发展的系统部分优化的基础上，利用目标规划模型，构建一个具有优先级的粮食系统模型，并借用第一个问题的方法来寻找达到优化水平的时间。接下来，我们引入综合优化指数的概念(COI)来评价食品系统的效果。指数的值越高 COI，就应该采用配备相应优先级的食品系统。我们以帕累托最优的情况对该模型进行求解，并得到最优解和转换效率。最后，我们得到了农业经济学和管理学中的农业投资效益系数的概念(AIEC)来评估中国和美国的粮食系统的收益和成本，并进行比较。

最后，根据带有优先级因素的目标规划模型，我们在不同规模的食物系统下进行敏感性分析，包括可扩展性分析和适应性分析。在分析中，以固定的步长调整约束条件的参数来评估优化效果，然后将模型应用于较小的区域来解决。之后，我们分析了

该模型的优点和缺点。表 1.符号描述和解释

符号	定义
x_{ij}	食品系统的二级指数值
ω_{ij}	指数重量
$T_{min-China}$	达到一定水平的最低时间
$T_{max-China}$	达到某一水平的最长时间
P_i	目标编程模型的优先因素
COI	全面优化的索引
AIEC	农业投资效应系数

2 假设和词汇

2.1 假设

- 我们忽略了指数值的急剧变化对优化效果的影响。我们认为，在一定时期内，食品体系中指数值的变化是符合经济学和环境科学的发展规律的。
- 我们假设参数估计引起的误差对优化效果有可控的影响。由于某些指标的数据无法获得，我们通常选择其他指标来估计数据缺失的指标。这个过程可能会产生误差。
- 本文在计算可再生水总量时，不包括天然可再生水总量。可再生水总量实际上包括地下可再生水总量（实际）和天然可再生水总量，但后者无法估算。

2.2 术语

- **农业投资的效果系数**。指每单位农业投资所增加的农业产值或增加值。它反映了全社会用于扩大农业再生产的资金的经济效益。其计算公式为：
$$AGGA = \frac{\Delta Y}{\Delta I}$$
。农业投资效果系数
- **农业温室气体排放 (AGGA)**: 农业种植和生产过程中释放到大气中的温室气体量主要包括CO₂、CH₄、N₂O等。农业不仅是CO₂排放的重要来源，也是全球变暖的根本原因，更是最容易受到气候变化影响的行业。
- **农业用可再生水的消耗 (RWCAU)**: 再生水是污水经过高级处理后的流出物，是城市中重要的非常规水源之一，在农业灌溉中使用再生水可以提高相应作物的产量和效率。
- **家庭对粮食的总需求 (THDG)**: 一个家庭一年需要的粮食总量，包括谷物、蔬菜产品、动物产品和其他食品。该指数可以反映粮食系统的效率，为改善粮食系统提供依据。
- **对粮食生产的投资 (IGP)**: 粮食生产的投资包括土地、资本和劳动要素。农业产出的增加可以分解为生产要素投入增加的贡献和要素生产率增加的贡献。

3 重塑食品系统：一个新的尝试

对于目前的食品系统，我们只考虑效率和利润率的缺点。我们希望提出一个新的食品系统，它可以优化到我们的理想状态。此外，我们希望在满足经济理论的前提下

3.1 一个新的食品系统

，通过数学方法对新系统进行优化。

在粮食经济学的基础上，我们充分考虑了市场的供求关系、粮食价格与成本波动的关系[2]。同时，我们参照书中的“粮食安全衡量指标”和哈佛大学数据库中的“可持续

粮食系统安全指数", 建立了新的粮食指数体系, 如图 5 所示[3-5]。

我们选择了四个一级指标 (效率、盈利能力、公平和可持续性), 并相应地选择了12个二级指标。此外, 我们没有选择许多不相关的指数, 这将为后续模型优化消除障碍, 并对每个指数的影响做出更好

3.2 只为公平和可持续性而优化的机制分析。

然后, 我们需要优化食品系统的性能。在运筹学中, 当我们处理编程问题时, 在大多数情况下, 我们通常根据实际问题列出目标函数和约束条件。同时, 我们希望一级指标和二级指标之间有线形关系。因此, 我们通过德尔菲法和层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 确定指标权重。AHP), 结果见表 2 和表 3。

因此, 我们可以得到第一等级指数和第二等级指数之间的线性关系。我们定义 ω 为权重, 因此我们有:

$$x_i = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

接下来, 以中国为例, 我们从数据集中选取 2016 年的相关数据, 用线性规划方法求解模型[6]。如果食品系统只为公平和可持续发展而优化, 则数学模型为

$$\max z_1 = -\sum_{j=1, j \neq 3}^4 \omega_{1j} x_{1j} + \omega_{13} x_{13} + \sum_{j=1}^3 \omega_{2j} x_{2j} \quad (2)$$

$$s. t. \begin{cases} 0.1x_{13} - x_{12} - x_{14} \geq 3000 \\ x_{22} - x_{21} \leq 0.1 \\ x_{11} \leq 700, x_{23} \leq 0.08 \\ x_{1j}, x_{2k} \geq 0, (j = 1, \dots, 4; k = 1, 2, 3) \end{cases} \quad (3)$$

表 2. 粮食系统的一级指标权重

一年级指数	可持续性 (x_1)	股权 (x_2)	效率 (x_3)	盈利能力 (x_4)
重量	0.2715	0.2051	0.3002	0.2232

表 3. 食品系统的二级指标权重

二级指数	AGGE (x_{11})	RWCAU (x_{12})	TRW (x_{13})	ORWC (x_{14})
重量	0.0571	0.0839	0.0927	0.0378
二级指数	UPCL (x_{21})	RPCALA (x_{22})	PAEGE (x_{23})	TGP (x_{31})
重量	0.0558	0.0579	0.0914	0.1638
二级指数	THDG (x_{32})	CFP (x_{41})	PGP (x_{42})	IGP (x_{43})
重量	0.1364	0.0723	0.0922	0.0587

注: 表中的所有指数都是二级指数的缩写。全名请参考附录 A。

为了表达方便, 我们可以把 z_1 作为一个综合指数, 用来评价现有系统的公平性和可

持续性。指数值越大，在这两个方面的优化效果就越突出。

我们把每个指标的加权值的最大值作为目标函数，而约束条件是这些指标的优化范围。例如，限制条件为 $x_{12} \leq 0.08$ 指农业支出不应超过国家（地区）财政总收入的 0.08，这是国内外专家学者的共识[10-12]。 $+\omega_{13}x_{13}$ 出现，是因为指数 x_{13} 在粮食系统中发挥着积极作用。数值越大 $+\omega_{13}x_{13}$ 值越大，粮食系统的整体效果就越好。此外，我们通过 MATLAB 编程实现模型求解。程序见附录 B，模型的优化方案见表 4。

