

面向在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程模型研究

张远馨¹, 周明², 王深艳¹, 梁珍珍³, 丁文文⁴, 王晓^{5,6}

- (1. 山东财经大学, 山东 济南 250220;
2. 中央财经大学, 北京 102200;
3. 中国人民大学, 北京 100872;
4. 北京金桐网投资有限公司, 北京 100190;
5. 青岛智能产业技术研究院, 山东 青岛 266109;
6. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 互联网与餐饮业的融合为社会带来巨大经济效益的同时, 也导致了外卖垃圾的爆发式增长。在线餐饮外卖垃圾的治理是一项涉及多主体、多层次、多因素的复杂系统工程, 需要多方参与共治。但目前无论是相关法律法规的建设、治理措施的实施, 还是理论研究, 均处于空白状态。引入与系统生态学和可持续系统工程相关的理论、方法和技术, 以层次分析法为研究方法, 提出参与治理主体的重要影响指标和发展。结合区块链技术, 基于ACP理论和知识自动化手段构建面向在线餐饮外卖垃圾的平行溯源与治理系统, 并打造一个去中心化的绿色信用平台, 一方面可调动相关主体参与治理的积极性, 以解决参与治理主体的有效协同问题, 另一方面可解决无经验借鉴和难以科学决策的难题。

关键词: 在线餐饮外卖垃圾的治理; 层次分析法; ACP理论; 智能可持续生态系统工程

中图分类号: C939

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.201921

Research on sustainable intelligent model for online catering take-out trashes

ZHANG Yuanxin¹, ZHOU Ming², WANG Shenyan¹, LIANG Zhenzhen³, DING Wenwen⁴, WANG Xiao^{5,6}

1. Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250220, China
2. Central University of Finance and Economics, Beijing 102200, China
3. Renmin University of China, Beijing 100872, China
4. Beijing Jintong Network Investment Co., Ltd., Beijing 100190, China
5. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109, China
6. State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: While the integration of Internet and catering industry has brought great economic benefits to the society, it has also led to the explosive growth of take-out garbage. The governance of online catering takeaway is a complex system engineering that greatly relates to the multi-agencies and multi-factors at various levels, and it needs efforts of supporters from all aspects of the society to positively participate. However, relevant theoretical research on processing takeaway trash is still rarely reported, as well as the policy and regulations, and implementations of corresponding measures. The theories and techniques that exist in system ecology and sustainable system engineering were introduced, and the AHP method was adopted to propose the impact indicators of the governance body participation. By incorporat-

收稿日期: 2019-07-02; 修回日期 2019-08-19

通信作者: 张远馨, zyxviki1010@163.com

基金项目: 中国科协青年人才托举工程基金资助项目 (No.2017QNRC001)

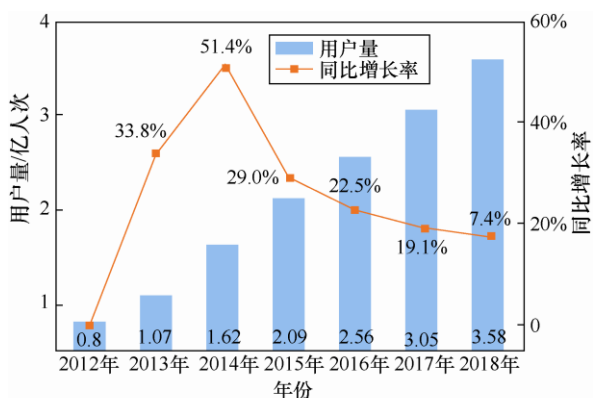
Foundation Item: The Young Elite Scientists Sponsorship Program of China Association of Science and Technology (No.2017QNRC001)

ing the blockchain technology, the parallel traceability governance system based on the ACP theory and knowledge automation for online catering takeaway garbage could provide a platform of decentralized green credit. This green credit system can arouse the initiative of relevant participating bodies for effective coordination, and can also solve the problem of no experience and making decisions difficultly.

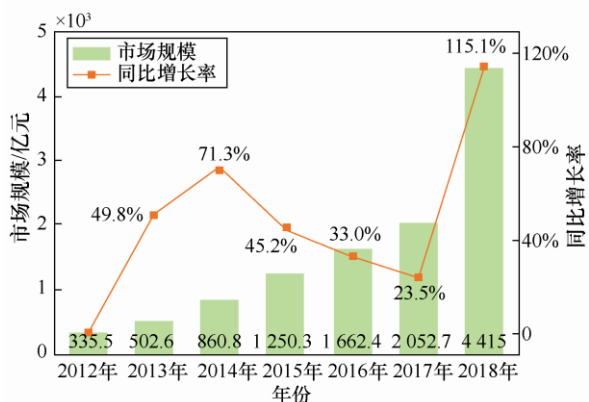
Key words: online catering takeaway trash governance, analytic hierarchy process, ACP theory, intelligently sustainable system engineering

1 引言

在线餐饮外卖是互联网与传统餐饮行业融合的结果。随着技术的进步,“新城市人”^[1]的出现使得在线餐饮外卖近几年来呈几何式增长。相关数据显示,中国在线餐饮外卖用户规模从 2012 年的 0.8 亿人次增长到 2018 年的 3.58 亿人次,增长了 3.475 倍,市场规模从 335.5 亿元增长到 4 415 亿元,增长了 12.16 倍,如图 1 所示。在线餐饮外卖已经成为当下餐饮行业的主流运营与消费模式。随着餐饮外卖互联网化渗透率的提高、送餐物流的完善,在技术发展和城市扩展等因素的共同驱动下,互联网餐饮外卖市场在未来几年内仍将维持高速增长的态势^[2]。



(a) 用户规模增长情况



(b) 市场规模增长情况

图 1 2012—2018 年中国在线餐饮外卖用户规模及市场规模增长情况

然而,快速发展的在线餐饮外卖行业在为社会带来巨大经济效益的同时,也正对人类的生存环境产生不可忽视的负外部性。据公开数据保守估算,2018 年在线餐饮外卖年订单量突破 109.6 亿单,以每单外卖用一个塑料袋、每个塑料袋面积为 0.06 m^2 计算,消耗的塑料袋可以铺满 92 064 个足球场;以每单外卖平均消耗 3.27 个一次性塑料餐盒(杯),则会产生超过 358.19 亿个废弃餐盒(杯),以每个餐盒 5 cm 高计算,其累加高度相当于 185 772 座珠穆朗玛峰。2018 年产生的在线餐饮外卖垃圾比 2015 年增长了 5.447 倍,如图 2 所示。

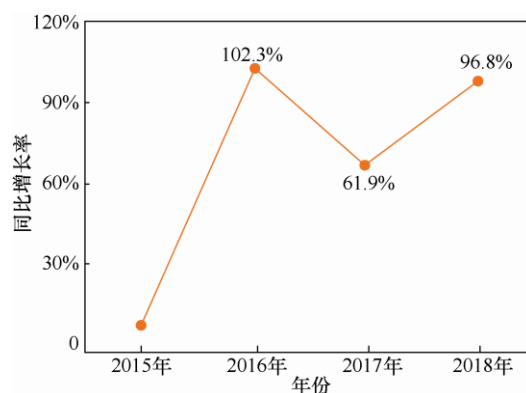


图 2 2015—2018 年中国在线餐饮外卖订单量与外卖垃圾增长情况

快速增长的在线餐饮外卖垃圾与缓慢的餐饮垃圾降解速度和滞后的治理水平形成了鲜明反差^[3]。一方面,在线餐饮外卖垃圾治理主体处于真空状态。外卖成本过度外部化导致“商家只管做、平台只管卖、小哥只管送、消费者只管吃”,外卖垃圾成为全社会的负担^[4]。随着各地市推出《生活垃圾管理条例》,外卖垃圾开始引起社会各界的关注。但外卖垃圾在一定程度上不同于城市生活垃圾,若将重点放在垃圾分类环节,不仅将导致环境治理成本落在消费者肩上,而且未能遵循“谁污染、谁治理”的公平、可持续的原则,同时也不能有效地实现减量化和资源化^[5-6]。另一方面,我国的垃圾回收体系仍处于非常粗放的发展阶段,并未形成自觉有效的回收处理体系。外卖包装垃圾含有大量的油渍,回

收成本高,价值低,因此多采取填埋的方式进行处理。填埋并不能从根本上解决问题,只是将大量的长降解周期的物质从看得见的地方转移到看不见的地方^[7],而外卖垃圾却始终循环在整个生态链中。目前在人们食用的动植物、饮用水及人体中已经检测到微塑料颗粒^[8]。如何解决在线餐饮外卖垃圾问题,不仅关系着当代人甚至后几代人的生存环境和生命健康,还存在着严重的代际公平问题^[3]。

经济发展、城市化和生活水平的提高使垃圾生产的数量和复杂程度不断增加^[9],在线餐饮外卖垃圾带来的负外部性也正引起社会各界的关注。首先,政府采取相应的措施,积极应对在线餐饮外卖引起的垃圾围城问题。我国“十三五”规划纲要明确提出“限制使用一次性用品”。2018年,《上海市生活垃圾管理条例》被列为立法项目,在包装袋、餐饮包装物回收利用制度、生产者责任延伸制度、网络订餐平台和餐饮单位使用环保餐盒以及鼓励新技术研发等方面做出规定。另外,在线餐饮外卖也引起了相关环保非政府组织(non-governmental organizations, NGO)及业界的关注。2017年9月1日,北京市第四中级人民法院受理了重庆市绿色志愿者联合会起诉百度、饿了么、美团外卖平台一案,要求外卖平台向用户提供“是否使用一次性餐具”的选项,减少资源浪费和环境污染。这一案件意义重大,不仅使消费者、外卖平台和商家意识到白色污染的严重性,而且让多方参与主体意识到治理白色污染各自需要承担的责任。

