

基于小世界网络模型的公众食品安全行为仿真研究

马利华, 颜会哲*, 袁秀玲, 郑宇

(河北工程大学 管理工程与商学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 针对食品安全行为中公众群体具有的小世界网络特性, 构建了小世界网络模型进行行为仿真。结果表明: 在随机、集聚优先和距离优先三种模式下, 生产环节风险感知对公众食品安全行为选择影响显著。在“低集聚度”网络中, 不考虑风险感知时, 距离优先和集聚优先模式下对公众食品安全行为的影响高于随机模式。在“高集聚度”网络中, 考虑风险感知时, 距离优先模式对公众食品安全行为的影响则高于集聚优先模式。

关键词: 食品安全行为; 小世界网络; 选择路径; 行为仿真

中图分类号: N949

文献标识码: A

Simulation of Public Food Safety Behavior Based on Small World Network Model

MA Lihua, YAN Huizhe*, YUAN Xiuling, ZHENG Yu

(School of Management Engineering and Business, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: Aiming at the small world network characteristics of the public, a small world network model is constructed for behavior simulation. The simulation results show that under the three modes of random, cluster priority and distance priority, the risk perception of production links have a significant impact on the public food safety behavior choice. In the “low agglomeration” network, when the risk perception is not considered, the impacts of the distance first and agglomeration first on the public food safety behavior is higher than the impact of random mode. In the “high degree of agglomeration” network, considering the risk perception, the distance priority model has a higher impact on the public food safety behavior than the cluster priority model. The results provide a simulation basis for food safety decision-making.

Key words: food safety behavior; small world network; path selection; behavior simulation

公众的食品安全行为是指公众在从事与食品安全有关的活动中所表现出来的对食品安全的具体行为方式, 是不同的个体或群体, 在食品安全社会氛围、食品安全价值观念的影响下, 为提高自身或社会的食品安全水平而采取的行动^[1]。公众食品安全行为不仅受到公众个体心理特征因素^[2]、社会人口统计变量影响^[3], 还受到风险感知等诸多因素的影响^[4]。在经济社会中, 公众作为每一个个体可被看作“社会人”, 其构成彼此相互影响

的社会人际网络^[5]。根据社会学习理论, 公众具体的行为可以在外界环境的影响下后天习得^[6]。

Watts 和 Strogatz 在研究社会网络时, 首次提出了 WS 模型, 即小世界网络模型 (Small World Network Model)^[7]。Newman 和 Watts 进一步阐述了小世界网络模型的构建原则^[8]。Švarcová 等运用小世界网络模型研究了复杂系统里的群体行为演化问题^[9]。Okushima 等将小世界网络模型应用于解决环境领域新能源汽车的选择行为问题^[10]。

收稿日期: 2022-01-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71871084); 河北省省级科技计划软科学研究专项资助项目 (215576114D); 河北省高等学校人文社会科学研究项目 (SQ201027); 邯郸市哲学社会科学规划课题 (2020037, 2020054)

作者简介: 马利华 (1979-), 男, 河北隆尧人, 博士, 副教授, 主要从事安全管理与政策研究。

* 通讯作者: 颜会哲 (1981-), 女, 河北宁晋人, 博士, 讲师, 主要从事行为安全研究。

我国学者魏奇锋等利用小世界网络的 WS 模型构建了结构化的演化模型,并分析了知识网络的网络结构及演化问题^[11]。王展昭利用小世界网络仿真研究了复杂因素下的品牌竞争与新产品扩散之间的影响关系^[12]。高长春等利用小世界网络构建了集群网络的转移行为仿真模型,对具有小世界网络特性的知识网络中的知识转移行为进行了仿真研究^[13]。汤小莉等研究了小世界网络与嵌入在其中的个体创造力的关系,进一步拓展了小世界网络在行为选择演化中的应用^[14]。

在行为研究领域,公众个体可以被看作相互影响的社会网络中的节点。因此,在食品安全行为研究中,公众个体的复杂关系可以看作人际网络结构。本文基于小世界网络理论框架,构建公众食品安全行为仿真模型,分析生产风险感知对公众食品安全行为的干预影响,为食品安全管理政策制定提供动态仿真依据。