表 4.线性规划模型的优化方案（中国）

优化的解决方案	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}
价值	640.3	1468.1	71829	2308.1	0.05	0.09	0.06

注：由于篇幅限制，这里省略了单位。

3.3 系统变化的特征分析

在优化了粮食系统的公平性和可持续性之后，我们需要分析这种优化的成本是什么。原来的粮食系统是在充分考虑效率和收益的基础上建立起来的，可以说是一个优化的结果。为了表达的方便，我们把原来的系统称为**系统 A**，而产生的系统称为**系统 B**，它是为公平和可持续发展而优化的。另外，我们希望通过图 2 和图 3 中各变量内部关系的分析，可以清晰地反映出这种关系。

经过比较，我们发现，与系统 A 相比，系统 B 中的正向指标值都有所减少，相反，负向指标值（例如：农业支出在政府支出中的比例，PAEGE）却有所增加。结果表明，为了提高粮食系统的公平性和可持续性，线性规划模型对这两个指标的数值有更严格的要求。

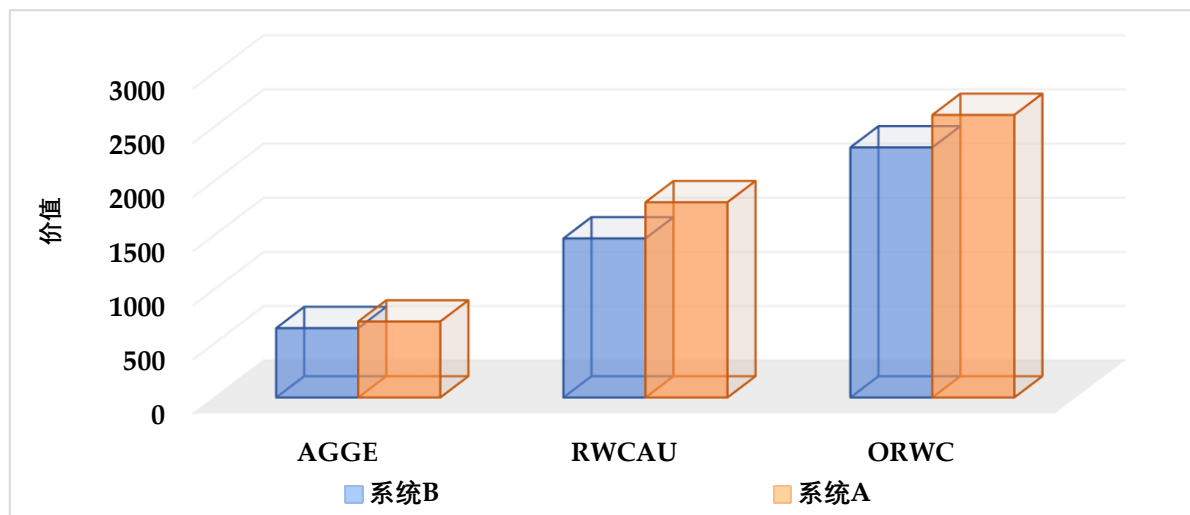


图 2.两个系统的可持续性指数的数字比较

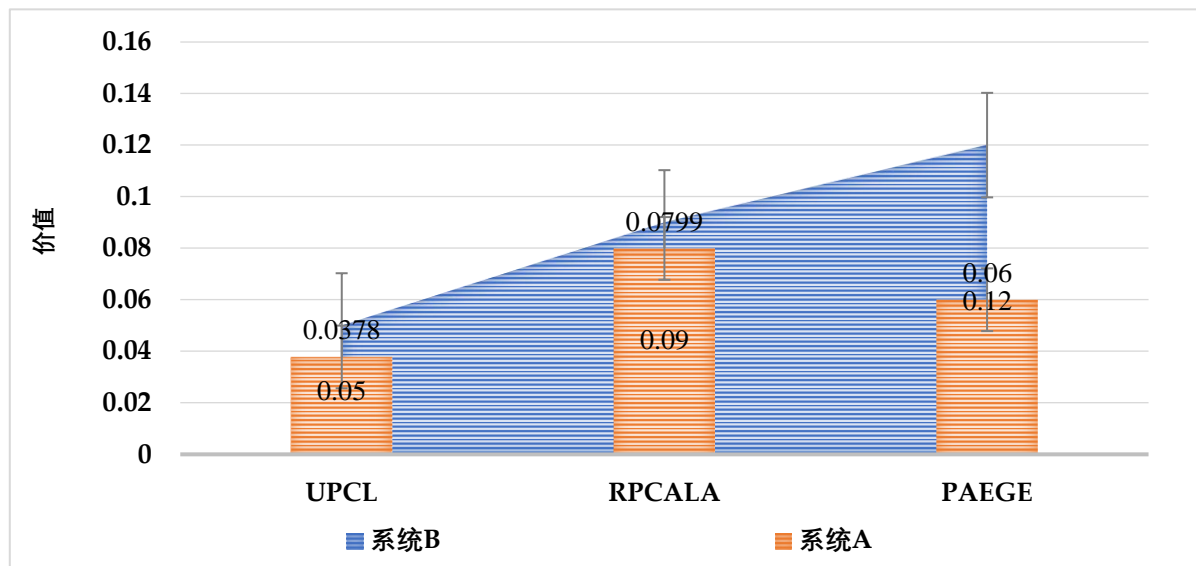


图 3.两个系统之间的股票指数值的比较

3.4 实现优化目标的时间估计

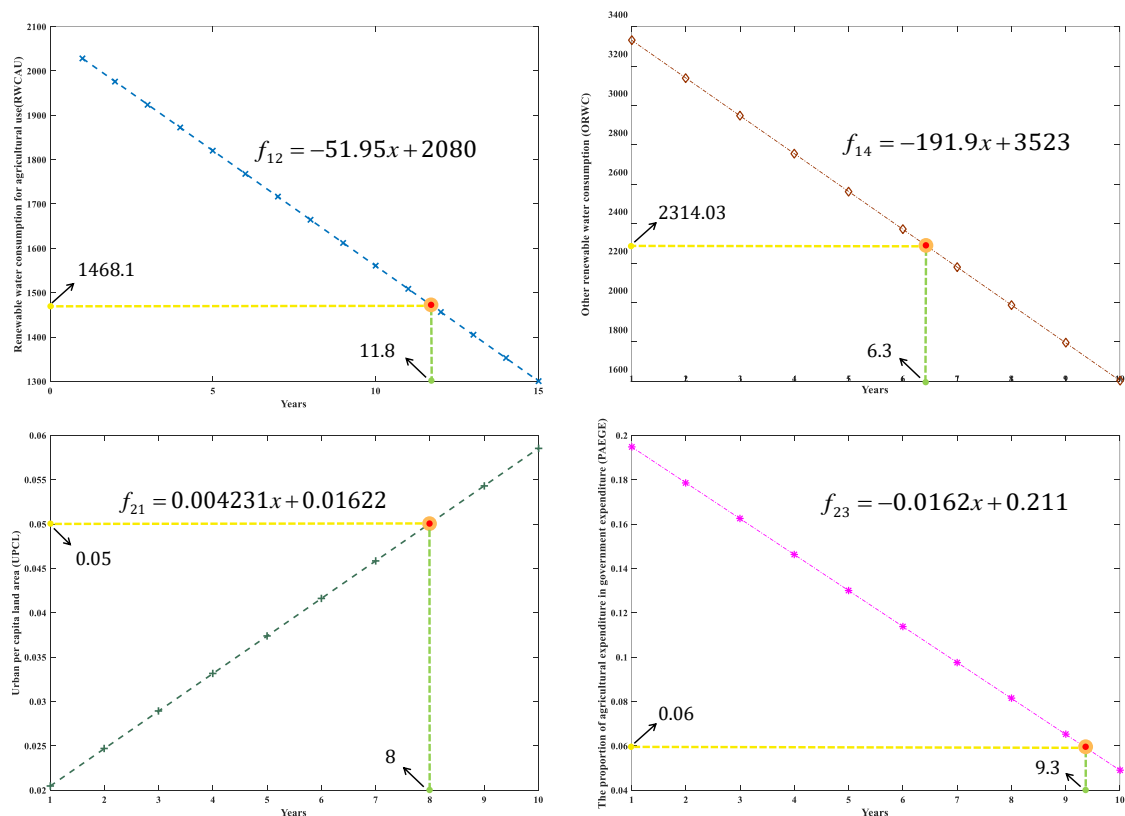


图 4.四个可预测指数（RWCAU、ORWC、UPCL 和 PAEGE）的拟合图。

