DOI:10.19361/j.er.2025.04.01

消费扩张引致创新与产业升级:数理分析与机器学习验证

孙 巍 梁世杰 潘文博*

摘要: 如何在发挥大规模内需优势的同时,通过消费扩张牵引产业升级,是当前需要解决的关键问题。本文构建一般均衡模型进行理论分析,并运用机器学习方法验证。研究发现:结合 Stone-Geary 效用函数和质量升级效用函数改进的非位似偏好,可以同时分析创新与产业升级;基于需求引致创新思想构建理论模型,可以将恩格尔效应塑造潜在需求与鲍莫尔效应配置生产要素的作用机制相关联,从而验证创新的中介作用;根据机器学习结果,消费结构在促进创新与产业升级的过程中均具有非线性作用,收入水平提高对创新和产业升级的激励强于消费结构升级。因此,提高居民收入,并推动以需求为起点、以创新为中介、以产业升级为目标的政策联动机制,是培育新质生产力的有效途径。

关键词: 消费扩张;需求引致创新;产业升级;市场机制

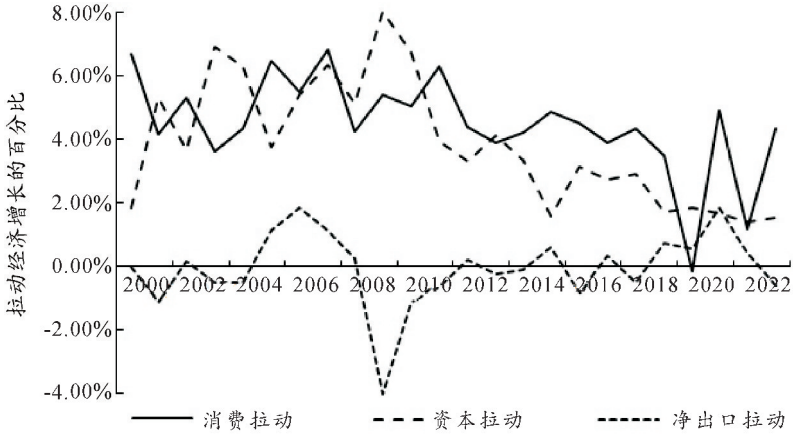
中图分类号: F061.3

一、引言

面对产业变革加速和全球经济放缓的双重挑战,充分发挥创新的主导作用,以科技创新推动产业升级,加快发展新质生产力,是推动中国经济高质量发展的内在要求和重要着力点。然而,培育新质生产力不仅需要供给侧结构性改革的深化与产业政策的支持,还需要发挥中国独具的超大规模市场需求优势,通过市场在资源配置中的决定性作用畅通需求侧动力牵引创新及产业升级的传导机制。三大需求对中国经济增长的拉动作用如图 1 所示。2013 年以来,消费的拉动作用逐渐强于投资,成为中国经济增长的压舱石。尽管消费在 2020 年受到预期转弱的负面冲击存在较大波动,但有效需求的扩张依然是未来拉动经济增长的重要引擎。

* 孙巍,吉林大学数量经济研究中心、吉林大学商学与管理学院,邮政编码:130012,电子信箱:sunwei@jlu.edu.cn;梁世杰(通讯作者),吉林大学商学与管理学院,邮政编码:130012,电子信箱:liangsj20@mails.jlu.edu.cn;潘文博,吉林大学商学与管理学院,邮政编码:130012,电子信箱:2568612307@qq.com。

本文得到教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“共同富裕进程中消费与供给协同升级的市场机制与政策选择研究”(22JJD790023)和中央高校基本科研业务费专项资助计划“坚持共同富裕方向的中国经济高质量发展现代化道路研究”(2022CXTD25)的资助。作者感谢匿名评审专家的意见,文责自负。



注:需求拉动的计算方式为 GDP 增速与三大需求贡献率的乘积。

图 1　三大需求对中国经济增长的拉动作用

(资料来源:国家统计局数据库。)

消费扩张不仅是满足人民日益增长的美好生活需要的必然选择,更是引领技术创新和产业升级的催化剂。在市场机制的作用下,扩张的消费规模和升级的消费结构不仅驱动了企业不断改进产品和服务质量,还将在创新的过程中推动产业链的发展与优化,实现产业不断向更高附加值领域转型的良性循环。而新质生产力的发展以创新为核心,以产业升级为载体(周文、许凌云,2023),因此,从理论上探索消费扩张牵引研发创新的市场机制,揭示需求侧动力经由技术创新推动产业升级的传导路径,可以深入分析消费升级与产业升级间的复杂关系,为培育新质生产力提供源自需求侧的理论解释,并对进一步发挥内需的作用提供启示。

产业升级是在市场需求牵引下,产业由低技术水平转向高技术水平、从低附加值状态到达高附加值状态的演变趋势(刘志彪,2000)。以往研究对产业升级的驱动因素进行了深入分析,但相较于供给侧驱动因素的文献,关注需求侧驱动因素的研究较为有限,且以消费升级(石奇等,2009)和收入不平等(王勇、沈仲凯,2018)为主要的研究对象,较少涉及需求侧动力如何通过市场机制引致产业结构的整体转型。需求侧的消费扩张不仅创造了对高质量产品及服务的潜在需求,还通过市场信号引导企业进行技术创新与产业转型。因此,本文旨在从需求侧入手探讨消费扩张如何通过市场机制引致产业升级,这一工作不仅丰富了产业升级的需求侧动力研究,还突出了市场在资源配置中的决定性作用,有助于揭示消费扩张与产业升级之间的内在联系。

消费升级驱动产业升级的理论研究与本文具有较高的相关性,且以恩格尔效应和鲍莫尔效应为核心机制的产业结构转型在近年来受到学术界的广泛关注(颜色等,2018;郭凯明等,2024)。恩格尔效应是指随着收入水平的提高,消费者对必需品的偏好下降,对高质量产品的偏好上升,需求收入弹性高的产品在总需求中所占比重逐渐增加,推动产业向高端化发展(Kongsamut et al., 2001;Foellmi and Zweimüller, 2008);而鲍莫尔效应则强调技术进步在供给侧的作用,认为技术进步导致创新产业生产率提高及产品相对价格变化,从而吸引更多生产要素流入这些产业(Acemoglu and Guerrieri, 2008;林晨、徐向宇,2023)。

尽管上述研究在解释消费升级如何驱动产业升级方面取得了显著进展,但仍存在两个方面的问题需要改进:第一,现有理论模型重视结构,忽略了产业升级和消费升级其他方面

的内涵。产业升级不只包含产业间的结构升级,还应包含产业内的产品升级,而产品升级是通过创新实现的。消费升级也不只体现为恩格尔效应带来的消费结构升级,消费规模扩大也在牵引创新的过程中发挥了重要作用。第二,恩格尔效应作用于需求侧,鲍莫尔效应作用于供给侧,现有研究将两种效应割裂,未能建立起需求变化与供给侧技术创新、产品价格变化之间的联系,从而忽略了创新在消费升级引导产业升级过程中发挥的中介作用。需求引致创新理论恰恰是解决上述两个问题的关键,一方面,需求引致创新关注消费规模对创新品潜在需求的塑造,避免仅从消费结构升级角度刻画消费扩张的驱动作用;另一方面,需求引致创新可以建立起恩格尔效应和鲍莫尔效应之间的联动机制,揭示出消费扩张通过研发创新驱动产业升级的动态过程。因此,本文拟在需求引致创新理论的基础上改进理论模型,以居民收入水平提高和消费扩张为起点,以产品创新为市场机制的重要环节,完整刻画消费升级引导产业升级的传导路径。