但是纵观学术界,关于在线餐饮外卖引起的相关环境问题的研究,还多以报纸、论坛为主,体系化的学术研究寥寥无几。目前的学术研究多集中于在线餐饮外卖商业模式^[10-11]、用户结构和用户行为^[12-13]、配送模式^[14]、食品安全^[15]等问题,主要反映当下在线餐饮外卖面临的自身成长性问题,尚未对在线餐饮外卖所致环境问题给予足够重视,这与在线餐饮外卖是近几年快速发展起来的新鲜事物分割不开。此外,在线餐饮外卖垃圾仍被归为城市生活垃圾,城市生活垃圾治理一直是研究热点。现有的主要研究多集中于城市生活垃圾增长^[16]、垃圾分类^[17]、垃圾处理^[18]、垃圾监管评价和效率^[19-20]、各国的借鉴经验^[21]以及激励机制^[22]等方面。虽然有大量文献关注城市垃圾的治理问题,但几乎没有文献关注在线餐饮外卖的环境负外部性和相关治理问题。主要原因在于,我国的城市垃圾处理模式仍以模仿和借鉴

发达国家为主^[23]。由于在线餐饮外卖是我国的典型现象,国外并没有将其作为城市生活垃圾管理研究的重点,因此我国还没有可借鉴的研究及治理经验。

几何式增长的在线餐饮外卖垃圾是城市垃圾管理中无法回避的新难题,亟需对其展开深入的研究。在线餐饮外卖垃圾的治理是一个涉及多因素、多层次的复杂生态系统工程,具有不确定性、复杂性、多样性。若仅从末端或者分类入手,并不能可持续地、有效地解决“垃圾围城”问题,需要多方主体参与共治。因此,本文从全供应链的角度出发,引入系统生态学和系统工程学相关理论、方法和技术,以层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)为研究方法,得出相关主体参与治理的重要影响指标和进一步探讨方向。基于相关指标,从系统层面考虑,本文提出基于ACP理论和知识自动化构建在线餐饮外卖垃圾治理的平行系统模型;从个体层面考虑,提出构建去中心化的绿色信用平台,有望推动外卖垃圾的治理。

2 概念界定及模型构建原则

在线餐饮外卖垃圾的治理是一项复杂的社会系统工程,需要选择适合我国在线餐饮外卖垃圾治理的模式与技术,这不仅是从理论到行动的体现,也是改变不可持续的生产和消费模式的必经之路。

2.1 概念界定

生态工程诞生于20世纪60年代以后,是一个多学科交叉渗透发展起来的边缘学科,它伴随着全球资源、环境、社会等危机的加剧而产生,以“加强污染防治、环境保护、资源合理利用,实现环境的相对净化”为治理的主要目标^[24]。1962年,美国著名生态学家Howard T. Odum^[25]首次提出生态工程这一概念。我国著名生态学家马世骏教授^[26]从20世纪70年代开始研究生态系统和生态工程等问题,创建了中国生态工程学说。随后,熊文愈教授^[27]提出,生态系统工程是以系统的认识和系统的分析为基础,以工程方法为手段的学科,它的概念、理论和方法论源于系统生态学和系统工程学。

“可持续”是指一种可长久维持的状态或过程。人类社会的可持续性由生态可持续性、经济可持续性和社会可持续性三部分组成。“可持续”可引申为“可持续发展”,其定义众多^[28],而被普遍认同的是1978年《布伦特兰报告》中提出的“既满足当代人的需求,又不损害后代人满足其需求的能力”^[29],其

本质上是寻求经济与环境生态之间的动态平衡^[30],使经济系统向稳定方面逼近的一系列现实步骤。

在线餐饮外卖作为互联网发展催生出的新经济业态,是指以互联网为媒介,以网站、QQ、MSN、网络电话等工具进行线上订餐,使消费者足不出户就能享受到美味健康的外卖美食。外卖垃圾则是伴随着在线餐饮外卖的快速发展而出现的一种副产物,主要包括餐余垃圾、塑料垃圾、纸质垃圾、木质垃圾等。外卖垃圾的几何式增长已成为当下亟需重视的环境问题。因此,在围绕其构建生态系统的同时,更应该保证其运作的可持续性,以实现外卖垃圾治理系统内部经济、生态、社会三大子系统的协调长久发展。为此,在外卖垃圾治理生态系统中,以纳入各参与治理主体,构建供应链闭环为实例,使各主体的环保行为能量能够通过供应链闭环流动,在正反馈的良性循环下,实现经济、生态、社会效益的共赢,最终维持外卖垃圾治理生态系统工程的可持续性发展,具体如图 3 所示。

面向在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程包括几个方面。首先,将系统生态学、系统工程学及可持续概念引入在线餐饮外卖垃圾治理这一课题,并构建外卖垃圾治理可持续闭环供应链。根据我国社会经济背景和外卖消费群体的特点,在促进在线餐饮外卖与自然界之间良性循环的前提下,充分发挥各环节的生产潜力,使治理过程中各参与主体的环保行为产生的能量沿闭环供应链循环流动,已达到系统整体的经济、生态和社会效益协同、长远发展的目标。其次,在闭环供应链内部,通过定性和定量相

结合的方法,对在线餐饮外卖垃圾治理参与主体(外卖包装生产商、商家、外卖平台、消费者、回收端、政府等)的影响因素进行分析评价。最后,结合区块链技术、基于 ACP 理论和知识自动化手段,构建面向在线餐饮外卖垃圾的平行溯源与治理系统,从而有效地推动外卖垃圾问题的解决。

2.2 模型构建原则

在线餐饮外卖及其产生的垃圾的特殊性决定了其治理不能照搬一般的生态环境评价指标与方法,若使智能可持续的生态系统工程的构建建立在科学、可行的基础上,就必须明确其构建的基本原则。其基本原则应包括以下几个方面。

(1) 目的性与可控性

不同于自然生态系统,在线餐饮外卖垃圾治理系统属于典型的人造系统,对其设计需要具备目的性和可控性。在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程是对在线餐饮外卖行业进行再造的系统工程,其主要目的是在在线餐饮外卖与自然界之间良性循环的前提下,充分发挥各环节的生产潜力,防止环境污染,实现经济、生态、社会三大效益的协调与统一。能否实现这一目的是可持续生态系统工程成败的关键,因此构建在线餐饮外卖垃圾治理系统的核心问题是生态系统工程目标的实现程度及其效果。可控性主要体现在当生态系统工程的功能开始减弱或无法适应外部环境变化时,可以采取相应的手段对其实施改造,从而恢复和强化既有的系统功能。

(2) 循环再生与自组织性

可持续生态系统是一个自我组织和自我设计

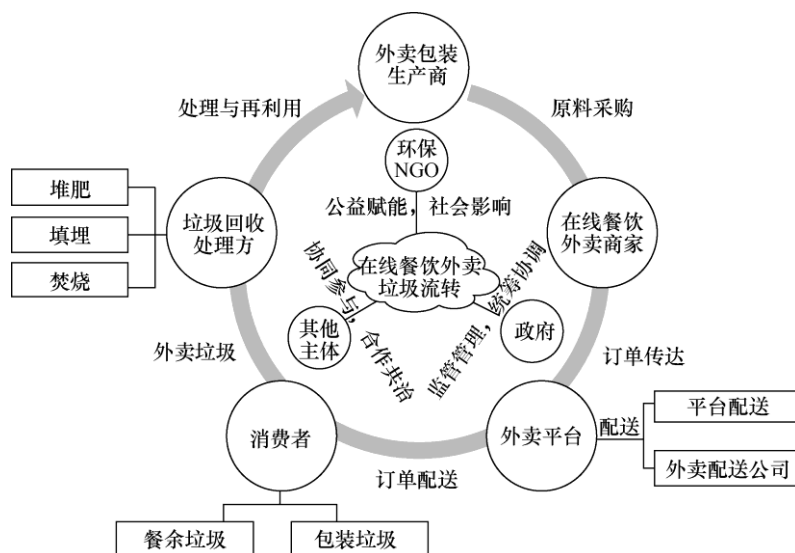


图 3 在线餐饮外卖垃圾流转示意

的系统。循环再生是生态系统工程的自组织机制,它要求运用生态学规律,而非机械论规律来指导人类的社会经济活动。自组织性使得生态系统工程中的利益相关者既共生又独立承担责任,并通过自组织活动增强自身生命力,实现经济、生态、社会效益的协调发展。循环再生与自组织行为是维持系统结构、功能和过程稳定性的原则,也是保证生态系统工程自进化和可持续的重要前提。

(3) 耗散性与动态性

基于在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程是一个半开放或全开放的生态动态系统,系统中的每个子系统通过不断变化运动,构成了整个系统宏观上的稳定结构。为了维持宏观上的稳定,系统通过“耗”与“散”不断与外部交换能量,即通过吸收、转换、排出向外辐射经济、科技能量。另外,由于该生态系统工程与环境动态交互,其运行条件、方式等都需要不断地适应外部环境,保持系统内外的平衡。