经过模型优化和特征分析，我们更关心一个国家何时能达到这个水平，但这里只有粗略的估计。因此，我们收集了中国的指数值从 2011 到 2015.至于默认值，我们使用 KNN 算法来填补[13-15]。获得完整的数据集后，我们通过 MATLAB 的 cftool 工具箱进行曲线拟合。为了方便估计，我们采用线性拟合的方法，得到各指数随时间变化的趋势，

如图 4 所示。

特别是，我们发现一些指数值并不接近系统 B 的优化值，而是逐渐远离它，这只能在国家层面执行。因此，我们在 5 到 15 年的时间内持续测量此类数据。

$$T_{min-China} = \frac{6.8+1.3+3+10+5}{6} \approx 4.4 \text{ (years)} \quad (4)$$

$$T_{max-China} = \frac{6.8+1.3+3+10+15}{6} \approx 6.0 \text{ (years)} \quad (5)$$

最后，我们估计，至少需要 4 到 6 年才能达到系统 B 的指数水平，通过公式（4）和（5）。

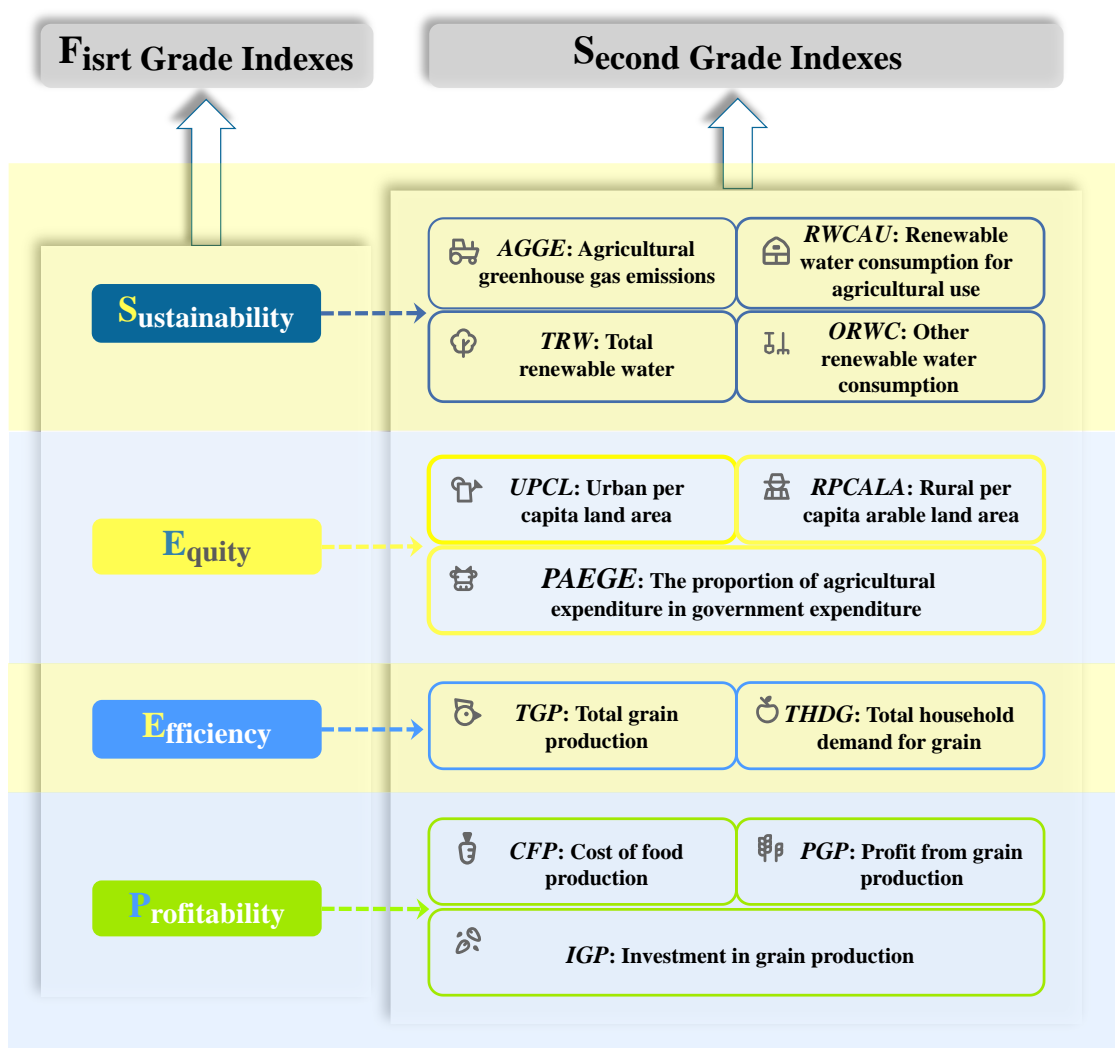


图5 .新食品系统的概念图

4 一个灵活的食品系统模型

在本章中 3 中，我们只是部分地优化了食品系统的公平性和可持续性。此外，使用

线性编程模型进行优化，只能解决刚性约束下单一目标的最大化或最小化。但在实际问题中，我们往往需要考虑多个目标，有些是主要的，有些是次要的。因此，我们需要使用目标编程的方法来建立一个可以灵活调整目标优先级的食品系统模型。