在将需求引致创新机制引入产业升级的研究过程中,改进非位似偏好效用函数是刻画创新产品潜在需求、实现居民异质性消费需求向供给端传导的关键。经典的创新增长模型通常采用位似偏好形式,不同产品的需求收入弹性相同,导致收入水平提高无法影响创新产品的潜在利润(Foellmi and Zweimüller, 2006)。而采用非位似偏好,则可以在居民和厂商两个维度上较好地实现消费升级引致研发创新的路径刻画。Stone-Geary 偏好、非位似 CES 偏好、等级偏好是非位似偏好的常用形式,但在本文的研究目标下仍存在一定不足:Stone-Geary 偏好、非位似 CES 偏好更适用于刻画产业间升级,难以对产品创新进行分析(李尚骜、龚六堂,2012;Comin et al., 2021);等级偏好以及附加饱和度约束的等级偏好虽然可以包含无限种不断升级的产品,但无法刻画产品退出市场的过程,产品出现以后只能从奢侈品转向必需品,市场中产品的种类无限增加(Foellmi and Zweimüller, 2008);孙巍和夏海利(2022)为解决垄断定价问题引入了与创新产品效用不可分的普通产品,但这样的设定方式将导致消费结构固定,且创新品消费量必须为 1;而用于刻画质量创新的熊彼特增长模型(Aghion and Howitt, 1992)、同时考虑种类创新和质量创新的模型(Foellmi et al., 2014)则无法刻画消费结构,难以揭示消费扩张对创新的引致途径。

考虑到 Stone-Geary 效用函数便于实现对不同产品消费需求的刻画,质量阶梯模型中的效用函数便于揭示产品的创新与淘汰过程,本文将对两种效用函数进行结合,使改进后的理论模型能够同时看到需求引致的研发创新和产业升级,并允许创新产品在市场竞争中退出。这不仅能捕捉消费者对高质量产品的偏好跃升,还能反映创新对产业升级的驱动,从而更加全面地揭示消费扩张牵引产业升级的完整过程。因此,在引入需求引致创新过程的基础上进一步改进效用函数的设置方式,可以在理论模型中同时刻画出由消费扩张引致的研发创新与产业升级,有助于揭示消费升级在驱动产业升级中的作用。

为了验证消费扩张牵引技术创新与产业升级理论模型的合理性,本文仍需从实证角度对传导机制进行分析。在消费升级驱动产业升级的实证研究中,消费升级通常以消费规模扩大及消费结构优化进行度量,产业升级则从高级化和合理化两个角度进行划分。消费升级可以显著促进产业升级(杨天宇、陈明玉,2018),并通过收入弹性、要素配置、技术创新发挥作用(龙少波、丁点尔,2022)。消费需求通过市场信号引导生产与创新(王云航、彭定赟,2019),供需失衡在消费升级牵引产业升级的过程中发挥负向调节作用(余红心等,2020)。

然而,基于传统计量模型进行的实证研究仍存在两个问题需要完善:第一,传统计量模

型难以分析复杂的非线性关系和传导机制,无法克服消费升级和产业升级之间严重的内生性问题;第二,传统计量模型依赖严格的假设条件,且受到时间趋势的显著影响,在面对外生冲击带来的数据突变时会使估计结果的准确度下降。相比传统计量模型,机器学习方法具有高维度、大样本数据的处理能力,模型灵活性较高,能够适应不同类型的数据和多样化的经济现象,并有效处理模型不确定性问题(刘岩、谢天,2019)。因此,尽管机器学习方法的解释能力较弱,在经济学研究中的应用仍需深入探索,但可以弥补传统计量模型的部分不足,使分析结果更加稳健可靠,本文将采用机器学习方法进行实证检验。

综上所述,在产业升级的研究中,大量文献从供给侧出发对产业升级动力进行了深入的理论阐释,但从需求侧揭示消费扩张牵引产业升级市场机制的研究仍存在不足;消费升级驱动产业升级理论模型从结构视角进行研究,对恩格尔效应和鲍莫尔效应的分析存在割裂,未能建立需求要素与技术创新及产品价格的内在联系;非位似偏好是将需求侧动力传递至供给侧的关键,但经典的偏好形式尚且存在无法同时刻画产品创新与结构升级的缺陷;而经典的计量模型虽能验证消费升级驱动产业升级的客观规律,但存在假设条件依赖和变量内生性的问题需要克服。为此,本文的研究工作将围绕消费扩张对产业升级的牵引机制展开,结合一般均衡理论模型和机器学习实证检验,构建一个全面反映消费需求扩张牵引研发创新与产业升级的理论框架,并通过机器学习方法对理论模型揭示的市场机制及传导路径加以验证。

本文的边际贡献在于:第一,本文拟结合 Stone-Geary 效用函数和质量升级中的效用函数改进非位似偏好,使模型可以同时刻画消费扩张牵引的创新与升级过程,并改进新产品无法替代旧产品的缺陷;第二,本文拟结合需求引致创新思想改进理论模型,补充从需求侧分析产业升级的市场机制研究,并克服现有理论模型重视结构忽略其他方面内涵、割裂恩格尔效应和鲍莫尔效应内在关联的两方面不足;第三,本文尝试运用机器学习方法进行实证检验,克服传统计量模型难以处理复杂非线性关系及内生性、受制于统计数据时间趋势和严格假设条件的问题,并通过部分依赖图和重要性程度图对机器学习结果进行进一步的解释与挖掘。

全文的结构安排如下:第一部分为问题的引入与文献综述;第二部分为理论模型的构建;第三部分为实证分析;第四部分为稳健性检验;第五部分为全文的结论。

二、理论模型

本文旨在结合需求引致创新理论构建消费扩张牵引产业升级的理论模型,通过改进非位似偏好刻画创新产品潜在需求,以产品创新的实现机制建立起需求侧恩格尔效应与供给侧鲍莫尔效应的联系,从而揭示需求侧消费扩张经由技术创新驱动产业升级的传导路径。为此,本文假设在一个封闭经济体中存在传统和新兴两个产业,以及居民、生产和研发三个部门。在居民部门,代表性居民进行消费和投资,通过提供劳动和资本获得收入,并通过购买传统产业和新兴产业生产的不同产品实现效用最大化,其消费偏好随收入水平提高发生改变。在厂商部门,传统产业厂商仅生产居民生活所需的必需品,新兴产业厂商根据产品的创新进程生产升级产品。研发部门则在权衡研发价值和研发成本的基础上做出研发决策,产品研发成功则将原有耐用品淘汰,形成新质生产力,引导产业的发展方向。本节将分别从居民部门、生产部门、研发部门、均衡条件四个部分对理论模型进行构建和介绍。