(4) 整体性与协调性

在设计该生态系统工程时应充分考虑经济、生态、社会效益三者的关系,还要考虑社会习惯和法律法规对生态工程设计的影响。只有应用整体性原理,才能保障生态系统的平衡及可持续。另外,充分考虑人工生态系统内部各成分之间的结构,协调系统各部分的关系、比例,实现能量、物质、信息等因素的转换和流通,使整体功能大于各部分之和。

3 在线餐饮外卖的供应链分析

在线餐饮外卖垃圾的治理是一个多层次、多因素交织的复杂生态系统,需要从全方位、全链条的角度考虑,从源头的产生减量到中端的垃圾分类处置,再到末端的环境治理,综合形成完整的“闭环”模式。

目前,针对在线餐饮外卖垃圾的学术研究成果寥寥无几,而披露各企业环境污染情况的数据库也存在信息不全、可靠性差等问题,加之在线餐饮服务尚属新兴业态,很难通过定量研究的方式构建在线餐饮外卖垃圾治理的可持续生态系统工程模型。层次分析法是由美国运筹学家、匹兹堡大学教授萨蒂^[31]于20世纪70年代初期提出的一种测量理论。它将评价对象或待解决的问题视为一个系统,根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解成不同的组成要素,并按照要素间的相互关联度及隶属关系,将要素按不同层次聚集组合,从而形成一个多层次的分析结构系统^[32]。

层次分析法是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法,尤其适用于难以完全用定量方式进行分析的复杂问题。综合考虑逻辑性、系统性、简洁性和实用性等多方面因素,本文通过层次分析法,得出在线餐饮外卖垃圾治理的参与主体的重要影响指标。

3.1 基于 AHP 的参与治理主体的重要影响指标体系构建

(1) 指标体系的设定

面向在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程模型构建涉及多方面的因素,需要全面考虑各因素对系统构建的影响,建立一套相对科学合理的指标体系,从而使得评价过程更加合理。因此,指标体系的构建在满足在线餐饮外卖垃圾治理智能可持续生态系统工程模型基本原则的情况下,还应考虑到各个评价指标要尽可能互不影响,同时在全面反映网络系统的情况下,尽可能地减少指标数量,并对所选指标进行定量描述,使评价结果公正、科学、客观、全面。

(2) 指标选择说明

在线餐饮外卖垃圾的治理效果与供应链体系中各个环节的参与主体的协同治理息息相关。可持续性供应链体系以外卖包装生产端、餐饮商家、外卖平台、消费者、垃圾回收处理方、政府、环保 NGO 七大主体为供应链关键环节,各宣传媒体、网络“大 V”、行业协会、科研机构等主体贯穿可持续供应链始终,并连接着七大关键环节,如图4所示。

3.2 基于 AHP 的在线餐饮外卖供应链的参与主体对象分析

本文从外卖垃圾治理现状及问题出发,将七大参与主体设置为准则层,初步尝试从观念意识、目标规划、实际措施、行动效力、外部评价等方面综合评估七大参与主体的绿色程度,进而反映出各主体在可持续供应链中的重要程度和其发挥的作用,并对供应链闭环的可持续性进行评估,从而为构建面向在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程模型奠定基础。

(1) 在线餐饮外卖包装生产商

在线餐饮外卖包装生产商处于可持续供应链的“源头”,外卖垃圾回收效果和循环利用率与源头的包装生产环节息息相关。因此,本文从绿色观念、实际行动、环保效率、外部评价4个方面出发,设计12个指标对外卖包装生产主体在供应链中的

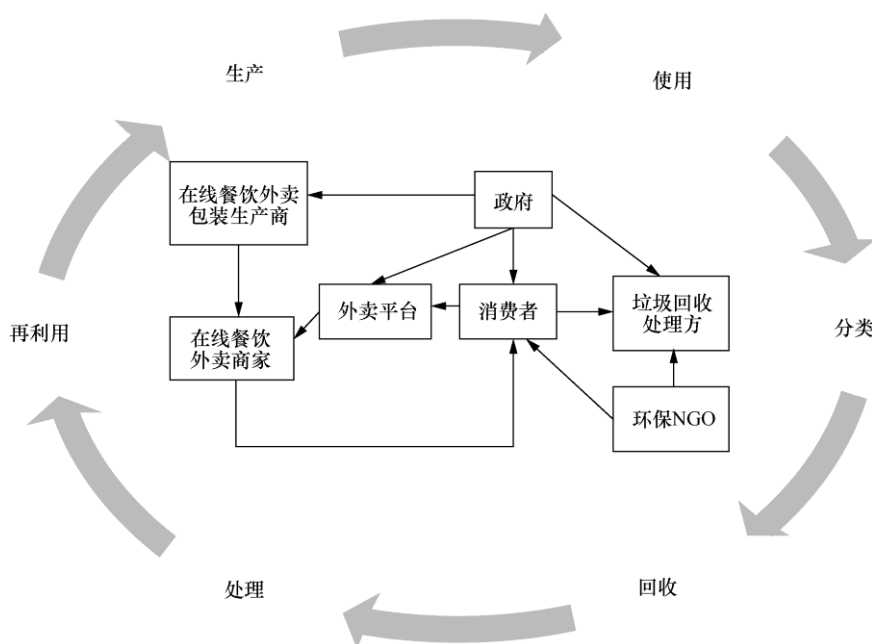


图 4 面向在线餐饮外卖垃圾治理的可持续性供应链体系

可持续性进行评价。具体指标如下。

首先，解决在线餐饮外卖垃圾问题，需要外卖包装生产商增强自身的绿色观念，确保产品的环保性和绿色经济性。笔者选择战略规划“环保”频次、预计环保技术研发支出、绿色供应链延伸度 3 个指标衡量外卖包装生产商环保绿色观念的强弱。其中，绿色供应链延伸度主要通过外卖包装生产商与餐饮商家达成合作计划；与垃圾处理商合作，建立原料回收再利用系统；积极争取政府对外卖包装产业的财政支持等。

其次，可持续生产要确保产品的安全性和生产过程的环保性。实际行动主要包括生产过程的可持续性、环保外卖包装的普及程度、生产者责任延伸 3 个子指标。生产过程的可持续性体现在安全性、经济性、环保性方面；环保外卖包装的普及程度主要通过环保材质餐盒成交量、是否主动生产、是否主动与餐饮商家或外卖平台合作等方面进行衡量；生产者责任延伸主要体现在明确印刷企业标识便于各主体追责和市场监管，并对包装物的回收方法及环境污染程度做出详细说明。另外，环保效率主要通过空气污染程度、水污染程度、资源回收利用率 3 个子指标进行衡量。

另外，为了客观、有说服力地对外卖包装生产商在整个外卖垃圾治理可持续供应链体系中发挥的作用进行评价，本文从商家评价、居民评价、消

费者评价 3 个维度进行衡量。商家评价以餐饮商家对绿色环保包装价格的接受程度和打包效果满意程度为标准；居民评价以厂商生产是否破坏生活环境为标准；消费者评价以外卖消费者对包装安全性、清洗的难易程度和二次利用率为评价标准。

(2) 在线餐饮外卖商家

在线餐饮外卖商家处于在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链的中部，是在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链各环节不断发展延伸的原动力。因此，本文从外卖餐饮商家的环保意识、实际行动、外部评价 3 个方面出发，设计 8 个指标对在线餐饮外卖商家在供应链中的可持续性进行评价。具体指标如下。

首先，在线餐饮外卖商家的环保意识主要通过平台环保计划、线上环保服务、环保宣传力度 3 个指标衡量。其中，外卖商家通过加大对产品环保元素的宣传力度，可以促进消费者选择无油、少汤类食品，从而减少一次性包装的使用量。

其次，根据 2017 年国家食品药品监督管理总局发布的《网络餐饮服务食品安全监督管理办法》，餐饮企业应加大对烹饪流程和烹饪作料的公开力度，以改善外卖菜品的多油多汤问题；通过宣传激励消费者使用环保外卖包装或不使用餐筷等行为，推动解决食品安全问题和环保问题。因此，本文选择烹饪流程可持续性、消费者激励程度、环保餐具使用率 3 个指标衡量在线餐饮外卖商家的环保行动力度。

另外,为了对在线餐饮外卖商家进行客观评价,本文从平台评价、消费者评价2个维度进行衡量。平台评价以外卖平台对合作餐饮商家的食品质量和配送餐具环保程度的抽检结果为标准,消费者评价以订餐者对食品满意程度和外卖包装满意程度为标准。

(3) 外卖平台

外卖平台作为餐饮商家和消费者的连接枢纽,发挥着重要的媒介作用。因此,本文从外卖平台的环保观念、激励行动、效果评估3个方面出发,设计了7个指标对外卖餐饮商家主体在供应链中的可持续性进行评价。具体指标如下。

首先,在线餐饮外卖平台的环保观念主要通过平台环保计划、环保宣传力度、线上环保服务3个指标衡量。平台环保计划主要体现在有无定期发布明确的环保计划、是否有专门的环保业务部门以及环保支出或环保基金。环保宣传和线上环保服务则通过每月环保活动的开展频次与在线环保选择、绿色标记反映。