4.1 一个食品系统模型。改变目标的优先次序

我们仍然从运筹学中获得灵感，并引入了优先因子的概念。 P .优先系数反映了目标的重要性差异 当我们做多目标规划时。如果有 n 优先级因素，它应该满足以下公式。

$$P_1, P_2, \dots, P_n \quad (P_k \gg P_{k+1}, k = 1, 2, \dots, n-1) \quad (6)$$

$P_k \gg P_{k+1}$ 表示目标的优先级 P_k 的优先级应大于 P_{k+1} 。

以中国为例，我们仍然使用 2016 年的各项指数值[21]。同时，我们增加了正负偏离的变量(d^+, d^-)到目标编程模型中。偏差变量与线性规划模型的刚性约束不同，它们是软约束[16]。如果我们希望从高到低的顺序是：可持续性、公平、效率、利润率，那么目标编程模型就是。

$$\min z = P_1 d_1^+ + P_2 d_2^- + P_3 (2d_3^- + d_4^+ + d_4^-) \quad (7)$$

$$s. t. \quad \begin{cases} 0.1x_{13} - x_{12} - x_{14} + d_1^- - d_1^+ = 3000 \\ x_{22} - x_{21} + d_2^- - d_2^+ = 0.1 \\ 0.7x_{31} - x_{32} + d_3^- - d_3^+ = 0 \\ x_{41} + x_{42} - x_{43} + d_4^- - d_4^+ = 0.8 \\ x_{11} \leq 700, x_{23} \leq 0.08 \\ x_{ij}, d_m^-, d_m^+ \geq 0, (m = 1, \dots, 4) \end{cases} \quad (8)$$

在约束条件中，包含 d_m^+ 意味着允许它不能达到目标值，含有 d_m^- 表示允许它超过目标值，而包含 $(d_m^+ + d_m^-)$ 表示它正好达到目标值。我们的目标函数使所有约束条件的正负偏差的加权和最小化，并在不同程度上限制了所有方面的第二个指标。例如，约束条件包含 $0.7x_{31} - x_{32}$ 表示中国的粮食产量至少要满足全国人口 70% 的粮食需求，但允许满足更多居民的粮食需求[17-18]。因此，约束条件使用负偏差变量 d_3^- 。

可持续性是在一楼，所以我们给它分配了一个优先系数 P_1 .公平是在二楼，所以我们给它分配了一个优先系数 P_2 .效率和盈利能力在第三层，所以我们给它分配了一个优先因素。 P_3 我们认为，效率的约束比盈利的约束重要 2 倍，所以它们的内部权重也是 2 倍的关系。

表 5.食品系统的二级指标权重（目标编程模型，中国）。

二级指数	AGGE (x_{11})	RWCAU (x_{12})	TRW (x_{13})	ORWC (x_{14})
优化的解决方案	641.38	1572.39	71829.12	2705.25
二级指数	UPCL (x_{21})	RPCALA (x_{22})	PAEGE (x_{23})	TGP (x_{31})
优化的解决方案	0.05	0.12	0.06	6.42
二级指数	THDG (x_{32})	CFP (x_{41})	PGP (x_{42})	IGP (x_{43})
优化的解决方案	4.26	2.11	0.62	1.86

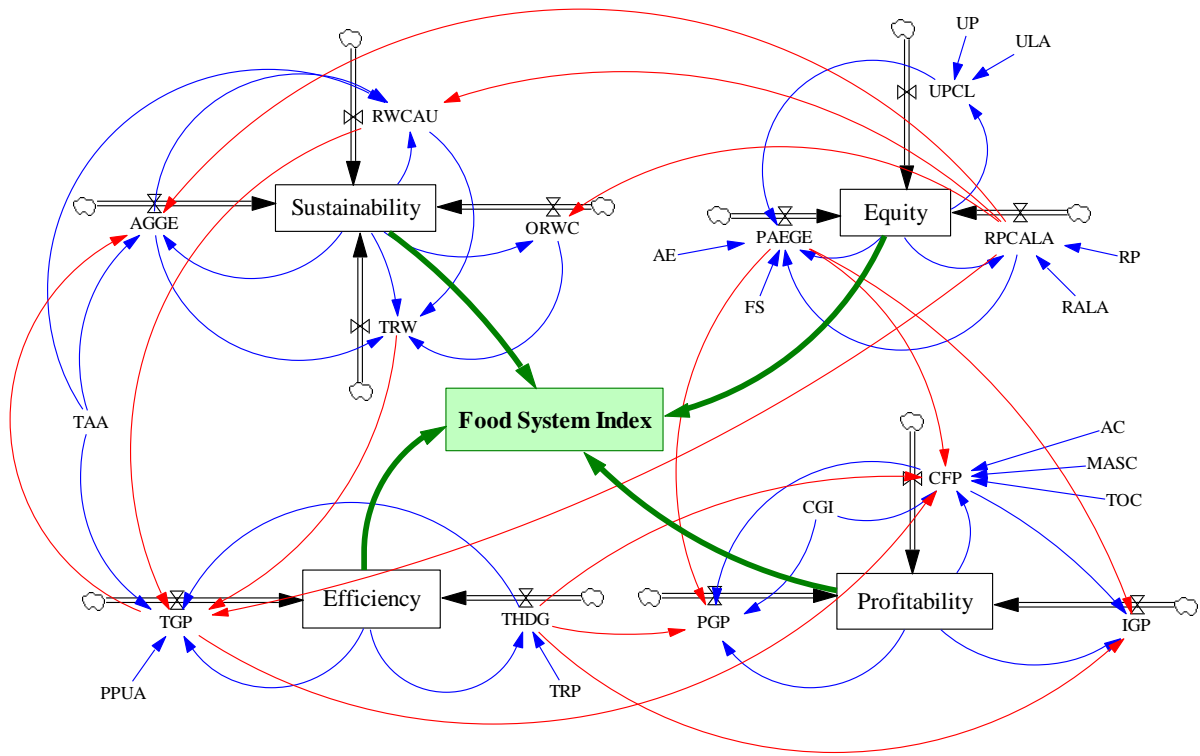


图 6.食品系统的系统动力学分析（Vensim）。

4.2 找到综合优化的水平

接下来，我们可以重复本节中提供的方法 4.1.通过改变效率、利润率、公平和可持续性的优先级，我们可以获得该组的优化解决方案数据 $A_4^3 = 24$.但是，只有优化的解决方案数据，我们无法判断哪些优先事项使食品系统运作得最好。