(一)居民部门

随着居民收入水平的提高,消费者将增加产品的消费数量,同时提升对升级产品的消费

偏好,进而从规模和结构两个方面实现消费需求扩张。为了刻画消费扩张所释放的需求侧动力向供给侧传递的路径,最为重要的是引入恰当的非位似偏好。Stone-Geary 效用函数是一种适用于消费升级研究的简便形式,该函数可以捕捉到消费者在满足基本需求后增加的升级产品需求,且能对不同产品设置初始的消费约束;质量阶梯模型中的偏好形式适用于产品质量创新的系列研究,在研发创新的推动下,产品质量不断提升,更加适应消费者升级的消费偏好。为了将产品创新和产品升级纳入同一个由消费需求驱动的理论框架,本文将 Stone-Geary 效用函数与质量阶梯模型的效用函数相结合,沿用常风险替代形式构建全新的非位似偏好,具体的效用函数如(1)式所示:

$$U(t)=\frac{\{[c_T(t)-\overline{c_T}]^{\varepsilon}[q(j)c(j,t)+\overline{c_N}]^{1-\varepsilon}\}^{1-\sigma}}{1-\sigma} \tag{1}$$

(1)式中:T 代表传统产业,只生产一种产品;N 代表新兴产业,产品不断进行质量创新,且不同质量的产品之间可以完全替代。$c_T(t)$ 为居民对传统产品的消费量,$\overline{c_T}$ 为居民维持生存的必需品;j 为升级产品的等级,$c(j,t)$ 为居民对质量为 $q(j)$ 升级产品的消费量,$\overline{c_N}$ 为居民前期留存的耐用品;ε 为居民对传统产品的偏好参数,σ 为跨期替代弹性的倒数。

在(1)式中,受到 $\overline{c_T}$ 和 $\overline{c_N}$ 的限制,消费者对传统产品的需求收入弹性小于 1,对升级产品的需求收入弹性大于 1(Kongsamut et al., 2001)。随着居民收入水平的提高,消费者对两类产品的消费总量增加,对创新产品与传统产品的消费比例也随之提高。由于不同质量等级的创新产品间可以相互替代,且消费者对高质量产品的偏好程度更高,扩张的升级产品消费需求将进一步塑造对下一等级升级产品的潜在市场需求,最终对研发部门形成创新激励。因此,(1)式的效用函数设定有助于同时揭示消费扩张牵引下产品创新和产业升级的市场机制,且低等级升级产品可以不断退出市场,是一项适用于本文研究目标的理论改进。

随后,在改进居民效用函数的基础上继续求解居民的最优化问题。假设在要素市场中存在资本和劳动两种生产要素,代表性居民通过资本租赁和提供劳动获得收入。居民取得的当期收入用于投资和消费,并在无限期的连续时间中进行效用最大化决策。(2)式即为居民终生效用最大化的目标函数和约束条件,ρ 为贴现率,$\dot{K}(t)$ 为投资水平,$r(t)$ 和 $K(t)$ 分别为资本收益率与资本存量,$w(t)$ 和 $L(t)$ 分别为工资与劳动数量,$p_T(t)$ 和 $p(j,t)$ 分别为传统产品与升级产品的价格。为了简便运算,忽略资本折旧。

$$\max_{[c_T(t),c(j,t),K(t),t]}\int_0^{\infty}e^{-\rho t}\frac{\{[c_T(t)-\overline{c_T}]^{\varepsilon}[q(j)c(j,t)+\overline{c_N}]^{1-\varepsilon}\}^{1-\sigma}}{1-\sigma}dt$$

$$\text{s.t. }\dot{K}(t)=w(t)L(t)+r(t)K(t)-c_T(t)p_T(t)-c(j,t)p(j,t) \tag{2}$$

投资 $\dot{K}(t)$ 是与资本相关的状态变量,因此在(2)式的基础上构建现值汉密尔顿方程:

$$H(t,K(t),c_T(t),c(j,t),\mu(t))=\frac{\{[c_T(t)-\overline{c_T}]^{\varepsilon}[q(j)c(j,t)+\overline{c_N}]^{1-\varepsilon}\}^{1-\sigma}}{1-\sigma}+$$
$$\mu(t)[w(t)L(t)+r(t)K(t)-c_T(t)p_T(t)-c(j,t)p(j,t)] \tag{3}$$

(3)式中:$c_T(t)$、$c(j,t)$ 为控制变量,$\mu(t)$ 为当期汉密尔顿乘子。分别求解汉密尔顿方程对传统产品消费量和升级产品消费量的一阶必要条件如(4)式、(5)式:

$$\frac{\partial H}{\partial c_T(t)}=0\Rightarrow\varepsilon[(1-\sigma)U(t)]^{-\frac{\sigma}{1-\sigma}}[c_T(t)-\overline{c_T}]^{\varepsilon-1}[q(j)c(j,t)+\overline{c_N}]^{1-\varepsilon}=\mu(t)p_T(t) \tag{4}$$

$$\frac{\partial H}{\partial c(j,t)}=0\Rightarrow(1-\varepsilon)q(j)[(1-\sigma)U(t)]^{-\frac{\sigma}{1-\sigma}}[c_T(t)-\overline{c_T}]^{\varepsilon}[q(j)c(j,t)+\overline{c_N}]^{-\varepsilon}=\mu(t)p(j,t) \tag{5}$$

将(4)式与(5)式相除,为了描述模型性质,参照李尚骜和龚六堂(2012)对两种产品的初始禀赋进行假设:$\overline{c_T}=\eta_T c_T(t)$,$\overline{c_N}=\eta_N c(j,t)$,η_T 、η_N 分别为居民消费必需品及留存耐用品的比例参数。得到两类产品消费数量的比例关系:

$$\frac{c(j,t)}{c_T(t)}=\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\cdot q(j)\cdot\frac{1-\eta_T}{q(j)+\eta_N}\cdot\frac{p_T(t)}{p(j,t)} \tag{6}$$

$c(j,t)/c_T(t)$ 可以理解为两类产品的消费结构,用 $cs(t)$ 表示,将 $cs(t)$ 对(6)式中的相关变量和参数求导,可知对传统产品的偏好下降、升级产品质量提升①、两类产品的初始消费禀赋减少、以及升级产品价格的回落均会促进居民消费升级。假设经济体中的代表性居民数量为1,消费总支出 $E(t)=c_T(t)p_T(t)+c(j,t)p(j,t)$,同时将传统产品的价格标准化为1,结合(6)式,可以得出居民对升级产品的消费量(7)式,求得在消费扩张驱动下居民对更高质量升级产品的市场需求。对更高质量升级产品市场需求的刻画是为研发部门计算创新潜在利润的关键,也是建立消费需求与研发创新之间关联的重要途径,即需求引致创新的核心机制。

$$c(j,t)=\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)q(j)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N}\cdot\frac{E(t)}{p(j,t)} \tag{7}$$