其次,外卖平台制订的环保计划促进了外卖包装的减量化和环保化。本文选择绿色供应链延伸度、消费者激励2个指标评价外卖平台推动供应链可持续层面的激励行为。绿色供应链延伸度包括外卖平台与外卖包装厂商合作,寻求新的包装解决方案,从源头上减少外卖餐盒的废弃;与垃圾处理端厂商合作,建立垃圾回收与循环利用试点,提高餐具循环利用率。消费者激励包括与基金会、社会环保公益组织合作,开展线上激励消费者使用环保餐具、培养用户环保意识的环保公益活动。

最后,从餐饮商家评价、消费者评价2个维度出发,对外卖平台在整个外卖垃圾治理可持续供应链体系中发挥的作用提供客观、有说服力的外部评价。

(4) 消费者

消费者是在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链的主要参与者,其行为直接或间接地影响着外卖垃圾的回收利用率和回收效果。因此,从消费者的责任意识、环保行动2个方面出发,设计5个指标对消费者主体在供应链中的可持续性进行评价。具体指标如下。

首先,增强消费者责任意识是促进在线餐饮外卖垃圾分类和减量的有效方式。因此,本文选择消费频率和增速、平台“环保”搜索指数、餐饮习惯

绿色程度3个指标衡量消费者的环保责任意识。其中,搜索指数通过平台各消费者对“环保”等相关词汇搜索量来体现。

其次,消费者的分类回收行为是解决在线餐饮外卖垃圾问题的根本。本文选择消费者环保活动参与度、外卖垃圾处理合规程度2个指标衡量消费者在可持续供应链体系中采取的环保行动力度。其中,外卖垃圾处理合规程度通过外卖餐盒的预处理程度、餐余垃圾和包装是否进行分类投放来反映。

(5) 垃圾回收处理方

垃圾回收处理方是实现在线餐饮外卖垃圾无害化、资源化处理的关键环节。目前很多成熟的研究把垃圾回收处理这一角度作为切入点^[33-36]。因此,结合该类主体的特点,从可持续规划、处理行动、环保效率、外部评价4个方面入手,共设计12个子指标衡量垃圾回收处理方在供应链体系中发挥的可持续作用。

首先,将垃圾回收处理方资源消耗与污染物减排指标、能源与温室气体减排指标、绿色供应链延伸度3个指标作为衡量该主体的可持续规划。具体表现为行为主体从事与外卖相关的活动时,是否将该行为引起的能源消耗、环境污染等后果考虑在内,是否积极与上下游达成合作,延伸其绿色供应链等。

其次,只有消费者丢弃外卖垃圾时做好初步清理工作,回收端在后期处理时积极引进科学方法,并有效降低人工处理成本,才能更好地为从实际行动中构建的可持续供应链提供帮助。为此,本文选择人工处理成本占比、科学环保技术投资、垃圾生产端激励行动3个指标来衡量垃圾回收处理方在处理行动中体现出来的绿色程度。

再次,在线餐饮外卖垃圾对环境造成的污染主要体现为焚烧过程中造成的空气污染和填埋过程中渗沥液造成的水污染。为此,本文选择空气污染程度、水污染程度、资源回收利用率3个指标衡量该主体在外卖垃圾处理过程中的环保效率。

最后,居民满意度、政府满意度仍作为外部评价的指标。同时,考虑到与垃圾处理效力评价体系相关的文献研究均将景观生态学中的“景观指数”作为衡量指标^[37-38]，“景观指数”能够反映在垃圾处理过程中,是否能够适应周边环境,满足视觉舒适度等因素,因此本文也将其纳入指标体系。

（6）政府

政府以其监督管理、财政投入、统筹协调等职能在整条供应链中处于关键治理主体地位。基于这一特殊职能背景，本文从环境营造、治理体系、治理行动、治理效果、外部评价 5 个方面（共计 17 个指标）入手对政府主体在供应链中的绿色程度进行评价。具体指标如下。

首先，政府积极发挥其信息公示、宣传教育等职能^[39]，加深供应链中各主体的环保意识，可有效解决环境负外部性问题。为此，本文选择监管信息公开指数（PITI）^[40]、教育宣传力度、群众意见征询 3 个指标来反映政府加强各主体深化外卖垃圾治理重要性在环境营造方面的力度。

其次，由于外卖垃圾治理这一行为本身具有公共产品的属性，也需要政府通过完善相关政策、法律法规^[41]明确各主体权责^[42]，披露环境污染信息，建立健全治理体系，实现整条供应链作用的有效发挥。因此本文以法律法规完善度、供应链关键环节识别程度、检索机制完善程度 3 个指标来评价政府在外卖垃圾治理体系的绿色程度。

再次，政府可通过税收、补贴、产业扶持等激励手段和规范各主体行为等治理手段，维持在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链体系的运作。因此，本文选择了节能环保支出占比、行业扶持力度、环保基建力度、整改督促力度、与环保 NGO 合作力度 5 个指标评测政府主体的实际治理行动。结合在线餐饮外卖垃圾主要集中在餐余垃圾、塑料包装垃圾的特点，选择餐余垃圾无害化处理占比、空气污染缓解比例、白色污染减量化效果 3 个指标来评测政府治理效果。

除此之外，本文选择居民满意度、NGO 满意度、国内外借鉴频次 3 个外部评价指标对政府主体在整个外卖垃圾治理可持续供应链体系中发挥的作用进行评价。

（7）环保 NGO

环保 NGO 通过其“公益赋能”特点在供应链体系中发挥社会影响和引导实践的双重作用。鉴于环保 NGO 本身的环保属性，本文并没有从其他主体角度（诸如绿色观念、环保行动等）进行考量，而是从生态链贡献、环保宣传（宣传活动是环保 NGO 发挥其作用的主要手段，因此以月活动次数作为衡量标准）、社会影响力 3 个方面（共计 5 个指标）进行衡量。具体指标如下。

首先，为了反映可持续供应链中环保 NGO 的

贡献度，本文从数量和质量 2 个方面进行考察。数量方面选取社会环保 NGO 数量作为指标，但鉴于并非所有环保 NGO 都能定期展开环保宣传活动，甚至有些组织生命周期极短，无持续性可言，本文在数量的评判上以官方注册的权威环保 NGO 为主。在质量方面，选择环保活动支出和供应链合作数量作为指标，一是能反映其实际贡献，二是能反映环保 NGO 在供应链中连接纽带的作用。

其次，受重庆市环保组织行动产生的社会影响力的启发，环保 NGO 举办的活动能否引起可持续供应链主体的关注，并对各主体的行为产生影响、增强其环保意识、促进其行为转变是极具参考价值的衡量方向。可以从环保 NGO 行动的实际效力的角度对其绿色程度进行衡量。为此，本文选择重大影响事件前后关注度变动以及各主体行为影响程度 2 个指标反映其社会影响力。

4 在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链的指标分析

4.1 指标体系说明

根据上述分析，确定在线餐饮外卖垃圾治理供应链可持续性评价的整体指标体系分为 4 层：目标层、准则层、子准则层和指标层。指标体系构成见表 1，该评价指标体系涵盖了在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链层面的主要指标，基于外卖包装生产商、餐饮商家、外卖平台、消费者、政府、垃圾回收处理方、环保 NGO 7 个主体，以社会、经济、生态效益的协同发展为目标，充分考虑了各个环节常用的技术指标、社会指标、经济指标、生态指标来衡量各个参与主体的绿色程度，体现了指标体系构建的全面性与科学性。

4.2 在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链指标权重确定

在专家对指标体系评分的基础上，本文运用层次分析法确定各指标权重，并对模型进行求解。具体算法如下。

第一，构建判断矩阵。判断矩阵的构建基于专家对指标体系的评分，将每一层次各指标的相对重要性用数值形式表示出来，通常取 1, 2, 3, ..., 9 及它们的倒数作为标度（规定 A 与 B 比较得分为 x ，反之，B 与 A 比较的得分为 $1/x$ ），通过对上一层次某要素及同一层次要素进行两两比较，可建立起一个 n 阶判断矩阵，计算最大特征值和其对应的特征向量。

表 1 在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链指标体系

目标层	准则层指标	子准则层指标	指标层指标
在线餐饮外卖垃圾治理的 供应链可持续性	外卖包装生产商	绿色观念	战略规划“环保”频次
			预计环保技术研发支出
			绿色供应链延伸度
		实际行动	生产过程的可持续性
			环保外卖包装普及程度
			生产者责任延伸
		环保效率	水污染程度
			资源回收利用率
			空气污染程度
		外部评价	商家评价
			居民评价
			消费者评价
	在线餐饮外卖商家	环保意识	平台环保计划
			线上环保服务
			环保宣传力度
		实际行动	环保餐具使用率
			消费者激励程度
			烹饪流程可持续性
		外部评价	平台评价
			消费者评价
	外卖平台	环保观念	平台环保计划
			线上环保服务
			环保宣传力度
		激励行动	绿色供应链延伸度
			消费者激励
		效果评估	餐饮商家评价
			消费者评价
	消费者	责任意识	消费频率和增速
			平台“环保”搜索指数
			餐饮习惯绿色程度
		环保行动	环保活动参与度
			外卖垃圾处理合规程度
垃圾回收处理方	垃圾回收处理方	可持续规划	资源消耗与污染物减排指标
			能源与温室气体排放指标
			绿色供应链延伸度
	处理行动	处理行动	科学环保技术投资
			人工处理成本占比
			垃圾生产端激励行动

(续表)