因此，我们从基尼系数中得到启发，提出了综合优化指数的概念 (COI)的概念，通过改写公式 (1) 来评估食品系统的效果。我们认为，数值越大 COI 值越大，越应该采用配备相应优先级的食品系统。这是一种优化系统综合的评价方法。其计算公式为。

$$COI = 100 \times \sum_{j=1}^n \pm \omega_i \tilde{u}_i \quad (9)$$

其中，包含“ \pm ”的原因是，有些二级指标对整个系统有积极影响，而有些二级指标则有消极影响。至于负作用，我们不能简单地把 COI . \tilde{u}_i 表示用最小-最大归一化方法得到的无量纲数据。其计算公式见公式 (10)：

$$\tilde{u}_i = \frac{x_i - \min_{1 \leq i \leq n} \{x_j\}}{\max_{1 \leq i \leq n} \{x_j\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{x_j\}}, \tilde{u}_i \in [0, 1] \quad (10)$$

因此 COI 的范围应该是。

$$COI \in [100 \times \text{Sum of negative index weights}, 100 \times \text{Sum of positive index weights}] \quad (11)$$

根据第二节中得到的第二个指数的权重 3.1 的区间值，本文中的 COI 的区间值在 -38.75 和 61.25 之间。我们认为，其值更接近正确端点的食品系统在综合水平上是最优化的。 COI 的值更接近右边的端点，在综合水平上是最优化的，相反，它被认为是最差的。此外，在实践中，我们不可能得到左、右端点的数值，我们只能无限期地接近它们。

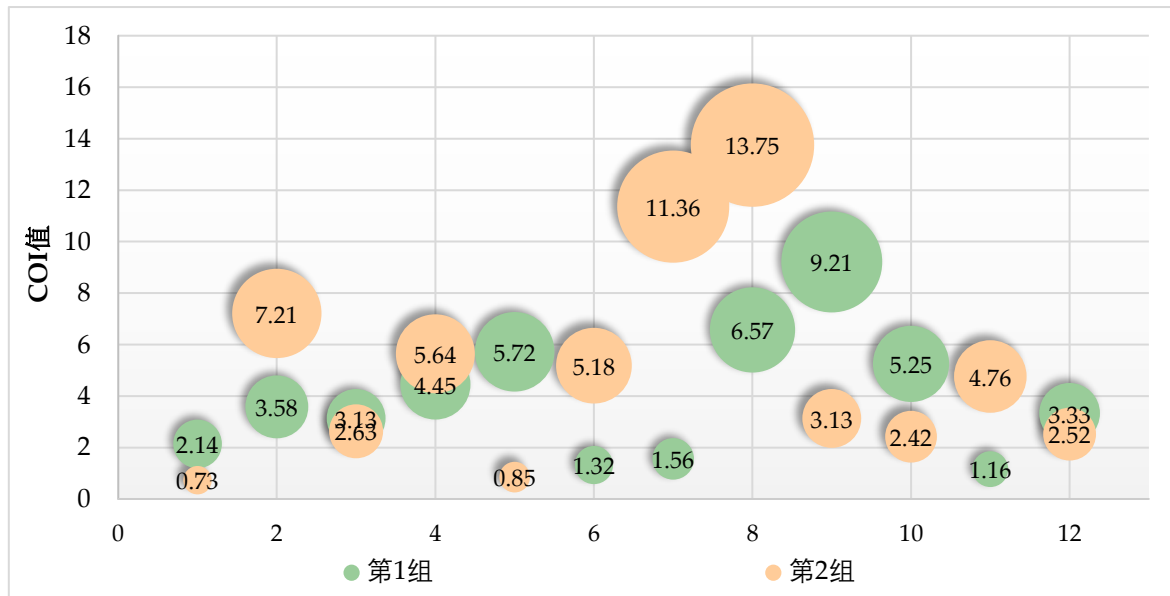


图 7. 泡沫图的 COI 价值（中国，优先分组细节见附录 A）

通过绘制热图 COI 价值的热图（如图 7 所示），我们清楚地显示出粮食系统分配的哪个优先级是最全面优化的。从高到低的顺序是：效率、公平、利润率、可持续性和 COI_{China} 等于 13.75。

4.3 实现综合优化水平的时间估计

至于达到一定水平的时间的估计方法，我们已经在章节中给出了一个完整的解决方法。3.4 中给出了完整的求解方法，在此不做不必要的赘述。我们直接参考表 5 中的优化值，给出拟合曲线的线性函数结果（见表 6）。

表 6. 指数变化曲线拟合的一阶函数表达（中国）

二级指数	功能性表达	结果 (x)	所需时间 (年)
RWCAU (x_{12})	$f_{12} = -51.95x + 2080$	9.8	4.8
UPCL (x_{21})	$f_{21} = 0.004231x + 0.01622$	8.0	3.0

对于无法获得拟合结果的指标，我们仍以 5 – 15 年，计算公式为。

$$T'_{min-China} = \frac{4.8+3+5}{6} \approx 2.1 \text{ (years)} \quad (12)$$

$$T'_{max-China} = \frac{4.8+3+15}{6} \approx 3.8 \text{ (years)} \quad (13)$$

因此，中国至少需要两到四年的时间才能达到食品系统的全面优化水平。

4.4 食品系统的收益和成本之间的差异。美国和中国案例

在上一节中，我们用带有优先因素的目标编程模型来实现粮食系统的综合优化，并以中国为例对该模型进行了求解。在这一节中，我们希望能直观地评价一个粮食系统的收益和成本。但只对一个国家的结果缺乏比较，不能说明数值大小的实际意义。因此，我们以美国为例进行模型求解，结果的热力图见图 8[3-4]。同时，我们选择了一个发展中国家和一个发达国家，这样可以使比较更加激烈，便于我们分析。