1 模型构建

1.1 小世界网络

Watts 和 Strogatz 提出的 WS 模型中,将描述社会现象的小世界网络定义为一种网络图,在网络图中,绝大多数节点之间并不相邻,并且大多数任意节点,都可以用较少的步数访问到其他节点^[7]。随后 Asheim 等在分析小世界网络的结构基础上,提出特征路径长度、集聚系数及对数路径 3 个特性,使小世界网络更能描述社会网络问题^[15]。传统的无加权小世界网络存在收敛效率低等缺点,因此本文引入加权小世界网络模型^[15-16],进行公众食品安全行为仿真。

1.2 模型分析

1.2.1 网络模型分析

构建公众食品安全行为网络模型时,重点要考虑公众个体节点之间的关系集聚度。网络中的关系集聚度的演化趋势是随概率更加紧密。本文构建公众食品安全行为选择的小世界网络 L , $L = (N, S, R)$ 。网络模型中, $N = (1, 2, 3, \dots, n)$, n 表示网络中的节点个数; $S = \{S(i) | i \in N\}$, 为小世界网络中所有边的集。 $R = \{(r_{ij}) | i, j \in N\}$, 表示小世界网络中公众个体间全部关系集聚度的集。 r_{ij} 表示公众个体 i 与公众个体 j 的关系集聚度,本文假设公众个体节点之间的关系集聚度对称,即 $r_{ij} = r_{ji}$ 。

1.2.2 网络参数

在所构建的公众食品安全行为选择小世界网络模型中,设定参数如下:其中网络模型节点数 N 设为 500;节点的临接数 k 设为 8;断边重连概率 p 设为 0.09;仿真步长 T 取 20 万次,当前步长设为 1。

1.2.3 网络关系

在所构建的公众食品安全行为选择小世界网络模型中,设定每一个公众个体节点可选择多种行为,且能正确标记自己的行为。由此,假设所构建的公众食品安全行为选择小世界网络模型中每一个节点至多选择 X 种行为。在构建的小世界网络中, i 代表个体节点, $i = (1, 2, 3, \dots, X)$; c 代表行为的种类, $c \in [1, X]$; $v \in [i, c]$ 是公众个体节点 i 在 h 行为上选择的值; t 时刻小世界网络中个体节点 i 选择的行为是在 X 种行为的均值。

2 网络仿真流程

公众食品安全行为节点分为劝导方和接收方。劝导方和接收方都遵循一定的选择演化策略,而不同的选择策略影响小世界网络的整体均衡性。为方便比较,本文将公众食品安全行为的选择方式设定为三种:随机选择、集聚优先和距离优先模式。

2.1 随机选择模式设定

随机模式公众食品安全行为选择设定如下:在公众食品安全行为选择时,网络中的任一接收节点 j 与其相邻的某一节点 i 发生扩散的条件是此时存在一个有级差的“不良食品安全行为”类 h , 此刻劝导方节点 i 的个体食品安全行为选择概率大于接收方节点 j 。

2.2 集聚优先的设定原则

集聚优先模式公众食品安全行为选择设定如下:公众食品安全行为选择时,在符合“不良食品安全行为”的所有相邻节点中,基于“集聚优先”原则,公众个体均选择与自身聚集度最大的节点 j 作为接收方。此时每一个体对其他个体产生驱动的前提是 $v[i, c] > v[j, c]$ 并且 $r_{ij} = \text{Max}\{r_{ij}\}$ 。

2.3 距离优先的设定原则

本文中距离优先模式公众食品安全行为选择设定如下:公众食品安全行为选择时,在符合“食品安全行为选择不一致”条件的所有相邻节点中,

基于“距离优先”原则,公众个体均选择与自身选择差异最大的节点作为接收方。此时每一个体对其它个体产生驱动的前提是 $v[i,c] > v[j,c]$ 并且 $v[i,c] = \text{Max}\{v[i,c]\}$ 。