目标层	准则层指标	子准则层指标	指标层指标
在线餐饮外卖垃圾治理的 供应链可持续性	垃圾回收处理方	环保效率	水污染程度
			空气污染程度
			资源回收利用率
		外部评价	居民满意度
			政府满意度
			景观指数
	政府	环境营造	监管信息公开指数 (PITI)
			教育宣传力度
			群众意见征询
		治理行动	节能环保支出占比
			行业扶持力度
			环保基建力度
			整改督促力度
			与环保 NGO 合作力度
		治理体系	法律法规完善度
			供应链关键环节识别程度
			检索机制完善程度
	环保 NGO	治理效果	餐余垃圾无害化处理占比
			空气污染缓解比例
			白色污染减量化效果
		外部评价	居民满意度
			环保 NGO 满意度
			国内外借鉴频次
		生态链贡献	社会环保 NGO 数量
			供应链合作数量
			环保活动支出
		环保宣传	月活动数
		社会影响力	各主体行为影响程度
			重大影响事件前后关注度变动

标度含义见表 2, 其中, B_{ij} 代表选项 B_i 与选项 B_j 相比的重要程度。

第二, 计算权重向量。计算权重向量的目的是发现决策问题的规律性, 通过计算权重向量, 得到 $\lambda_{\max}$ 后, 权重向量还需通过一致性检验。本文采用合计法计算权重向量, 即先将列向量归一化, 对得到的新矩阵求和, 再将矩阵归一化, 得到权向量。对应的 $\lambda_{\max}$ 由式 (1) 计算获得。

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{W} = \lambda_{\max} \cdot \mathbf{W} \quad (1)$$

表 2 判断尺度

判断尺度 (B_{ij})	定 义
1	B_i 和 B_j 一样重要
3	B_i 比 B_j 稍微重要
5	B_i 比 B_j 比较重要
7	B_i 比 B_j 十分重要
9	B_i 比 B_j 绝对重要
2、4、6、8	介于上述两个相邻判断尺度中间值

其中, A 为原始判断矩阵, W 为计算获得的权向量。

第三, 计算并检验一致性指标。一致性指标的计算式如下。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

通常, CI 越大, 说明判断矩阵的一致性越强, 判断矩阵的构建越趋于合理。由于判断矩阵可能受随机偏离的影响, 引入一致性比率 CR , CR 的计算式如下。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

其中, RI 为平均随机一致性指标。若 $CR < 0.1$, 表明判断矩阵通过了一致性检验, 反之, 则未能通过一致性检验。 RI 的大小与判断矩阵阶数相关, 阶数越大, RI 值越大, 出现随机偏离的可能性也越大, 见表 3。若判断矩阵通过了一致性检验, 则可确认 $\lambda_{\max}$ 对应的权重向量。

表 3 平均随机一致性指标 RI 标准值

矩阵阶数	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

从上述计算步骤可以看出, 层次分析法的优点是将定性分析与定量分析有机结合, 适用于以定性分析为主的决策问题。专家评分法的关键步骤是成立在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链指标评价体系的专家组。首先, 由课题组成员分别邀请供应链七大参与主体的专家和学者 (共计 21 位); 向上述专家和学者发放“基于在线餐饮外卖垃圾治理的可持续生态系统工程模型构建”评分表, 请专家和学者通过邮件等方式, 对各指标进行打分; 其次, 回收并汇总评分表, 根据专家和学者的打分结果, 求出各指标的分值平均分数; 然后, 根据层次分析法计算各指标权重与平均得分, 计算出在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链上各主体的总得分。

第四, 求解各指标的权重。为确定准则层、子

准则层与指标层各指标的权重, 根据层次分析法的建模原则, 对各指标层、子准则层与准则层指标, 采用专家评分法建立判断矩阵, 按照层次分析法的相关计算方法, 用和积法求出各个指标权重, 再按照一致性原则进行检验。

第五, 分析计算结果。根据计算结果得到在线餐饮外卖垃圾治理可持续供应链七大参与主体权重分布, 如图 5 所示 (数据经过进行了均值处理, 并通过模糊处理保留了 4 位小数, 原数据权重之和为 1)。

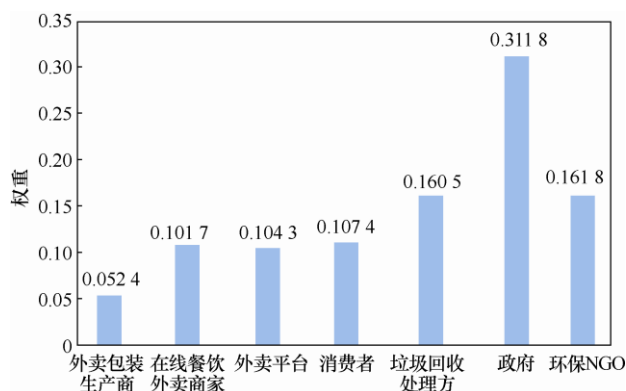


图 5 在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链七大主体权重分布

在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链指标评价体系各指标权重汇总见表 4。其中, 层次总排序一致性检验如下。

$$CI = 0.0524 \times 0.0690 + 0.1017 \times 0.0942 + 0.1043 \times 0.0056 + 0.1074 \times 0 + 0.3118 \times 0.0715 + 0.1605 \times 0.0550 + 0.1618 \times 0.0420 = 0.0842 < 0.1$$

$$RI = 0.0524 \times 0.9 + 0.1017 \times 0.58 + 0.1043 \times 0.58 + 0.1074 \times 0.58 + 0.3118 \times 1.12 + 0.1605 \times 0.9 + 0.1618 \times 0.9 = 0.8682$$

$$CR = CI/RI = 0.0842/0.8682 = 0.09698 < 0.1 \quad (4)$$

4.3 结果分析与探讨

(1) 对准则层指标的情况分析

准则层的权重排名分别为政府、环保 NGO、垃圾回收处理方、消费者、外卖平台、餐饮商家、外卖包装生产商。从图 5 中的数据可以发现, 在七大一级指标的排名中, 位于两端的政府 (0.312, 以下权重均四舍五入至小数点后三位) 和外卖包装生产商 (0.052) 出现极端值, 与中间 5 组数据数值相差较大, 而中间 5 组数据自身权重差值较小, 其重要程度相近。

首先, 政府作为贯穿于整条供应链的关键主体, 是促进在线餐饮外卖垃圾治理的可持续供应链向绿色化、循环化、常态化发展的保障。根据表 4, 政府权重为 0.312, 远高于其他六大参与主体。其通过法律法规、财政补贴、教育宣传、规范监督、治理评

价等手段促进在线餐饮外卖垃圾治理的供应链的良性循环发展,从而从底层推动在线餐饮外卖垃圾的治理。其次,垃圾回收处理方是实现在线餐饮外卖垃圾减量化、无害化、资源化处理的关键环节,其权重为 0.161,在整条供应链中处于次重要地位。这与垃圾回收处理带来的社会、经济、生态效益密不可分。然后,在线餐饮外卖商家、消费者、外卖平台、环保 NGO 四大参与主体处于供应链的中游,是链接供应链各环节的纽带,四大指标的权重值相近,均大于 0.1。其中消费者相比其他三大参与主体而言权重更高,原因在于消费者作为买单者在源头减量、中端分类、促进外卖餐盒的优胜劣汰及外卖平台的环保行动等方面发挥着积极作用。最后,处于全供应链上游的外卖包装生产商是整条供应链的源头,其以包装生产者身份参与整条供应链,理应给予相对较高的权重。但是就目前而言,一方面可替代的外卖包装以

可降解包装材料为主,成本至少为目前塑料制品的 2.5 倍,难以推广;而以隔水软纸替代塑料容器却面临不可再生利用,且增加了废纸分选的难度,最后只能增加焚烧量,降低回收率。另一方面,外卖包装生产商仅仅起到了按需提供产品的职责,下游的消费者对其感知力较弱,故在整条供应链中未起到决定性作用,其权重仅占 0.052。

(2) 对子准则层指标的情况分析

子准则层指标对应相应的准则层指标(七大参与主体),权重越大,绿色程度越高。根据表 4 的数据,各主体对应的子准则层指标中权重排在第一位的分别是:政府(治理效果 0.103)、消费者(环保行动 0.083)、环保 NGO(社会影响力 0.082)、垃圾回收处理方(环保效率 0.058)、餐饮商家(实际行动 0.055)、外卖平台(效果评估 0.049)、外卖包装生产商(环保效率 0.021)。

表 4

准则层、子指标层与指标层权重汇总

指标体系	准则层指标	准则层权重	子准则层指标	子准则层指标权重	指标层指标	指标层指标权重	指标层指标总排序
在线餐饮外卖垃圾治理的供应链可持续性	外卖包装生产商	0.052 4	绿色观念	0.004 795	战略规划“环保”频次	0.000 53	67
					预计环保技术研发支出	0.002 102	65
					绿色供应链延伸度	0.002 162	64
					生产过程的可持续性	0.002 33	63
			实际行动	0.011 926	环保外卖包装普及程度	0.004 172	55
					生产者责任延伸	0.005 424	49
					水污染程度	0.005 745	48
					资源回收利用率	0.011 828	33
			环保效率	0.021 494	空气污染程度	0.003 921	58
					商家评价	0.001 896	66
					居民评价	0.004 527	52
					消费者评价	0.007 758	43
			环保意识	0.015 163	平台环保计划	0.002 499	62
					线上环保服务	0.008 593	41
					环保宣传力度	0.004 071	57
					环保餐具使用率	0.033 066	6
在线餐饮外卖商家	0.101 7		实际行动	0.055 498	消费者激励程度	0.013 625	26
					烹饪流程可持续性	0.008 807	39
			外部评价	0.031 039	平台评价	0.006 444	46
					消费者评价	0.024 595	12
			环保观念	0.016 76	平台环保计划	0.002 762	61
					线上环保服务	0.009 498	37
			激励行动	0.034 893	环保宣传力度	0.004 5	53
					绿色供应链延伸	0.011 972	32
					消费者激励	0.022 921	14