最后,根据居民生命结束时资本存量现值为0,得到横截性条件:

$$\lim_{t\to\infty}\mu(t)e^{-\rho t}K(t)=0 \tag{8}$$

(二)生产部门

在生产部门中,包含传统产品厂商和升级产品厂商两类厂商,传统产品厂商只在完全竞争市场中生产同一种生活必需品,升级产品厂商则需在产品质量上进行竞争和博弈,随着最高质量升级产品研发成功,生产最高质量升级产品的厂商会将生产其他质量升级产品的厂商挤出市场,并在下一轮创新成功前具有一定垄断势力,可以根据自身利润最大化制定价格。

假设传统产品厂商以资本和劳动作为生产要素进行生产,生产函数采用经典的柯布-道格拉斯形式,生产技术规模报酬不变:

$$Y_T(t)=A_T K_T(t)^{\alpha}L_T(t)^{1-\alpha} \tag{9}$$

(9)式中:$Y_T(t)$ 为传统产品产出,A_T 为生产传统产品的技术水平,$K_T(t)$ 、$L_T(t)$ 分别为资本投入和劳动投入,α 为资本产出弹性。将传统产品厂商的利润函数分别对 $K_T(t)$ 、$L_T(t)$ 求导,经过整理得到 $K_T(t)$ 与 $L_T(t)$ 的数值关系,将其与 $Y_T(t)=1$ 共同代入(9)式解出 $K_T(t)$ 和 $L_T(t)$,再代入 $MC_T(t)=r(t)K_T(t)+w(t)L_T(t)$,即可得出生产传统产品的边际成本:

$$MC_T(t)=A_T^{-1}\left(\frac{r(t)}{\alpha}\right)^{\alpha}\left(\frac{w(t)}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha} \tag{10}$$

为简便运算,将升级产品厂商的生产函数假设为与传统产品厂商相同的形式。j 等级升

①$cs(t)$ 对 ε、η_T、η_N、$p(j,t)$ 求偏导数的结果较为直观,符号易于判断,$cs(t)$ 对 $q(j)$ 求导的结果如下,$\frac{\partial cs(t)}{\partial q(j)}=\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\cdot\frac{p_T(t)}{p(j,t)}\cdot(1-\eta_T)\cdot\frac{q(j)+\eta_N-q(j)}{[q(j)+\eta_N]^2}>0$,因此发挥正向作用。

级产品的产出为 $Y(j,t)$,其技术水平为 $A(j,t)$,资本产出弹性依然为 α 。

$$Y(j,t)=A(j,t)K(j,t)^{\alpha}L(j,t)^{1-\alpha} \tag{11}$$

由于生产函数的形式相同,两类厂商在边际成本的表达式中仅存在技术水平的差别。前文假设了传统产品价格为 1,其完全竞争属性导致了传统产品的边际成本也为 1,则生产升级产品的边际成本 $MC(j,t)$ 可以表示为:

$$MC(j,t)=A(j,t)^{-1}\left(\frac{r(t)}{\alpha}\right)^{\alpha}\left(\frac{w(t)}{1-\alpha}\right)^{1-\alpha}=A_T/A(j,t) \tag{12}$$

进一步,可以得到生产质量等级为 j 的升级产品利润函数:

$$\pi(j,t)=[p(j,t)-MC(j,t)]\cdot c(j,t) \tag{13}$$

由于在(7)式中,升级产品 j 的价格 $p(j,t)$ 与消费数量 $c(j,t)$ 无法脱离消费支出 $E(t)$ 单独表示,在求解利润最大化时也无法避免存在相关关系,将会对后文的研发价值计算带来障碍。为此,本文引入简单的线性需求函数,假设 $p(j,t)=a-b\cdot c(j,t)$, a 和 b 分别为需求曲线的趋势项和斜率,可以理解为从市场饱和度的角度为需求与价格的关系加入限制。将需求函数代入(13)式并对升级产品 j 的需求量求一阶导数,即可得出升级产品 j 的价格表达式:

$$p(j,t)=\frac{a+MC(j,t)}{2} \tag{14}$$

(三)研发部门

升级产品的研发决策需要分成两个部分考虑,首先,研发部门需要判断是否进行研发,只有研发价值大于研发成本,进行研发创新才有利可图;随后,由生产厂商制定最优价格,以实现生产新产品的利润最大化。而研发价值的计算依赖于价格的求解,因此在需求引致创新模型中往往需要先计算价格,再计算研发价值。升级产品的价格已由(14)式计算得出,将(7)式和(14)式代入(13)式,并假设居民的投资率为 s ,整理得到(15)式:

$$\pi(j,t)=\frac{a-MC(j,t)}{a+MC(j,t)}\cdot\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)q(j)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N}\cdot(1-s)\cdot y(t) \tag{15}$$

(15)式中:$y(t)$ 为经济体中的居民总收入,$(1-s)\cdot y(t)$ 即为居民的消费总支出 $E(t)$ 。

随后,在(15)式的基础上进一步计算研发价值。由于研发创新的不断进行,创新成功的升级产品不能持续维持垄断地位,在更高质量等级的升级产品进入市场后,原有升级产品退出市场,其垄断权不再具有价值。假设质量为 $q(j)$ 的升级产品研发成功后,经过时间 $t(j)$,质量为 $q(j+1)$ 的升级产品研发成功,生产厂商在此期间取得的垄断利润即为研发价值。假设居民收入的增长速度为 g ,为了便于计算,假设升级产品的边际成本不随时间变化,以 $MC(j)$ 表示,技术水平为 $A(j)$,且在平衡增长路径上居民的投资率也不随时间变化,$\bar{r}$ 为 t 到 $t+t(j)$ 期间资本收益率的平均值,因此可以将研发价值整理为:

$$V(j,t)=\int_t^{t+t(j)}\pi(j,t)\cdot e^{-\bar{r}(\nu-t)}d\nu=\frac{e^{(g-\bar{r})t(j)}-1}{g-\bar{r}}\cdot\frac{a-MC(j)}{a+MC(j)}\cdot(1-s)\cdot\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)q(j)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N} \tag{16}$$

接下来,参照 Aghion 和 Howitt(1992)计算垄断权的持续时间。假设质量 $q(j)$ 的升级产品在单位时间内创新成功的概率为 $pr(j)$,与研发成本 $Z(j)$ 和生产条件 $\varphi(j)$ 相关,失去垄断地位的概率符合泊松分布过程。将 $\varphi(j)$ 设置为最便于计算的 $1/[\xi q(j)]$ 形式,$\xi>0$ 为