2.4 行为选择

在网络设定中,劝导方有三种行为选择模式,接受方则为随机选择。公众食品安全行为的发生,要满足“不良食品安全行为”条件的所有公众个体节点中随机选取任一公众个体节点作为接收方,因此,接收方要满足其食品安全行为差于影响方。

本文设定的公众食品安全行为选择机制,在不考虑其他情况下,重点探讨关系集聚度影响下的公众食品安全行为选择演化趋势。其中,公众食品安全行为选择的步长值为 t ,而公众个体 i 与公众个体 j 的公众食品安全行为选择公式如下:

$$v[i,c](t+1) = v[j,c](t) + \varphi[j] \times r_{ij} \times \{v[i,c](t) - v[j,c](t)\} \quad (1)$$

$$v[i,c](t+1) = v[j,c](t) \quad (2)$$

其中, $\varphi[j]$ 为节点 j 的食品安全行为选择系数,其赋值区间为 $(0, 0.2]$, 公众个体食品安全行为选择节点间的关系集聚度是 r_{ij} , 其赋值区间为 $(0, 1]$ 。

在所构建小世界网络中,公众个体 t 时刻的食品安全行为选择值,如公式(3)所示。

$$\mu(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i(t) \quad (3)$$

3 仿真结果

本文运用 Matlab(2014b) 对构建的小世界网络模型进行仿真。考虑关系集聚、路径距离和生产风险感知对公众行为选择的影响是同步产生

的。因此,本文首先分析基于公众关系集聚强度的食品安全行为的选择规律,再进一步讨论生产风险感知干预下的公众食品安全行为的选择规律。

3.1 生产风险感知干预结果分析

3.1.1 无生产风险感知的干预分析

不加入生产风险感知,仅考察加入关系集聚强度和行距离进行干预对比分析,此情景下网络模型中所有节点之间的关系集聚强度在 $[0, 1]$ 之间随机选取。仿真结果如图1所示。

由图1可知无生产风险感知的公众食品安全行为趋势:在仿真初期,集聚优先模式和距离优先模式的影响差距不显著,但均明显高于随机模式;分析仿真中期,集聚优先、距离优先和随机模式三者差距逐渐变大;考察仿真后期,公众食品安全行为选择的集聚优先和随机模式二者呈现趋同态势,此阶段距离优先模式差距逐渐变大。进一步分析,公众食品安全行为选择在距离优先模式下增长幅度较大,原因是在行为选择过程中,接收方收到劝导方的“不良食品安全行为”趋弱。而且,随着仿真步长的增加,三种模式下公众食品安全行为方差逐渐减少,网络中公众选择行为逐渐趋向均衡。

在基于加权小世界网络模型的食品安全行为网络结构中,由公众食品安全行为变化趋势和网络均衡综合分析可知,遵循集聚优先的选择策略与接收方发生影响行为的发送方会使网络中所有个体的行为选择最快达到最优。