(续表)							
指标体系	准则层指标	准则层权重	子准则层指标	子准则层指标权重	指标层指标	指标层指标权重	指标层指标总排序
在线餐饮外卖垃圾治理的供应链可持续性	外卖平台	0.104 3	效果评估	0.048 785	餐饮商家评价	0.010 25	35
					消费者评价	0.038 536	5
					消费频率和增速	0.004 291	54
	消费者	0.107 4	责任意识	0.024 015	平台“环保”搜索指数	0.006 02	47
					餐饮习惯绿色程度	0.013 703	25
					环保活动参与度	0.021 021	16
			环保行动	0.083 385	外卖垃圾合规程度	0.062 364	1
					资源消耗与污染物减排指标	0.003 028	60
					能源与温室气体排放指标	0.004 137	56
			可持续规划	0.015 199	绿色供应链延伸度	0.008 036	42
					科学环保技术投资	0.015 082	23
					人工处理成本占比	0.005 018	50
	垃圾回收处理方	0.160 5	处理行动	0.033 93	垃圾生产端激励行动	0.013 83	24
					水污染程度	0.016 645	21
					空气污染程度	0.010 792	34
			环保效率	0.057 555	资源回收利用率	0.030 124	8
					居民评价	0.008 643	40
					政府评价	0.017 646	20
			外部评价	0.053 816	景观指数	0.027 521	11
					监管信息公开指数（PITI）	0.004 883	51
					教育宣传力度	0.010 007	36
			环境营造	0.027 127	群众意见征询	0.012 237	31
					节能环保支出占比	0.007 594	44
					行业扶持力度	0.012 717	29
			治理行动	0.078 449	环保基建力度	0.018 804	17
					整改督促力度	0.021 338	15
					与环保 NGO 合作力度	0.017 988	19
	政府	0.311 8	治理体系	0.047 113	法律法规完善度	0.006 539	45
					供应链关键环节识别程度	0.012 89	28
					检索机制完善程度	0.027 684	10
			治理效果	0.103 331	餐余垃圾无害化处理占比	0.016 574	22
					空气污染缓解比例	0.030 834	7
					白色污染减量化效果	0.055 922	2
			外部评价	0.055 75	居民评价	0.012 566	30
					环保 NGO 评价	0.018 609	18
					国内外借鉴频次	0.024 58	13
	环保 NGO	0.161 8	生态链贡献	0.025 742	社会环保 NGO 数量	0.003 267	59
					供应链合作数量	0.013 453	27
					环保活动支出	0.009 023	38
			环保宣传	0.054 122	月活动数	0.054 122	3
					各主体行为影响程度	0.053 498	4
					重大影响事件前后关注度变动	0.028 454	9

首先,政府中的子准则层指标治理效果权重为0.103,是所有子准则层中权重最高的指标。这与政府在线餐饮外卖垃圾治理链条中承担的组织者和管理者角色有关,治理效果反映了政府的治理绩效,对政府信任的培养,行业的规范、监督、引导、激励以及社会生态环境效益均起到推动作用。

消费者的子准则层指标中环保行动权重为0.083,处于次重要地位。消费者环保活动参与度和丢弃的外卖垃圾合规程度不仅反映了消费者的环保素养,同时对在线餐饮外卖垃圾的减量、分类和回收利用起着关键作用。其次,环保NGO中社会影响力权重为0.082,与舆论影响力相关,倒逼治理链条中的相关主体进行环保改革。如相关环保组织将三大外卖平台告上法庭事件,倒逼行业自律机制的形成。垃圾回收处理方子准则层指标权重最高的是环保效率,权重为0.058。环保效率由水和空气污染程度反向衡量,资源回收利用率正向衡量。3项指标反映了垃圾回收处理方在整个链条中的作用。然后,餐饮商家中实际行动的指标权重达到0.055。餐饮企业从源头推动环保餐具的使用,鼓励消费者环保就餐对在线餐饮外卖垃圾的减量起着关键的作用。而改善外卖食品多油多汤的问题,对塑料餐盒的减量、替代和回收利用都有着积极的推动意义。外卖平台中效果评估的指标权重为0.049。平台作为餐饮商家的线上销售渠道和消费者的点餐媒介,具有一定的规则制定能力,可通过效果评估,倒逼餐饮商家提高环保程度和激励消费者进行环保就餐。另外,对于外卖包装生产商,环保效率的指标权重最大(为0.021)。产品的环保性是外卖包装生产商进行可持续生产的重要指标,而衡量环保性的标准之一为以污染程度和资源回收利用率测算的环保效率。

(3) 对指标层指标的情况分析

分析指标层(从不同方面衡量供应链中各主体绿色程度的具体指标)相对目标层(外卖垃圾治理供应链可持续性)的最终权重情况,发现权重排在前五位的分别是:外卖垃圾合规程度、白色污染减量化效果、月活动数、各主体行为影响程度、消费者评价。排名前四的指标权重较为接近,其中外卖垃圾合规程度的权重为0.062,排名最高。

首先,外卖垃圾合规程度可衡量消费者能否做到有效的垃圾分类。该指标直接影响在线餐饮外卖垃圾回收端的减量、无害化处理及资源化利用;间

接激励着外卖包装向环保、经济绿色方向发展,餐饮商家环保餐具的使用率关乎治理链的绿色循环及可持续性。其次,白色污染减量化效果的权重为0.056,白色污染减量化效果是治理的主要目标之一,可最大限度地减少外卖带来的环境负外部性。再次,月活动数的权重为0.054。环保NGO通过正向引导,促进主体多元化,从而有效地参与外卖垃圾治理工程。然后,环保NGO的子指标各主体行为影响程度的权重为0.053。随着环境问题已由过去的特定区域问题转化为全球环境问题,单纯地依靠政府力量远远不够,环保NGO有着较大的发挥空间,且对环境治理的影响力越来越强。最后,外卖平台中消费者评价的权重为0.039。作为在线餐饮外卖的消费者,对外卖平台环保活动进行评价,有助于提高外卖平台和餐饮商家的环保程度。此外,餐饮商家的环保餐具使用率、政府的空气污染缓解比例、垃圾回收处理方的资源回收利用率指标在供应链可持续性评价中也具有较高权重,应该引起重视。

5 问题与探讨

本文在垃圾分类浪潮及在线餐饮外卖垃圾呈几何式增长的宏观背景下,从生态系统的角度对在线餐饮外卖垃圾参与治理的主体的影响因素进行分析,发现存在以下问题。

(1) 尚无经验可借鉴

在线餐饮外卖行业的环境外部性特点以及外卖垃圾治理的公共产品属性表明,单纯地依靠市场调节难以达到帕累托最优。政府的监督管理、统筹协调等治理职能和税收、补贴、产业扶持等政策手段成为外卖垃圾治理的重要主体。同时,在线餐饮外卖垃圾治理问题是涉及人与社会的复杂问题,该问题处于动态变化之中,问题本身也在不断变化和发展,不存在一劳永逸的解决方案或者经验。

(2) 难以科学决策

在没有可借鉴经验的背景下,通过数据驱动辅助治理变得格外重要。但无论是在外卖垃圾治理效果的数据披露方面还是污染数据的监测追踪方面,都尚未建立标准,这就导致难以获得有效数据,使得多数情况下既不能建立足够精确的系统模型,也不能建立可以预测系统短期行为的模型,大多时间只能抱着试探的心态一步步地对复杂系统进行决策和控制。然而,随着经济发展、城市化和生活水

平的提高,垃圾生产的数量和复杂程度不断增加,单纯依靠主观经验对复杂系统进行管理控制的方式暴露出越来越多的问题。

(3) 无法有效协同

在线餐饮外卖垃圾治理作为一项生态系统工程,由多个主体、多个环节协同完成。但从目前的情况来看,一方面,各个参与治理主体仅关注自身的利益诉求,并未参与外卖治理的过程。如外卖平台通常仅致力于提升用户活跃度;餐饮商家仅专注于销量;生产端在环保餐具生产尚没有其他主体的支持下,难以形成规模效应;消费者也仅注重自身的消费体验。另一方面,生产、使用、分类、处理、回收、再利用等环节的信息割裂,难以有效地协同,使得外卖垃圾治理过程出现推诿扯皮的现象。另外,在线餐饮外卖消费群体难以参与分类,拾荒者、环卫工人、闲散垃圾回收个体因回收价值低不愿参与垃圾回收治理,而老年人,尤其是退休老年人却自发成为垃圾分类的支持者、引导者和监督管理者。如何调动多方主体的积极性,有效地将他们连接起来从而推动外卖垃圾治理,是当前发展的一大难题。

6 智能可持续生态系统工程模型构建分析

基于以上问题,笔者认为可以从以下两方面展开进一步的研究。

(1) 系统层面

在系统层面,基于 ACP 理论和知识自动化手段,构建面向在线餐饮外卖垃圾的平行智能可持续系统,目的是解决无经验可借鉴及难以科学决策的难题,推动在线餐饮外卖垃圾的有效治理。