研发的成本参数,这样得到的(17)式意味着升级产品的质量越高,研发成功概率的越低。

$$pr(j)=Z(j)\cdot\varphi(j)=Z(j)/[\xi q(j)] \tag{17}$$

在设置研发成功概率的基础上,为了得到研发价值的期望值,需要通过垄断地位持续时间 $t(j)$ 的概率密度函数进行计算①,最终得到研发价值的预期现值 $E(V_j)$ 如(18)式:

$$E(V_j)=\frac{1}{pr(j)+\bar{r}-g}\cdot\frac{a-MC(j)}{a+MC(j)}\cdot(1-s)\cdot\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)q(j)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N} \tag{18}$$

为分析创新的影响因素,结合升级产品的研发价值度量创新水平 $N(t)$ 。研发价值越高,创新活动越为活跃,ψ 为创新厂商对研发价值的敏感系数,$\psi>0$。

$$N(t)=\psi pr(j)E(V_j) \tag{19}$$

(四)均衡条件

在前文对居民部门、生产部门以及研发部门的设定下,增长的居民收入通过消费规模及消费结构牵引了新兴产业的研发创新。为了进一步分析消费扩张对研发创新和产业升级的影响,本文将继续通过均衡条件得出创新产出和产业升级的表达式,揭示需求侧动力传导至供给侧的作用机制。

首先,结合升级产品的自由进入条件刻画研发部门的创新产出。对于尚未研发的升级产品,只有其研发价值高于研发成本时才会开启研发进程。因此,升级产品的自由进入条件即为 $pr(j)\cdot E(V_j)=Z(j)$,此时研发价值与研发成本相等。结合(17)式、(18)式得到(20)式:

$$pr(j)=\frac{a-MC(j)}{a+MC(j)}\cdot\frac{1-s}{\xi}\cdot\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N}-\bar{r}+g \tag{20}$$

结合(17)式和(19)式,得出创新水平的表达式:

$$N(t)=\psi\left[\frac{a-MC(j)}{a+MC(j)}\cdot(1-s)\cdot\frac{(1-\varepsilon)(1-\eta_T)}{(1-\eta_T+\varepsilon\eta_T)q(j)+\varepsilon\eta_N}+(g-\bar{r})\xi\right]\cdot q(j) \tag{21}$$

根据需求引致创新的研究思路,将创新水平对(21)式中的相关变量求导,得到$\partial N(t)/\partial\varepsilon<0$,$\partial N(t)/\partial\eta_T<0$,$\partial N(t)/\partial\eta_N<0$,$\partial N(t)/\partial q(j)>0$,$\partial N(t)/\partial g>0$,$\partial N(t)/\partial MC(j)<0$,说明创新水平与居民对传统产品的偏好负相关,与比例参数负相关,与升级产品质量水平正相关,与居民收入水平正相关,与升级产品边际生产成本负相关,需求侧的相关变量对创新的影响作用显著,符合需求引致创新理论的作用机制论证。

随后,根据产品市场的出清条件:$c_T(t)=Y_T(t)$,$c(j,t)=Y(j,t)$,可以将产业升级表示为:

$$ts(t)=\frac{Y(j,t)p(j,t)}{Y_T(t)p_T(t)}=\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\cdot\frac{(1-\eta_T)q(j)}{q(j)+\eta_N}\propto lp(t) \tag{22}$$

(22)式中:$lp(t)$为产业整体的劳动生产率②,即产值与就业人数之比。

在本文构建的理论模型中,产业升级可以理解为创新所创造的升级产品市场价值与非创新产品的市场价值之比。由于创新产品具有更高的技术水平和生产效率,创新产品市场价值的提升将带动产业整体的生产效率提升,因此本文构建的产业升级指标正相关于产业

①计算方式参照 Barro 和 Sala-I-Martin(2003)。

②引入劳动生产率的目的在于简化实证检验,计算分省份资本存量需要对大量的投资、折旧数据进行补全和估算,且 21 世纪以来中国的劳动生产率提升显著,反映产业升级程度具有一定的合理性。

整体的劳动生产率。$\partial ts(t)/\partial\varepsilon<0$,$\partial ts(t)/\partial\eta_T<0$,$\partial ts(t)/\partial\eta_N<0$,$\partial ts(t)/\partial q(j)>0$,说明产业升级受到居民消费偏好、生存必需品及留存耐用品的消费占比、升级产品质量的共同影响。对传统产品的偏好下降,将促进产业升级;对必需品和自我提供升级品的消费占比下降,也将促进产业升级;在李尚骜和龚六堂(2012)中,农业维持生存消费占比、服务业自我提供服务占比均与行业收入水平负相关,本文也假设 η_T 和 η_N 是收入水平的函数,必需品和留存耐用品的消费比例随收入增加而下降,说明收入增长是产业升级的潜在动力;升级产品质量也对产业升级具有积极影响,而质量的提升来源于创新,因此创新也是实现产业升级的关键。最终,经由创新和产业升级,需求侧动力得以促进新质生产力的培育。

综合上述一般均衡模型各部门的构建思想,消费扩张牵引研发创新与产业升级的理论模型预期实现了下列市场机制的刻画:首先,收入水平在预算约束中限制传统产品和升级产品的总消费量,随着收入水平的不断提高,居民用于消费的总支出增加、对升级产品的偏好提高,进而在规模增加和结构升级的作用下共同实现消费扩张;随后,扩张的消费塑造了市场对更高质量升级产品的潜在需求,研发部门在潜在利润的激励下进行创新,创新成功的新质产品交由升级产品厂商生产,挤出上一等级产品,并在下一等级产品进入市场前具有垄断优势;最终,高质量升级产品更加适应消费者升级的消费需求,占据消费者更多的消费支出,带动创新产品市场价值及经济体生产效率的提升,进而促进了产业升级。区别于从供给要素分析新质生产力的研究,本文基于市场需求和居民消费潜力揭示培育新质生产力的需求侧传导路径,以需求引致创新刻画市场机制驱动的自发选择过程,更加符合因地制宜的现实要求。

三、实证分析

在前文构建消费扩张牵引研发创新与产业升级理论模型的研究基础上,本节将继续收集宏观统计数据,运用机器学习方法进行实证分析,验证理论模型所得结论,并对供需两侧变量的非线性关系展开探究。由于传统计量模型的构建形式相对固定,受到假设条件的严格限制,且存在双向因果关系导致的内生性,本文尝试采用更加灵活的机器学习方法,分别构建以研发创新和产业升级为被解释变量的模型,揭示消费规模和消费结构等需求侧变量在其中发挥的驱动作用。本节的研究内容从机器学习方法选择与模型构建、数据收集与指标设计、实证分析三个部分展开,在验证理论推理的基础上挖掘更多计量性质。