3.1.2 生产风险感知的综合干预分析

将生产环节风险感知取最大值5,生成公众食品安全行为变化曲线如图2。

图2中,在加入生产风险感知情况下,公众食

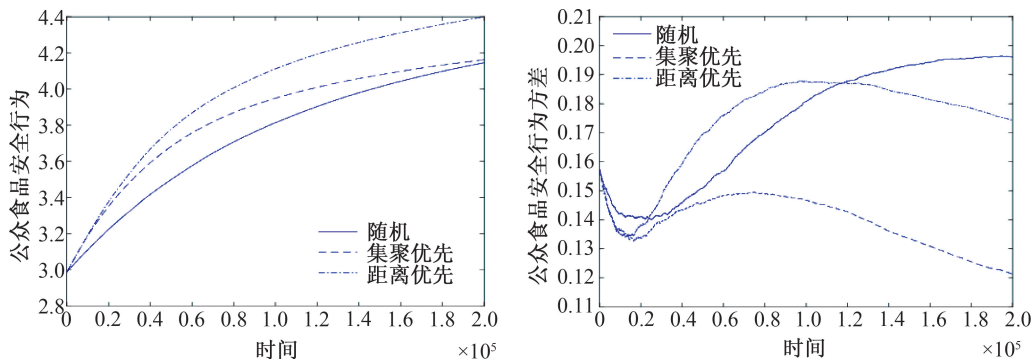


图1 无生产风险感知的公众食品安全行为趋势

Fig.1 Trend of public food safety behavior without production risk perception

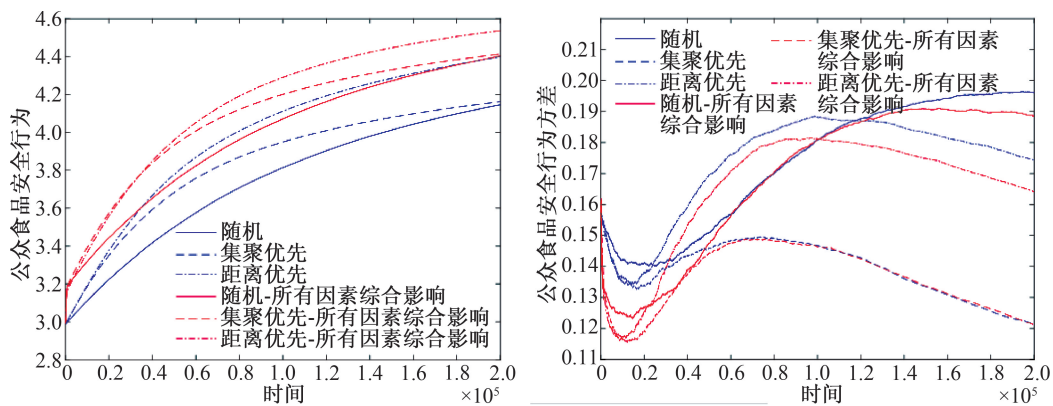


图2 生产风险感知干预下的公众食品安全行为趋势

Fig. 2 Trend of public food safety behavior under the intervention of production risk perception

品安全行为选择趋势显著增大,在仿真初始阶段最为显著。而随着仿真步长的加大,生产风险感知对食品安全行为的影响逐渐趋于稳定。其中,距离优先模式相比集聚优先模式的影响效果要更显著,且无生产风险感知干预的集聚模式的影响效果要优于生产风险感知综合的随机模式。

3.1.3 结果分析

在针对公众个体间具有小世界网络特性的行为演化进行仿真时,若不纳入生产风险感知仿真时,随着仿真步长的增加,集聚优先、距离优先和随机三种模式下公众食品安全行为方差逐渐减少,网络中公众选择行为逐渐趋向均衡;在纳入生产风险感知干预仿真时,公众食品安全行为得到了明显提升,最终生产风险感知对食品安全行为的影响逐渐趋于稳定。其中,距离优先模式相比集聚优先模式的影响效果要更显著,且无生产风险感知干预的集聚模式的影响效果要优于生产风险感知综合的随机模式。

3.2 不同集聚度的结果分析

在本文所建小世界网络模型中,节点间的关

系集聚度的区间设为 $(0, 1]$,其中高集聚度取值 $[0.7, 0.9]$,低集聚度取值 $[0.1, 0.3]$ 。

3.2.1 “低集聚度”对公众食品安全行为选择的影响

首先,在不加入生产环节风险感知情况下,设定食品安全行为网络中节点之间的关系集聚度为 $[0.1, 0.3]$,仿真结果如下:

图3中,在“低集聚度”网络仿真过程时,可知公众食品安全行为选择在距离优先和集聚优先两种模式下差距较小,二者均比随机模式高。分析仿真前期,公众食品安全行为选择在距离优先模式下最多,距离优先模式次之;考察仿真中后期,距离优先模式的优势逐渐显现,此时其食品安全行为选择最多。距离优先模式下节点公众食品安全行为方差最小,即网络中公众食品行为选择的均衡性最好,而随机模式下的网络行为选择均衡性最差。

其次,在加入生产风险感知情况下,将干预程度取最大值5,仿真结果如下:

由图4可知,加入生产风险感知的影响,并取

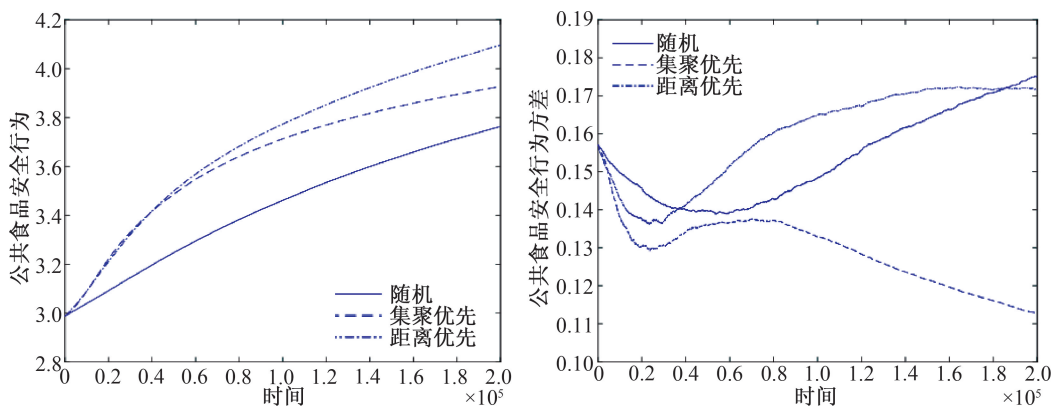


图3 “低集聚度”网络对公众食品安全行为选择的影响

Fig. 3 Influence of “low agglomeration” network on public food safety behavior choice

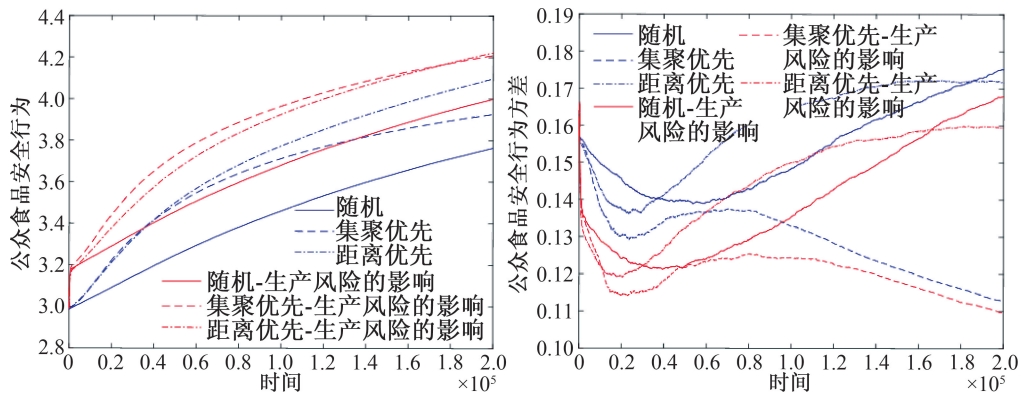


图4 “低集聚度”网络加入生产风险感知的行为选择化趋势

Fig. 4 The behavior selection trend of “low agglomeration” network joining production risk perception

值为5时,网络内的公众食品安全行为选择均有一定的提升,但是提升程度并不明显,特别是生产风险感知干预后的结果。进一步考察仿真初期,公众食品安全行为选择在距离优先模式略高于集聚优先模式,两者均显著高于随机模式。而随着仿真步长的增大,公众食品安全行为选择的距离优先模式演化则高于集聚优先模式。

3.2.2 “高集聚度”对公众食品安全行为选择的影响

首先,在不加入生产环节风险感知情况下,设定食品安全行为网络中节点之间的关系集聚度为 $[0.7, 0.9]$,进行仿真,结果如下:

图5中,在“高集聚度”网络仿真过程时,可知公众食品安全行为选择在距离优先模式下有明显的优势。分析可知,公众食品安全行为选择在“高集聚度”网络中的增长趋势比集聚优先和随机两种模式均显著;进一步考察仿真中前期,此阶段公众食品安全行为网络均衡性优于其它阶段。

其次,在加入生产风险感知情况下,将干预程度取最大值5,仿真结果如下:

由图6可知,加入生产风险感知后,网络内的

公众食品安全行为选择均有一定的提高。仿真前期,公众食品安全行为选择的距离优先模式略高于集聚优先模式,两者均明显高于随机模式。随着仿真步长的增大,公众食品安全行为选择的距离优先模式演化为高于集聚优先模式;仿真后期,三种模式呈现趋同态势。进一步考察仿真全过程,无论是否加入生产风险感知,集聚优先模式的公众食品安全行为选择其方差均最小,其网络均衡性显著优于随机模式和距离优先模式。

3.2.3 结果分析

在“低集聚度”网络中,若不考虑生产风险感知,距离优先模式与集聚优先模式对公众食品安全行为的影响差均高于随机模式;在考虑生产风险感知时,网络内的公众食品安全行为选择均有一定的提升,但提升程度并不明显,其中在仿真初期,距离优先模式下的食品安全行为选择略高于集聚优先模式,随着仿真步长的增加,距离优先模式的公众食品安全行为选择高于距离集聚模式。在“高集聚度”网络中,若不考虑生产风险感知,则距离优先模式具有明显优势,食品安全行为增长

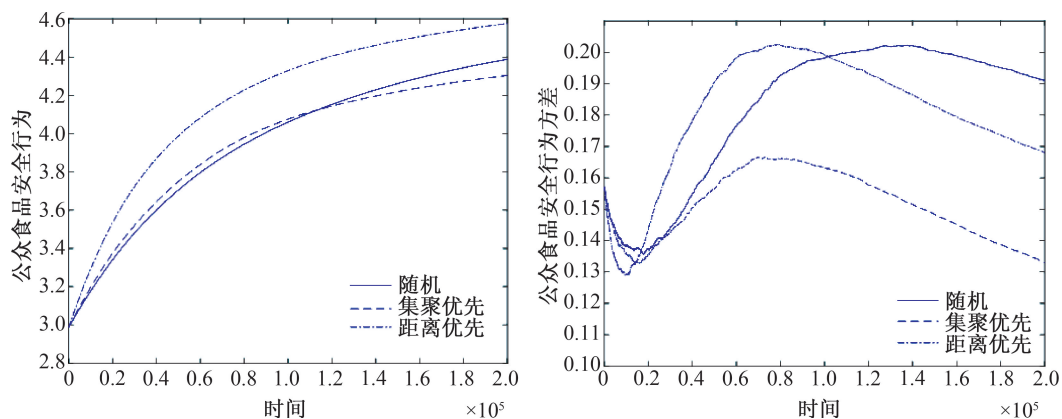


图5 “高集聚度”网络对公众食品安全行为选择的影响

Fig. 5 Influence of “high concentration” network on public food safety behavior choice

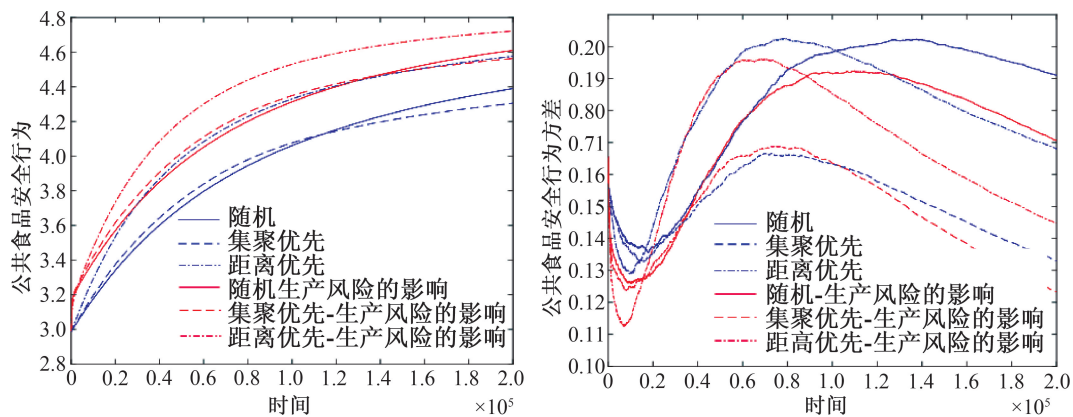


图6 “高集聚度”网络加入生产风险感知的行为选择趋势

Fig. 6 Behavior choice trend of “high agglomeration” network joining production risk perception