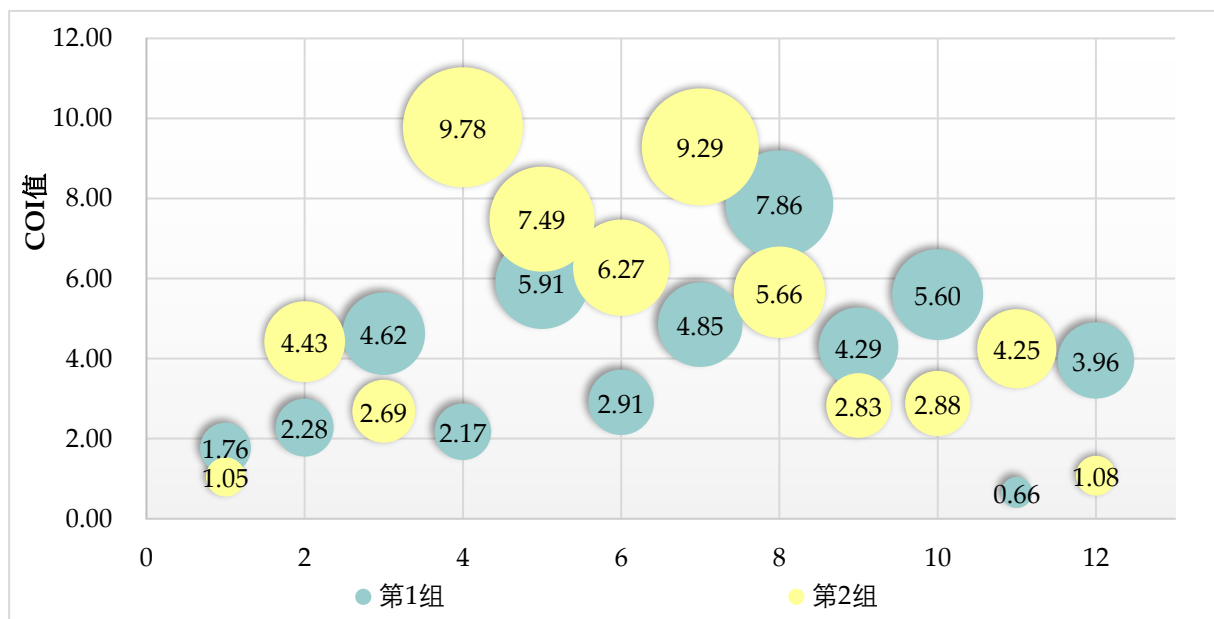


图 8. 泡沫图的 COI 价值(美国)

根据图 8，我们可以发现，美国食品系统的优化优先级从高到低的顺序是：效率、利润率、公平、可持续性和 COI_{USA} 等于 9.78。

在经济学中，帕累托优化原则为公平和效率决策提供了一个严格的标准。其中，在生产和交换的帕累托优化标准下，产品转换曲线的斜率等于消费者的冷漠曲线的斜率。消费者按照商品的边际效用付费，生产者按照商品的边际成本定价，这时我们就达到了帕累托最优和最公平的状态。这个过程的数学表示法是。

$$MRT_{xy} = MRS_{xy} \quad (14)$$

借用这个概念，生产就是农业粮食生产，交换就是市场粮食交易。在帕累托优化的情况下，粮食生产和交换的公平性在很大程度上得到了保证。

我们采用农业经济管理中的农业投资效益系数的定义(AIEC)在农业经济管理中的定义来评价一个国家（地区）粮食系统的经济效益[19]。的计算公式为 AIEC 是。

$$AIEC = \frac{\text{The added value of agricultural gross output value}}{\text{Agricultural investment}} \quad (15)$$

根据之前得到的结果，我们可以分别计算出 *AIEC* 值为 0.83 对于中国和 0.46 为美国。比较效果如图 9 所示。结果表明，与美国相比，中国的农业再生产投资可以取得更大的经济效益，这可能是由于中国大力实施“扶贫攻坚”战略而导致的农业规模迅速扩大[20]。

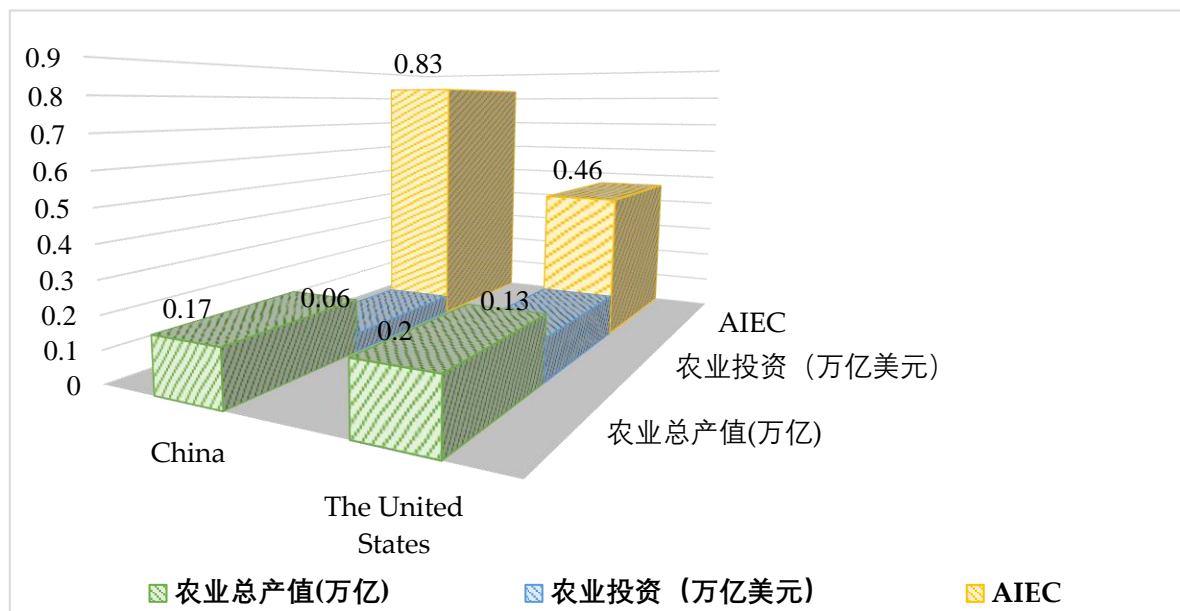


图 9.中国和美国的农业总产值、农业投资和价值比较 *AIEC* 中国和美国的价值比较

5 敏感度分析

在此，基于第四章建立的带有优先因素的客观编程模型，我们进行了不同规模的食品系统下的敏感性分析。我们的分析包括两部分：可扩展性分析和适应性分析。

5.1 可扩展性分析

我们可能会面临不同规模的粮食系统，从某个国家的一个州、省、地区等到全球范围内的大规模系统。面对这种情况，我们有必要对模型进行调整，包括对模型指标体系和约束条件的修改。

例如，如果一个用于评估一个国家范围的模型想要迁移到更大的规模，我们考虑的评估的复杂性需要包括更多的指标。如果我们想迁移到一个较小的规模，我们需要删除一些指标，因为有些指标很难衡量，甚至无法衡量。此外，如果我们想扩展到更大的范围，我们需要削弱约束。如果我们想缩小到一个较小的范围，我们需要收紧约束。示意图如图 10 所示。