(一)机器学习方法选择与模型构建

消费升级对产业升级的牵引作用在传统计量研究中已经得到大量验证,然而作为互为因果的两个变量,在单方程检验时会受到内生性问题的影响,以至于得到消费规模扩大难以推动产业合理化发展的结论(龙少波、丁点尔,2022)。在传统计量研究中,需要满足复杂设定以保持假设检验精确可靠,在增减解释变量时需要在多重共线性和遗漏变量带来内生性的问题间进行权衡。作为一种以数据驱动的研究方法,机器学习方法仅要求随机变量间具有联合概率分布,无需对模型形式进行限制(方顺超、朱平芳,2024)。与此同时,机器学习方法还能够在样本有限时通过交叉验证提高准确性、有效处理变量的非线性关系与不确定性、在集成模型中排序变量的重要性程度。在常用的监督学习方法中,随机森林和 XGBoost 具有较好的解释能力,因此本文采用上述两种机器学习方法构建基准模型进行实证研究。

随机森林和 XGBoost 均是基于决策树的集成学习方法。随机森林方法通过集成多棵决

策树改进单一决策树的不足,首先通过装袋法对原始数据集进行多次有放回抽样,生成多个不同的训练子集;然后随机选取部分变量作为候选分裂变量生成决策树,降低不同决策树间的相关性,以所有决策树得到的平均值作为拟合值。XGBoost 则是一种基于梯度提升的集成学习方法,通过自助法序列化构建决策树,每一棵新树优化上一棵树的预测误差,通过优化损失函数提升梯度,并在损失函数中引入正则化项约束叶节点权重以避免过度拟合,在迭代中提升模型的处理速度与预测精度。随机森林方法和 XGBoost 方法在探究消费扩张牵引研发创新与产业升级的回归问题研究中具有较高的适用性,两者均能处理变量的非线性关系并提供重要性排序。

下面,基于随机森林方法和 XGBoost 方法,分别构建创新水平和产业升级的训练模型:

$$\widehat{INNO} = \hat{f}(X, Z) \tag{23}$$

$$\widehat{TS} = \hat{f}(X, INNO, Z) \tag{24}$$

(23)式为创新水平模型,$\widehat{INNO}$ 为创新水平的拟合值,$\hat{f}$ 表示随机森林或 XGBoost 机器学习方法,X 为反映消费需求的核心解释变量,Z 为回归过程中的其他控制变量。(24)式为产业升级模型,$\widehat{TS}$ 为产业结构的拟合值,除反映消费需求的解释变量外,将创新水平 $INNO$ 也作为产业升级的解释变量,用以研究创新在产业升级过程中发挥的中介作用。

(二)数据收集与指标设计

在选择机器学习方法并构建训练模型后,本文收集统计数据,根据理论模型分析市场机制的需要进行指标设计。机器学习方法可以处理高维度大样本数据,本文在考虑数据可得性的基础上,选定以 2000—2022 年全国 31 个省份的面板数据为研究样本。数据来源为 CSMAR 数据库、中经网统计数据库以及各省份的统计年鉴,部分缺失值采用线性内插法补全。

首先,构建本文的被解释变量,分为创新水平和产业升级两个指标。(1)创新水平:创新水平是一省份在进行研发活动时所取得研发成果的综合体现,可以通过专利授权数衡量,为了保证指标在各省份间的可比性,采用专利授权数与人口之比表示创新水平。相较于创新产出,也有学者通过创新投入衡量创新水平,考虑到专利授权滞后于专利申请,本文以专利申请数与人口之比进行稳健性检验。(2)产业升级:生产效率提高和产业结构升级是在实证研究中度量产业升级的两种主要方式,生产效率的提高则可以通过劳动生产率表示(李永友、严岑,2018;史丹等,2023),衡量产业结构升级的指标可以进一步划分为产业结构高级化和产业结构合理化(干春晖等,2011)。结合理论模型推导,本文在基准实证检验中以劳动生产率表示产业升级,并参照汪伟等(2015)、龙少波和丁点尔(2022)重构产业结构升级指数用于稳健性检验。汪伟等(2015)对三次产业增加值占比分别赋予 1∶2∶3 的权重进行加权求和,本文则将权重修改为三次产业的劳动生产率,确保升级产品增加值在指数中具有更高权重。

随后,构建衡量消费扩张的核心解释变量,本文从收入水平、消费规模以及消费结构三个方面进行表示。(1)收入水平:收入水平提高是居民扩张消费的动力,也是恩格尔效应发挥作用的基础,只有在可支配收入和收入预期提高的前提下,消费者才能进行消费升级,对更大规模、更高等级的产品产生需求,本文对人均可支配收入取自然对数表示收入水平。(2)消费规模:随着收入水平的提高,消费者将首先扩大自身的消费支出,从而拉动产品的潜

在需求,本文通过社会消费品零售总额度量消费规模,将其与人口相除进行可比性处理,并取自然对数。(3)消费结构:消费结构是在消费规模外衡量消费升级的另一个重要方面,在需求引致创新的过程中,消费者对升级产品的需求收入弹性增大,研发创新的利润激励也随之提升。本文通过恩格尔系数和高端消费占比反映消费结构,恩格尔系数为人均食品消费支出与人均消费支出之比,高端消费占比为人均高端消费支出与人均消费支出之比。参考杨伟明等(2021)计算八大类消费的需求收入弹性①,居住、生活用品及服务、交通通信、医疗保健四类消费支出的需求收入弹性高于均值,因此将上述四类消费支出之和定义为高端消费支出。

最后,构建本文的控制变量,分别从城镇化水平、对外贸易水平、财政支出水平、投资水平、基础设施水平、经济活跃程度、受教育水平、公共服务水平八个方面设计指标。② 结合上述,实证研究中所用到各项指标的计算方式与描述统计如表 1 所示。

表 1　　指标计算方式与描述统计

变量	指标含义	计算方式	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
INNO	创新水平	专利授权数/人口(件/万人)	713	8.076	13.492	0.026	92.809
*INNO*1	创新水平(稳健性检验)	专利申请数/人口(件/万人)	713	13.047	19.797	0.056	140.629
LP	产业升级	GDP/就业人数(亿元/万人)	713	7.146	5.697	0.548	36.756
TS	产业升级(稳健性检验)	三次产业的增加值占比以劳动生产率为权重加权求和	713	8.589	5.085	1.586	19.960
INC	收入水平	人均可支配收入(元)的自然对数	713	9.823	0.689	8.458	11.339
TC	消费规模	社会消费品零售总额/人口(元/人)的自然对数	713	9.214	0.949	6.819	11.193
ENG	恩格尔系数	人均食品支出/人均消费支出	713	0.345	0.078	0.082	0.518
CS	高端消费占比	人均高端消费支出/人均消费支出	713	0.416	0.077	0.208	0.636
UR	城镇化水平	城镇常住人口/年末常住人口	713	0.512	0.169	0.149	0.898
TR	对外贸易水平	进出口总额/GDP	713	0.297	0.353	0.008	1.711
GOV	财政支出水平	一般预算支出/GDP	713	0.245	0.182	0.069	1.354
INV	投资水平	固定资产投资总额/GDP	713	0.680	0.292	0.201	1.597
ROAD	基础设施水平	公路里程/省份面积(公里/万平方公里)	713	0.785	1.107	0.018	26.650
ELEC	经济活跃程度	电力消费量/人口(亿千瓦时/万人)	713	0.375	0.290	0.009	1.749
EDU	受教育水平	五种学历分组加权计算(年)	713	8.713	1.232	4.194	12.701
BED	公共服务水平	医疗卫生机构床位数/人口(张/万人)	713	42.981	16.509	15.273	84.318