趋势较集聚优先模式和随机模式影响显著;在考虑生产风险感知时,网络内的公众食品安全行为选择均有一定的提高,在仿真前期,距离优先模式下和集聚优先模式明显高于随机模式,则随着仿真步长增大,距离优先模式选择高于集聚优先模式。

4 结论

本文基于构建的小世界网络模型,研究了公众食品安全行为仿真问题,分别分析了不同情景模式下的公众食品安全行为选择趋势。结论显示:在不考虑网络集聚度时,如果纳入生产风险感知,公众食品安全行为有明显提升,表明生产环节风险感知对公众食品安全行为选择影响显著;而在考虑网络集聚度时,在纳入生产风险感知时,无论何种网络公众食品安全行为选择均有一定程度提升,证明了生产环节风险感知对不同集聚度网络中的公众食品安全行为选择均有正向影响。本文仿真的公众食品安全行为选择的动态趋势,为食品安全行为提升提供了选择路径,为食品安全政策制定提供了仿真依据。

参考文献:

- [1] MA L, CHEN H, YAN H, et al. Food Safety Knowledge, Attitudes, and Behavior of Street Food Vendors and Consumers in Handan, a Third Tier City in China[J]. BMC Public Health, 2019, 19(1): 1-13.
- [2] 马利华. 公众食品安全行为驱动机理及政策干预研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
- [3] 白丽, 魏昱同, 郭思宏. 公众食品安全知识评价与人口学特征研究——对家庭食物消费链的考察[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(9): 46-50.
- [4] 范春梅, 贾建民, 李华强. 食品安全事件中的公众风险感知及应对行为研究——以问题奶粉事件为例[J]. 管

理评论, 2012, 24(1): 163-168.

- [5] 田贝达, 闫相斌, 王兆天. 社会物理学视角下的网络群体行为选择机理[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(5): 91-99.
- [6] 高申春. 自我效能理论评述[J]. 心理发展与教育, 2000(1): 60-64.
- [7] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective Dynamics of ‘Small-world’ Networks[J]. Nature, 1998(393): 440-442.
- [8] NEWMAN M E J, WATTS D J. Scaling and Percolation in the Small-World Network Model[J]. Physical Review E, 1999, 60(6): 7332.
- [9] ŠVARCOVÁ N, ŠVARC P. Technology Adoption and Herding Behavior in Complex Social Networks[R]. IES Working Paper, 2008.
- [10] OKUSHIMA M. Multi-agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicles from the Perspective of Concern for the Environment and Local Interactions[J]. Asian Transport Studies, 2016, 4(1): 96-113.
- [11] 魏奇峰, 石琳娜. 基于小世界网络的知识网络结构演化模型研究[J]. 软科学, 2017, 31(7): 135-140.
- [12] 王展昭. 考虑重复购买因素的品牌竞争对新产品扩散的影响研究——基于小世界网络的仿真环境[J]. 中国管理科学, 2019, 27(12): 164-174.
- [13] 高长春, 刘诗雨, 黄昕蕾. 创意产业集群知识网络知识转移行为仿真分析——基于知识刚性及知识异质性视角[J]. 科学管理研究, 2019(4): 79-86.
- [14] 汤小莉, 孙笑明, 田高良, 等. 小世界网络的动态性对企业关键研发者创造力的影响[J]. 管理工程学报, 2018, 32(4): 54-62.
- [15] 王义然. 社交网络站点社群信息过载的影响因素研究——加权小世界网络视角的分析[J]. 情报科学, 2015(9): 76-80.
- [16] ASHEIM B T, ISAKSEN A. Regional Innovation Systems: the Integration of Local ‘Sticky’ and Global ‘Ubiquitous’ Knowledge[J]. The Journal of Technology Transfer, 2002, 27(1): 77-86.

(责任编辑 王利君)