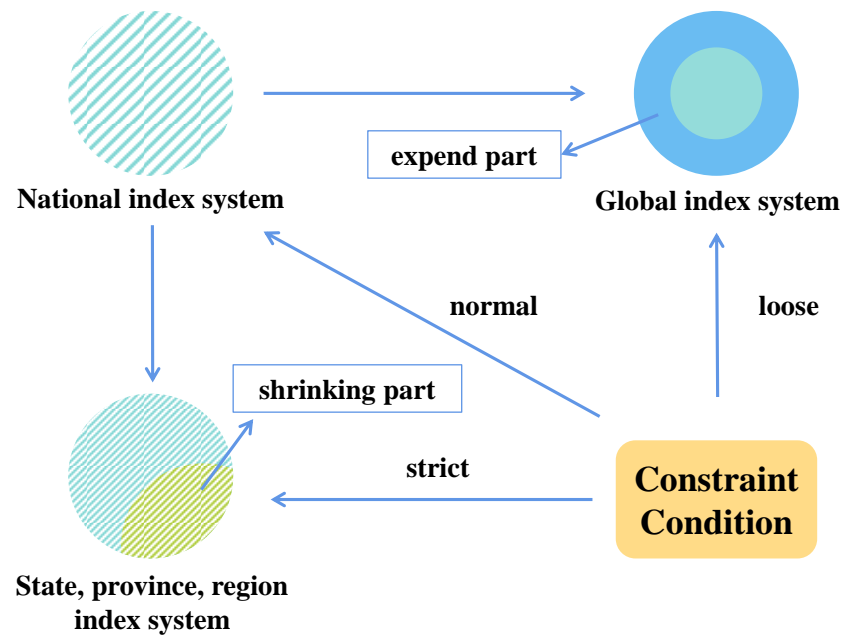
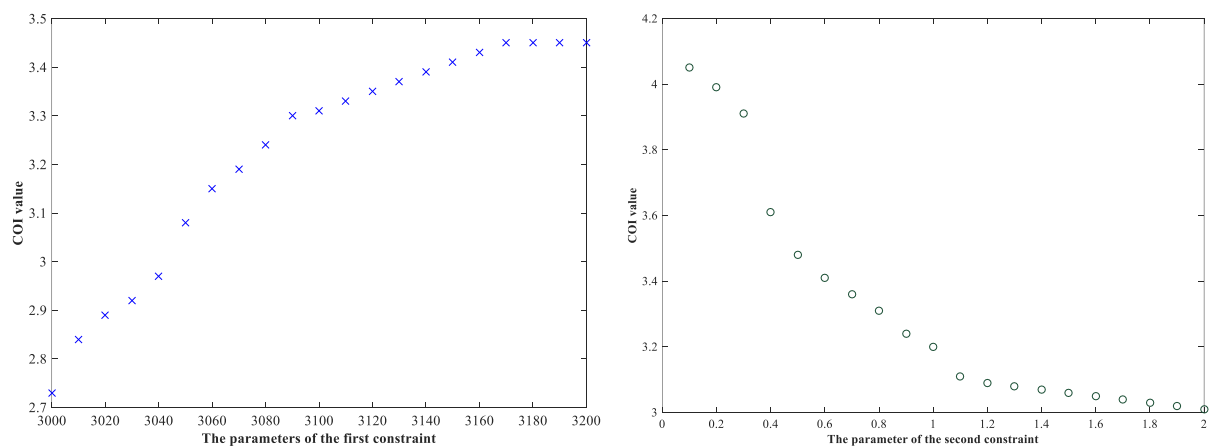


图 10. 目标编程模型的扩展方法

5.2 适应性分析

我们选择步长分别为 10 和 0.1，以改变目标规划模型中前两个约束条件的参数，并评估每个模型的 COI 各个模型的值。模型的敏感性分析结果如图 11 所示。

图 11. 带有约束参数的模型的值的曲线 COI 的变化曲线。

从上图可以看出，当参数值分别为 3160 和 1.2 时，出现了转折点。此外，随着第一个约束参数的增加，参数值不断增加并趋于稳定。 COI 值不断增加并趋于稳定。随着第二个约束参数的减少，其值不断减少并趋于稳定。 COI 值不断减少并趋于稳定。



图 12. *COI* 中国四个城市（辽宁省、北京市、上海市、四川省）的热图

下一步，我们希望将该模型应用于较小的地区，与较小的食品系统结合起来。我们在中国选择了四个有代表性的城市。辽宁省（总面积为 148000 平方公里）、北京（总面积为 16410 平方公里）、上海（总面积为 6340.5 平方公里）和四川省（总面积为 486000 平方公里）。此外，我们调整了食品系统的指数，并删除了农业温室气体排放(x_{11})。因此，这个指数不能在小范围内测量，也没有得到这个数据。

因此，我们使用带有优先级因素的目标编程模型来分别解决这四个区域的问题，并将其 *COI* 值作为热图（如图 12 所示）。结果表明，我们的模型也适用于小区域的食物系统。

6 优势和劣势

6.1 优势

1. **线性编程模型更加方便。**该模型有一个统一的算法，我们只需要修改程序参数，就可以完成对目标函数和约束条件的修改。
2. **目标编程模型可以实现对优先级的灵活调整。**该模型具有优先级因素，支持多个目标的优化，因此决策者可以决定采用哪种优先级来优化食品系统。
3. **该 *COI* 值可以为决策者提供一个直接的参考。**因为 *COI* 值显示了哪一个具有最高优先级的食品系统被优化，决策者可以选择具有最高优先级的 *COI* 值，从而实现全面优化。

6.2 弱点

1. **线性编程模型可能没有解决方案。**因为编程问题对目标函数和约束条件是严格的，在可行区域可能没有解决方案。
2. **目标编程模型具有一定的主观性和模糊性。**目标函数和权重的选择是在用户的主观判断下制定的，所以它具有一定的主观色彩。我们可以通过使用专家评分，在一定程度上减少这种主观性。