(三)实证分析

接下来,根据(23)式、(24)式构建的机器学习模型,结合上文的指标设计,以 2000—2022 年 31 个省份为样本训练随机森林方法和 XGBoost 方法。按照 7∶3 的比例将样本数据随机划分为训练集和测试集,使用训练集数据进行训练,使用测试集数据进行预测,最后将测试集的真实值与预测值进行对比。为了提高预测精度,省份和年份以虚拟变量的形式加入模型。在训练随机森林方法的过程中,为了降低决策树之间的相关性,每一节点随机选择总变量数量的 1/3 作为候选分裂变量。两种方法最终得到的拟合优度如表 2 所示:

①由于篇幅所限,计算各类消费需求的收入弹性回归结果及历年数值见附录 1。

②由于篇幅所限,控制变量的详细说明见附录 2。

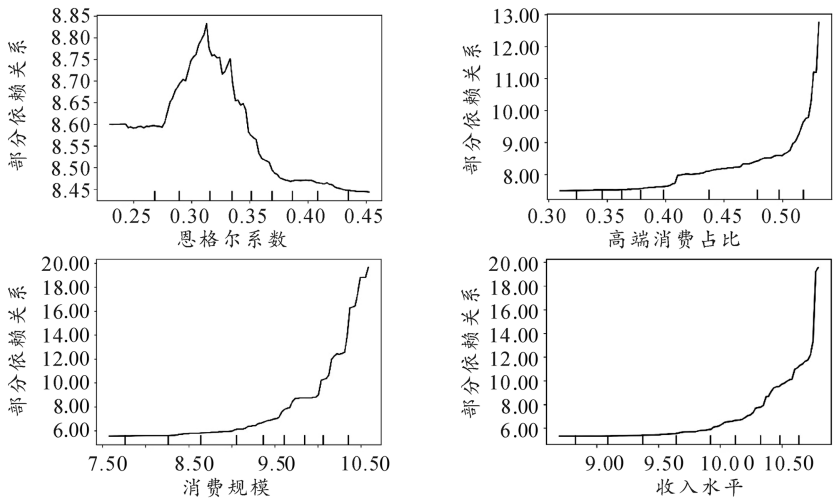
表 2　　随机森林和 XGBoost 方法下创新水平与产业升级的拟合优度

方法	*INNO*		*LP-INNO*	
	训练集	测试集	训练集	测试集
随机森林	0.9890	0.9532	0.9965	0.9768
XGBoost	0.9999	0.9632	0.9999	0.9761

不管是以创新水平还是以产业升级为被解释变量的模型,通过随机森林和 XGBoost 方法进行训练,得到的拟合优度均高于 0.9。进一步绘制散点图,以测试集预测值为横轴、测试集真实值为纵轴,并加入 45°趋势线。① 在两种方法下,创新水平和产业升级拟合图中的观测点均集中在 45°线附近,体现出模型具有较高的预测精度。

尽管机器学习模型在进行预测时具有明显优势,但其无法像传统计量模型一样得出各个变量的回归系数,导致模型的解释能力较差,这也是机器学习方法难以应用于经济学研究的重要原因。为了在模型训练的基础上验证消费扩张牵引研发创新与产业升级的市场机制,揭示各核心解释变量在模型中发挥的非线性作用,本文将借助部分依赖图和变量重要性图进行进一步的计量研究,从方法黑箱中获取更多模型信息。部分依赖图是一种跨模型的全局解释方法,可以显示特征变量对机器学习模型预测结果的边际效应,适用于揭示特征变量与显示目标间的复杂关系。变量重要性图则是对各特征变量重要性程度进行的排序,适用于比较不同变量在预测过程中发挥的作用。在本文的研究中,将着重观察需求侧变量对于解释创新的重要性程度、研发创新对于解释产业升级的重要性程度。

图 2 即为随机森林方法下创新水平需求侧解释变量的部分依赖图。



注:图片由 Spyder(Python3.11)软件编程整理得出,横轴上方的刻度线为变量的十分位数,下同。

图 2　随机森林方法下创新水平需求侧解释变量的部分依赖图

由图 2 可知,对于创新水平的解释上,恩格尔系数整体呈现出负向趋势,高端消费占比、消费规模以及收入水平的作用整体为正,可以初步说明消费结构升级、消费规模增大以及收入水平提高对研发创新均具有促进作用。进一步观察各项解释变量对创新水平的非线性影响,恩格尔系数、高端消费占比两个表示消费结构的变量对创新水平的偏效应呈现明显的非线性

①由于篇幅所限,随机森林和 XGBoost 方法下,创新水平产业升级的拟合图见附录 3。

趋势。对于恩格尔系数的部分依赖图,恩格尔系数在 0.27~0.32 的区间内对创新水平的作用为正,在 0.32~0.38 区间内作用为负且呈现出较快的下降趋势,说明居民的生存性消费占比对研发创新具有门限效应,一味通过降低低端产品消费提升消费结构不能确保对创新的激励作用;对于高端消费占比的部分依赖图,高端消费占比在 0.30~0.40 区间内偏效应曲线的斜率较小,在超出0.50后斜率快速上升,说明高端消费需求需要经历积累才能对研发创新起到显著的促进作用。消费规模、收入水平偏效应曲线的变化规律与高端消费占比偏效应曲线相近,均呈现先平缓上升后快速上升的趋势,说明创新决策相较于消费扩张具有一定滞后性。

随后,绘制创新水平的变量重要性程度图如图 3 所示,可以得知收入水平、消费规模对创新水平占据最为重要的解释地位,高端消费占比的解释力处于前列,而恩格尔系数对预测创新水平的贡献程度较弱。总体来看,需求侧的解释变量对创新水平具有较高的重要性程度,说明消费扩张可以通过市场机制牵引研发创新。对比各需求侧变量发挥的作用可以发现,收入水平、消费规模的重要性程度明显超出消费结构,说明通过提高居民收入带动消费规模提升,对创新的激励作用强于促进消费结构升级。切实提高居民收入方能增强消费信心,成为缓解有效需求不足的突破口,为新质生产力的培育提供方向。