平行控制理论框架下的 ACP 方法由人工系统 (artificial systems)、计算实验 (computational experiments) 以及平行执行 (parallel execution) 构成^[43-44]。其基本原理和方法可以描述为综合考虑多方面因素,采用代理建模的方法建立与实际系统等价的人工系统,解决实际系统难以建立精确数学模型的难题。在人工系统上通过计算实验或试验来认识实际系统各要素间正常和非正常状态下的演化规律和相互作用关系。

通过实际系统数据对人工系统的实时驱动、人工系统策略指导实际系统的运营,两者平行执行,对照研究并借鉴各自对未来状况的预估,优化系统的控制与管理。同时,人工系统持续开展计算实验,以“探索”和“试错”的方式,扩大并累积异常运营数据集,

一旦实际系统发生异常,即可先在人工系统搜索让实际系统迅速恢复正常的方法,提高应急控制水平^[45]。从某种意义上来说,ACP 方法解决了复杂系统“科学解决方案”中的“科学方法悖论”问题^[46]。

外卖垃圾治理属于典型的多层次、多因素交织的复杂系统,具有不确定性 (uncertainty)、多样性 (diversity) 和复杂性 (complexity),即具有 UCD 特征。基于 ACP 理论和知识自动化^[47]手段,通过学习与培训、实验与评估、管理与控制促使在线餐饮外卖垃圾的治理从 UDC 系统转化为一个兼具敏捷 (agility)、聚焦 (focus) 和收敛 (convergence) (即 AFC) 特征的智能治理系统,解决无经验可借鉴及难以科学决策的问题,从而实现在线餐饮外卖垃圾的有效治理。具体为以物理世界的在线餐饮外卖垃圾为基本单位,采用平行智能构建一个人工系统。在此模式中,主要采用历史数据对构造的人工系统进行训练,使人工系统具备模拟实际物理系统的能力,能够在实验中反映实际物理系统的真实情况。其次,通过互联网、物联网等技术手段,收集生产、使用、分类、回收、处理、再利用等环节的相关数据,同时借助机器学习及云计算等技术实现多源混合数据的过滤、分析和结构化,获取信息特征反馈与人工系统。在此模式下,平行智能通过建立和执行计算实验来测试和评估各种系统场景以及解决方案。最后,虚拟仿真系统与真实的物理系统通过平行实时交互实现对在线餐饮外卖垃圾的控制和管理,如图 6 所示。

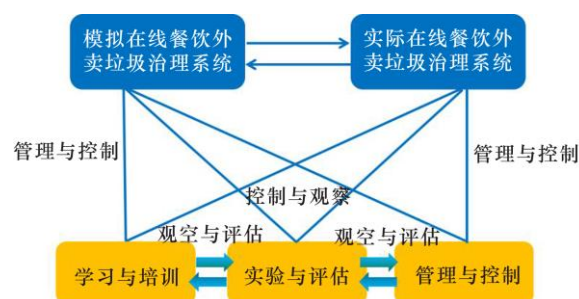


图6 面向在线餐饮外卖垃圾治理的虚实互动平行智能系统

(2) 个体层面

在个体层面,利用区块链技术打造去中心化的绿色信用平台,调动相关主体参与治理的积极性,从而促使在线餐饮外卖垃圾参与治理的主体间的有效协同。

区块链是一种去中心化基础架构与分布式计

算范式^[48], 具有可信 (trustable)、可靠 (reliable)、可用 (usable)、高效 (efficient) 等特点^[49], 可以为参与者提供一个社会信任、透明、高效的交易平台。而其与通证经济的结合, 可以有效地实施激励措施塑造参与者的行为。因此, 一方面利用区块链可信、可靠的特点, 将个体和企业的绿色行为上链, 建立绿色信用账户, 能够有效地规范和约束个体与企业的行为; 另一方面, 打造绿色行为与通证经济相结合的经济体, 调动企业、社会组织和居民参与垃圾治理的积极性, 促进价值主体的有效协同。可借鉴“时间银行”^[50]的模式, 将多以年轻人为主的外卖垃圾的生产者和多以“老年、弱势群体”为主的回收处理者通过去中心化的绿色信用平台连接起来。一方面, 利用区块链技术保证账户的安全及运转流程的透明, 提高平台的公信力; 另一方面, 以半公益的方式充分发挥不同主体的价值, 调动其积极性。同时引入市场机制, 成立外卖垃圾治理基金, 对生产端和末端企业建立生态补贴制度, 从而形成外卖垃圾治理社会化、公益化、市场化和产业化新局面, 有效提高治理效率。

7 结束语

本文在在线餐饮外卖垃圾治理水平远落后于其污染增长的速度现实背景下, 从全供应链的角度构建面向在线餐饮外卖垃圾治理的智能可持续生态系统工程模型。在线餐饮外卖垃圾治理体系属于典型的多层次、多因素交织的复杂系统, 具有不确定性、复杂性、多样性的特点。针对其存在的问题, 笔者认为仅依靠主观治理经验或仿真模式的科学决策, 无法有效地推动外卖垃圾治理; 结合区块链技术, 基于 ACP 理论和知识自动化手段构建面向在线餐饮外卖垃圾的平行溯源与治理系统, 也许可以有效解决其无法有效协同、难以科学决策、尚无成熟的治理范式或经验可以借鉴的难题。但智能可持续生态系统工程模型仅是辅助治理的一种手段, 目前治理行动及理论研究都处于萌芽阶段, 加强理论研究及行动落实是当前亟需开展的工作。

致谢:

本文为城市垃圾社会生态化综合利用与治理公益项目的部分工作, 由王飞跃教授组织发起, 丁文文和王晓博士负责实施, 是中国科学院青岛智能产业技术研究院与联合国发展署 (UNDP) 可持续

智能城市研究合作计划的一部分。项目实施过程中得到了青岛智能产业技术研究院和中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室的支持, 以及国家自然科学基金项目 (No.61533019, No.61702519) 的部分支持, 在此特别表示感谢。

参考文献:

- [1] SCOBLE R, ISRAEL S, BENIOFF M R. Age of context: mobile, sensors, data and the future of privacy[M]. USA: Patrick Brewster Press, 2014.
- [2] 艾媒咨询. 中国在线餐饮外卖市场研究报告[J]. 中国连锁, 2017(4): 68-72.
iiMedia Research. China online food delivery service market research report[J]. Chinese Chain, 2017(4): 68-72.
- [3] 谢斌, 宋伟. 在线餐饮外卖发展、城市环境负外部性与垃圾监管[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2018, 47(6): 79-88.
XIE B, SONG W. Online catering takeout development, urban environmental negative externalities and waste regulation[J]. Journal of Shaanxi Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition), 2018, 47(6): 79-88.
- [4] 李洪峰. 外卖垃圾剧增背后的环境危害[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 10-13.
LI H F. Environmental hazards behind the surge in take-away garbage[J]. Ecological Economy, 2018, 34(10): 10-13.
- [5] TOBLER C, VISSCHERS V H M, SIEDRIST M. Addressing climate change: determinants of consumers' willingness to act and to support policy measures[J]. Journal of Environmental Psychology, 2012, 32(3): 197-207.
- [6] CHEN M F, TUNG P J. The moderating effect of perceived lack of facilities on consumers' recycling intentions[J]. Environment and Behavior, 2010, 42(6): 824-844.
- [7] 田松. 工业文明的痼疾——垃圾问题的热力学阐释及其推论[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2010, 42(6): 45-55.
TIAN S. Inveterate disease of industrial civilization: garbage problems in the perspective of thermodynamics[J]. Journal of Yunnan Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2010, 42(6): 45-55.
- [8] 王菊英, 林新珍. 应对塑料及微塑料污染的海洋治理体系浅析[J]. 太平洋学报, 2018, 26(4): 79-87.
WANG J Y, LIN X Z. Global ocean governance in addressing plastic and microplastic pollution[J]. Pacific Journal, 2018, 26(4): 79-87.
- [9] GRAZHFANI D. Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: an empirical analysis in Prespa Park[J]. Waste Management, 2016, 48: 3-13.
- [10] HE Z, HAN G, CHENG T C E, et al. Evolutionary food quality and location strategies for restaurants in competitive online-to-offline food ordering and delivery markets: an agent-based approach[J]. International Journal of Production Economics, 2019, 215: 61-72.
- [11] YEO V C S, GOH S K, REZAEI S. Consumer experiences, attitude and behavioral intention toward online food delivery (OFD) services[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2017, 35: 150-162.
- [12] 陈海涛, 李同强, 宋姗姗. 在线外卖平台用户重复购买行为的建模与实证研究[J]. 软科学, 2015(11): 79-82.
CHEN H T, LI T Q, SONG S S. Modeling and empirical study of user's