参考文献

- [1] Galimberti, A., Cena, H., Campone, L., Ferri, E., Dell'Agli, M., Sangiovanni, E., ... & Labra, M. (2020).重新思考城市和食品政策, 改善COVID-19 对城市居民的影响. *城市与区域规划*, 136 (4), 1068-1071.
- [2] Horton, S. (2006).食品营养强化的经济性. *营养学杂志*, 136 (4), 1068-1071.
- [3] Béné, C., Prager, S.D., Achicanoy, H.A.E. et al. Global map and indexes of food system sustainability.Sci Data 6, 279 (2019).
- [4] Lee, Y. D. (2014).全球粮食系统。面向2050年的饮食、生产和气候变化(博士论文)
- [5] Yang, X., Wu, Y., & Dang, H. (2017).中国的城市土地利用效率和协调。可持续性, 9 (3), 410.
- [6] Si, S., & Sun, X. (2015).数学建模算法及应用.国防工业出版社, 425-428.
- [7] Heller, M. C., & Keoleian, G. A. (2003).评估美国食品系统的可持续性: 一个生命周期的视角. *农业系统*, 76 (3)
- [8] Dalin, C., Qiu, H., Hanasaki, N., Mauzerall, D. L., & Rodriguez-Iturbe, I. (2015)。平衡中国的水资源保护和食物安全. *美国国家科学院院刊*, 112 (15)
- [9] Bhunnoo, R., & Poppy, G. M. (2020).英国食品系统转型的国家方法. *自然食品*, 1 (1), 6-8.
- [10] Zavale, H., Mlay, G., Boughton, D., Chamusso, A., Gemo, H., & Chilonda, P. (2011)。莫桑比克农业公共支出的结构和趋势。
- [11] Tijani, A. A., Oluwasola, O., & Baruwa, O. I. (2015).尼日利亚农业和经济增长中的公共部门支出。实证调查. *Agrekon*, 54 (2)
- [12] Idoko, C. U., & Jatto, S. M. (2018)。尼日利亚政府对农业的支出和经济增长 (1985-
- [13] Zhang, S., Cheng, D., Deng, Z., Zong, M., & Deng, X. (2018).一种具有数据驱动的k参数计算的新型kNN算法. *Pattern Recognition Letters*, 109, 11-14.
- [14] Cheng, D., Zhang, S., Deng, Z., Zhu, Y., & Zong, M. (2014, December).kNN算法与数据驱动的k值. In *International Conference on Advanced Data Mining and Applications* (pp. 499-512).Springer, Cham.
- [15] Yigit, H. (2013, November).一种用于KNN分类器的加权方法.In *2013 international conference on electronics, computer and computation (ICECCO)* (pp. 228-231).IEEE.

- [16] Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (2004). 运筹学：应用与算法 (第三卷)。Belmont^ eCalif Calif:Thomson/Brooks/Cole.
- [17] Paroda, R. S., & Kumar, P. (2000). 南亚的粮食生产和需求。农业经济研究评论, 13 (1) , 1-24.
- [18] Montoya, D., Gaba, S., de Mazancourt, C., Bretagnolle, V., & Loreau, M. (2020) 。调和农业景观中的生物多样性保护、粮食生产和农民需求。生态学建模, 416, 1-16. (2020, December). 非洲农业知识体系的政治经济中的教育。紧跟不断变化的环境。在 CIEA 农业教育卓越研讨会上, 对非洲的挑战, 由 Elsenburg 教育学院主办, 南非 Stellenbosch (pp.3-14)。
- [20] Liu, Y., Liu, J., & Zhou, Y. (2017). 中国农村贫困的时空模式和有针对性的扶贫战略. 农村研究杂志, 52, 66-75.
- [21] 国家统计局 <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0101>

附录

附录 A

表 1-1.食品指数体系的详细介绍

一年级指数	符号化鼻涕虫	二年级指数	符号化记号	单位	效果	注意事项
可持续发展	x_1	农业温室气体排放（AGGE）	x_{11}	(Tg CO ₂)	-	年
		可再生的农业用水量（RWCAU）。	x_{12}	(亿立方米)	-	年
		可再生水总量(TRW)	x_{13}	(亿立方米)	+	年
		其他可再生水资源消耗（ORWC）	x_{14}	(亿立方米)。	-	年
公平	x_2	城市人均土地面积(UPCL)	x_{21}	公顷/万人	+	年
		农村人均可耕地面积(RPCALA)	x_{22}	公顷/人	+	年
		农业支出占政府支出的比例 (PAEGE)	x_{23}	%	+	年
效率	x_3	粮食总产量(TGP)	x_{31}	百万吨	+	年
		家庭对粮食的总需求(THDG)	x_{32}	百万吨	-	年
盈利能力	x_4	粮食生产成本(CFP)	x_{41}	万亿美元	-	单位面积
		谷物生产的利润（PGP）	x_{42}	万亿美元	+	单位面积
		粮食生产投资（IGP）	x_{43}	万亿美元	+	单位面积

表1-2.优先权分组（第1组）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(EF,P, EQ,S)	(EF,P, S,EQ)	(EF,EQ,P ,S)	(EF,EQ,S ,P)	(EF,S, P,EQ)	(EF,S, EQ,P)	(P,EF, EQ,S)	(P,EF, S,EQ)	(P,EQ, S,EF)	(P,EQ, EF,S)	(P,S,EF, EQ)	(P,S, EQ,EF)

表1-3.优先权分组（第2组）

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(EF,P, EQ,S)	(EF,P, S,EQ)	(EF,EQ,P ,S)	(EF,EQ,S ,P)	(EF,S, P,EQ)	(EF,S, EQ,P)	(P,EF, EQ,S)	(P,EF, S,EQ)	(P,EQ, S,EF)	(P,EQ, EF,S)	(P,S,EF,E Q)	(P,S,EQ, EF)

附录 B

MATLAB 程序。线性编程模型求解 (中国)

```

c=0.05710.08390.09270.03780.05580.0579[;0.0914;;;;];
a=[0,1,-0.11000,,,,;0000 ,,,, -,110,;100000 ,0,,,,; 010000,0,,,,; 0000,1,,, -,10]; b=[-
70057000.08;;;;0] 。
aeq=010100[0,,,,]。
beq=6000
[x,y]=linprog(-c,a,b,aeq,beq,zeros(7,1))

```

LINGO 计划。目标编程模型的解决（中国）

```

模型。
套装。
level/1...3/:p,z,目标。
变量/1...2/:x。
h_con_num/1...1/:b。
s_con_num/1...4/:g,dplus,dminus。
h_con(h_con_num,variable):a;
s_con(s_con_num,variable):c;
obj(level,s_con_num)/1 1,2 2,3 3,3 4/:wplus,wminus;
末端集
数据。
ctr=?。
目标=??0;
b=12;
g=1500 0 16 15;
a=2 2;
c=200 300 2 -1 4 0 0 5;
wplus=0 1 3 1;
wminus=1 1 3 0。
终止数据
min=@sum(level:p*z);
p(ctr)=1。
@for(level(i)|i#ne#ctr:p(i)=0)。
@for(level(i):z(i)=@sum(obj(i,j):wplus(i,j)*dplus(j)+wminus(i,j)*
dminus(j))。
@for(h_con_num(i):@sum(variable(j):a(i,j)*x(j))<b(i)) 。
@for(s_con_num(i):@sum(variable(j):c(i,j)*x(j))+dminus(i)-dplus(i)
)=g(i))。
@for(level(i)|i #lt# @size(level):@bnd(0,z(i),goal(i))。
结束

```