- repeat purchase intention of online takeaway platform[J]. *Soft Science*, 2015(11): 79-82.
- [13] 曾剑秋, 王帆. O2O 在线外卖用户满意度研究与实证分析[J]. *现代情报*, 2015, 35(8): 17-21.
- ZENG J Q, WANG F. Evaluation and demonstration of the customer satisfaction of online takeaway[J]. *Journal of Modern Information*, 2015, 35(8): 17-21.
- [14] 陈萍, 李航. 基于时间满意度的 O2O 外卖配送路径优化问题研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(S1): 170-176.
- CHEN P, LI H. Optimization, model and algorithm based on time satisfaction for O2O food delivery[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(S1): 170-176.
- [15] ZHANG Z X, SHI K R. Research on the safety of takeaway on O2O platform[J]. *The Food Industry*, 2017(1): 61.
- [16] 陈安, 陈晶睿, 崔晶, 等. 中国 31 个直辖市和省会城市“垃圾围城”风险与对策研究——基于 DII S 方法的实证研究[J]. *中国科学院院刊*, 2019, 34(7): 797-806.
- CHEN A, CHEN J R, CUI J, et al. Research on risks and countermeasures of “Cities Besieged by Waste” in China: an empirical analysis based on DII S[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(7): 797-806.
- [17] 王伟, 葛新权, 徐颖. 城市垃圾分类回收多元主体利益博弈与差别责任分析[J]. *中国人口资源与环境*, 2017(S2): 41-44.
- WANG W, GE X Q, XU Y. Multi-subject game interests and differential responsibility analysis of urban waste recycling[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017(S2): 41-44.
- [18] HAN H, ZHANG Z, XIA S. The crowding-out effects of garbage fees and voluntary source separation programs on waste reduction: evidence from China[J]. *Sustainability*, 2016, 8(7): 678.
- [19] 丁建彪. 政策效能缺失视域下的“垃圾围城”治理研究[J]. *行政论坛*, 2016, 23(5): 92-97.
- DING J B. Study on the governance of “Garbage Besieged City” in the vision of lack of policy efficiency[J]. *Administrative Tribune*, 2016, 23(5): 92-97.
- [20] ZHOU B, SUN C, YI H. Solid waste disposal in Chinese cities: an evaluation of local performance[J]. *Sustainability*, 2017, 9(12): 2234.
- [21] 吕君, 翟晓颖. 基于横向视角的垃圾回收处理体系的国际比较研究及启示[J]. *生态经济*, 2015, 31(12): 102-106.
- LYU J, ZHAI X Y. An international comparison study and enlightenment of waste recycling system based on lateral perspective[J]. *Ecological Economy*, 2015, 31(12): 102-106.
- [22] GUO S, DING G G, ZHAO Q, et al. Bonus point system for refuse classification and sustainable development: a study in China[J]. *Sustainability*, 2017, 9(10): 1776.
- [23] 薛立强, 范文宇. 城市生活垃圾管理中的公共管理问题: 国内研究述评及展望[J]. *公共行政评论*, 2017 (1): 172-196.
- XUE L Q, FAN W Y. A review of the domestic research of public administration issues in municipal solid waste management[J]. *Public Administration Review*, 2017 (1): 172-196.
- [24] 颜京松, 王如松. 近十年生态工程在中国的进展[J]. *农村生态环境*, 2001(1): 1-8, 20.
- YAN J S, WANG R S. Advance of ecological engineering in China in the past decade[J]. *Rural Eco-Environment*, 2001(1): 1-8, 20.
- [25] ODUM H T. Ecological engineering and self-organization[J]. *Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology*, 1989, 101: 79-101.
- [26] 马世骏. 生态工程——生态系统原理的应用[J]. *生态学杂志*, 1983(4): 20-22.
- MA S J. Ecological engineering, application of principles of ecological systems[J]. *Journal of Ecology*, 1983(4): 20-22.
- [27] 熊文愈. 生态系统工程与现代混农林生产体系[J]. *生态学杂志*, 1991(1): 21-26.
- XIONG W Y. Ecosystem engineering and modern agroforestry system[J]. *Journal of Ecology*, 1991(1): 21-26.
- [28] 黄丹, 李梦雅. 可持续发展定义演化[J]. *知识经济*, 2015(18): 21-22.
- HUANG D, LI M Y. Evolutionary definition of sustainable development[J]. *Knowledge Economy*, 2015(18): 21-22.
- [29] 张晓玲. 可持续发展理论: 概念演变、维度与展望[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(1): 10-19.
- ZHANG X L. Theory of sustainable development: concept evolution, dimension and prospect[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(1): 10-19.
- [30] BARBIER E B. The concept of sustainable economic development[J]. *Environmental Conservation*, 1987, 14(2): 101-110.
- [31] SAATY T L. What is the analytic hierarchy process[J]. *Mathematical models for decision support*, 1988: 109-121.
- [32] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. *International Journal of Services Sciences*, 2008, 1(1): 83-98.
- [33] 宋国君, 孙月阳, 赵畅, 等. 城市生活垃圾焚烧社会成本评估方法与应用——以北京市为例[J]. *中国人口资源与环境*, 2017, 27(8): 17-27.
- SONG G J, SUN Y Y, ZHAO C, et al. Social cost accounting for municipal solid waste incineration in Beijing[J]. *China Population Resources and Environment*, 2017, 27(8): 17-27.
- [34] 李扬, 李金惠, 谭全银, 等. 我国城市生活垃圾处理行业发展与驱动力分析[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(11): 4173-4179.
- LI Y, LI J H, TAN J Y, et al. Development course and driving force of municipal solid waste disposal industry in China[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(11): 4173-4179.
- [35] ZHOU B, SUN C, YI H. Solid waste disposal in Chinese cities: an evaluation of local performance[J]. *Sustainability*, 2017, 9(12): 2234.
- [36] MIAN M M, ZENG X, NASRY A N B, et al. Municipal solid waste management in China: a comparative analysis[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2017, 19(3): 1127-1135.
- [37] XU J, KANG J, SHAO L, et al. System dynamic modelling of industrial growth and landscape ecology in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, 161: 92-105.
- [38] 杨锐, 王浩. 景观突围: 城市垃圾填埋场的生态恢复与景观重建[J]. *城市发展研究*, 2010(8): 81-86.
- YANG R, WANG H. Landscape breakthrough: ecological regeneration and landscape reclamation of urban landfills[J]. *Urban Studies*, 2010(8): 81-86.
- [39] THOMAS C J M. Analyzing demand for disposal and recycling services: a systems approach[J]. *Eastern Economic Journal*, 2006, 32(2): 221-240.
- [40] 申进忠. 我国环境信息公开制度论析[J]. *南开学报: 哲学社会科学版*, 2010, 2: 48-55.
- SHEN J Z. On the governmental disclosure system of environmental information[J]. *Nankai Journal(Philosophy, Literature and Social Science Edition)*, 2010, 2: 48-55.
- [41] 张一澜. 对中国城市生活垃圾分类的思考及建议[J]. *再生资源与循环经济*, 2016, 9(3): 26-29.
- ZHANG Y L. Consideration and suggestions of sorting collection of municipal domestic waste[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2016, 9(3): 26-29.

- [42] 吕维霞, 杜娟. 日本垃圾分类管理经验及其对中国的启示[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2016, 55(1): 39-53.
LYU W X, DU J. Japan's waste classification management experience and its inspiration to China[J]. Journal of Central China Normal University: Humanities and Social Sciences, 2016, 55(1): 39-53.
- [43] WANG F Y. Toward a paradigm shift in social computing: the ACP approach[J]. IEEE Intelligent Systems, 2007, 22(5): 65-67.
- [44] WANG F Y, WONG P K. Intelligent systems and technology for integrative and predictive medicine: an ACP approach[M]. New York: ACM Press, 2013.
- [45] WANG F Y. Social computing: concepts, contents, and methods[J]. International Journal of Intelligent Control and Systems, 2004: 91-96.
- [46] ZHANG J. Social energy: mining energy from the society[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 7-20.
- [47] 袁勇, 周涛, 周傲英, 等. 区块链技术: 从数据智能到知识自动化[J]. 自动化学报, 2017, 43(9): 1485-1490.
YUAN Y, ZHOU T, ZHOU A Y, et al. Blockchain technology: from data intelligence to knowledge automation[J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 43(9): 1485-1490.
- [48] 陈思远, 白昱阳, 张俊, 等. 基于区块链和通证经济的跨国跨洲电力市场机制设计[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 96-105.
CHEN S Y, BAI Y Y, ZHANG J, et al. Design of transnational and intercontinental electricity market with blockchain and token economics[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 96-105.
- [49] 王飞跃, 袁勇, 王帅, 等. 军事区块链: 从不对称的战争到对称的和平[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(3): 175-182.
WANG F Y, YUAN Y, WANG S, et al. Military blockchain: from asymmetric warfare to symmetric peace[J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(3): 175-182.
- [50] COLLOM E, LASKER J N. Equal time, equal value: community currencies and time banking in the US[M]. New York: Routledge, 2016.

[作者简介]



张远馨(1997-), 女, 山东威海人, 山东财经大学本科生, 主要研究方向为生态学、可持续发展、供应链管理。



周明(1999-), 女, 辽宁沈阳人, 中央财经大学本科生, 主要研究方向为生态学、可持续发展、金融科技。



王深艳(2000-), 女, 山东烟台人, 山东财经大学本科生, 主要研究方向为生态学、可持续发展、金融数学。



梁珍珍(2000-), 女, 四川成都人, 中国人民大学本科生, 主要研究方向为生态学、可持续发展、金融数学。



丁文文(1990-), 女, 河南濮阳人, 北京金桐网投资有限公司组织发展与创新研究员, 主要研究方向为去中心化自治组织、平行管理、区块链、知识图谱。



王晓(1988-), 女, 博士, 山东滨州人, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为社会交通、动态网群组织、人工智能和社会网络分析。