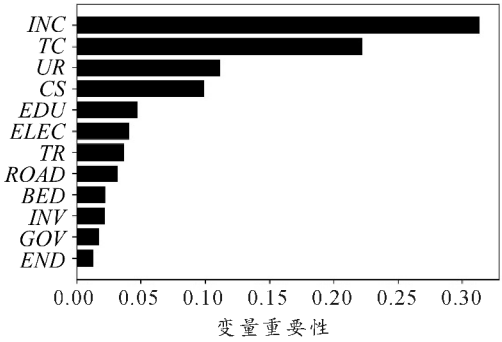


图 3　随机森林方法下创新水平各解释变量的重要性程度图

图 4 为随机森林方法下产业升级需求侧解释变量的部分依赖图。

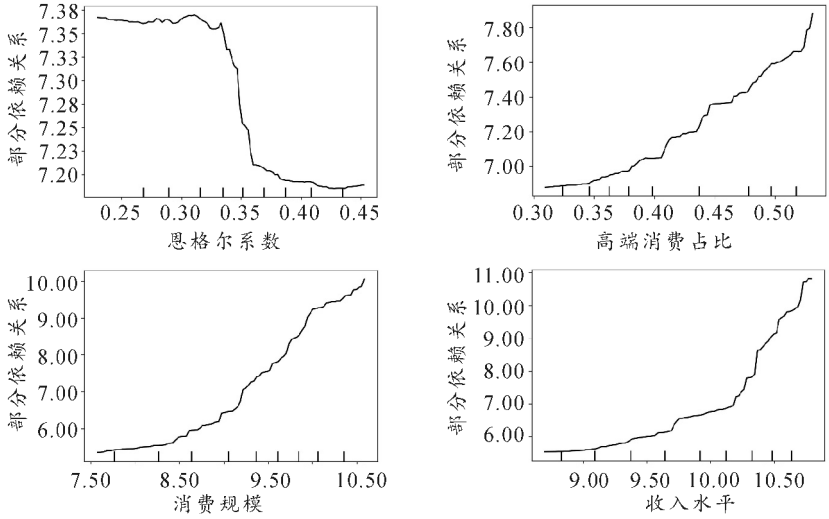


图 4　随机森林方法下产业升级需求侧解释变量的部分依赖图

由图 4 可知,从整体趋势来看,恩格尔系数下降、高端消费占比提升、消费规模增大以及收入水平提高对产业升级均具有促进作用。从非线性关系来看,恩格尔系数在 0.34~0.39 区间对产业升级的偏效应显著下降,在其他区间内相对平稳;高端消费占比的偏效应曲线在超过 0.30 的区间内平缓上涨,但曲线位于 45°线以下,斜率逐渐增大;消费规模和收入水平的偏效应曲线也表现出斜率由小转大的趋势。因此,从部分依赖图中仍然可以得出消费升级对产业升级的非线性效应。

另外,图 5 为产业升级对创新水平的部分依赖图,研发创新对产业升级的贡献始终为正,偏效应曲线的斜率逐渐下降。创新水平在 0~12.00 的区间内对产业升级的边际促进效应较强,在 12.00 以后拉动创新的能力趋于平缓。由此可知,在技术水平较低的时期,增加研发投入可以高效驱动产业升级,但随着技术水平提高,实现技术突破的难度增大,研发创新对产业升级的驱动作用逐渐下降,此时的生产结构也足以满足居民的消费需求。

最后,类似于图 3,绘制产业升级各解释变量的重要性程度图。如图 6 所示,收入水平、创新水平、消费规模对解释产业升级的重要程度分别排在第 1、2、3 位,高端消费占比的重要性处于中间位置,恩格尔系数的重要性程度依然相对较弱。由此可见,需求侧变量对产业升级的解释占据相对重要的位置,消费扩张带来的需求侧动力可以牵引产业升级;而创新水平对产业升级的重要程度较高,在消费扩张驱动产业升级的过程中发挥了重要的中介作用,是实现产业升级的关键途径。因此,在市场需求的驱动下,企业不断提升产品质量并研发新产品,通过创新在新兴产业建立规模优势,推动产值增加及产业升级,进而培育出适应高质量发展要求的新质生产力。

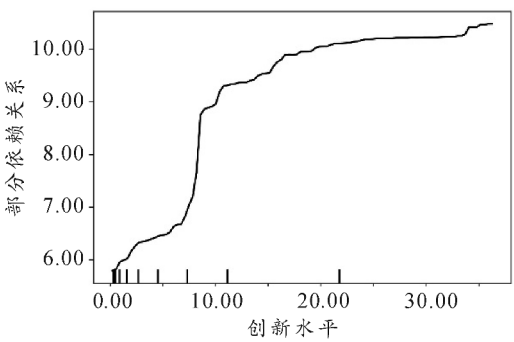


图 5　产业升级对创新水平的部分依赖图

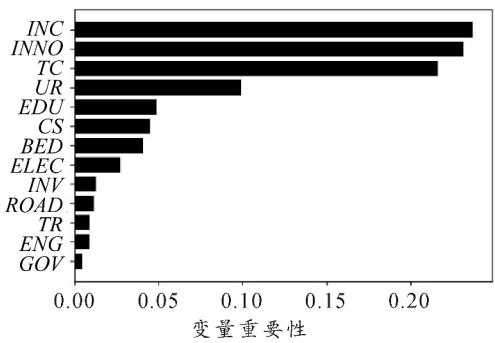


图 6　产业升级各解释变量的重要性程度图

综合实证部分的研究,本节基于随机森林和 XGBoost 两种机器学习方法分别对创新水平和产业升级的影响因素进行实证检验,并通过部分依赖图和变量重要性图对实证结果进行解释与挖掘,验证了理论模型的合理性,并揭示出供需两侧变量间的非线性特征。根据各解释变量部分依赖图的整体趋势,消费结构升级、消费规模扩大、收入水平提升均可促进研发创新与产业升级,且创新水平在实现产业升级的过程中发挥中介作用,验证了消费扩张牵引研发创新与产业升级的市场机制;根据部分依赖图的非线性特征以及变量重要性程度图,消费结构在促进研发创新与产业升级的过程中具有非线性特征,且收入水平和消费规模的驱动作用强于消费结构,可以为缓解有效需求不足、培育新质生产力提供一定的政策启示。

四、稳健性检验

为了确保实证结论的准确性,本文将通过三种方式进行稳健性检验,分别为:改变训练集与测试集的样本比例、替换被解释变量以及更换机器学习方法。

(一)重新划分训练集与测试集

首先,通过重新划分训练集与测试集进行稳健性检验,将训练集与测试集的比例由基准模型的 7∶3 修改为 6∶4 和 5∶5,使用训练集数据重新对创新水平模型和产业升级模型进行训练,得到的拟合优度均在 0.9 以上①,重新划分样本后的模型仍然具有较好的拟合效果。

(二)替换被解释变量

随后,通过替换创新水平和产业升级指标进行稳健性检验,运用专利申请数与人口之比衡量创新水平,运用以劳动生产率为权重对三次产业增加值占比进行加权计算得到的指数衡量产业升级,得到的部分依赖图和重要性程度图如图 7、图 8 所示。在图 7 中,需求侧各解释变量变化的整体趋势与基准模型相同,收入水平、消费规模的重要性强于消费结构。在图 8 中,消费结构、消费规模偏效应的非线性特征加剧,创新水平对产业升级的解释程度略有下降,高端消费占比的解释程度有所上升,但需求侧变量仍然具有较高的重要性。因此,替换被解释变量后,模型结果与基准模型趋于一致,所得结论具有一定的稳健性。

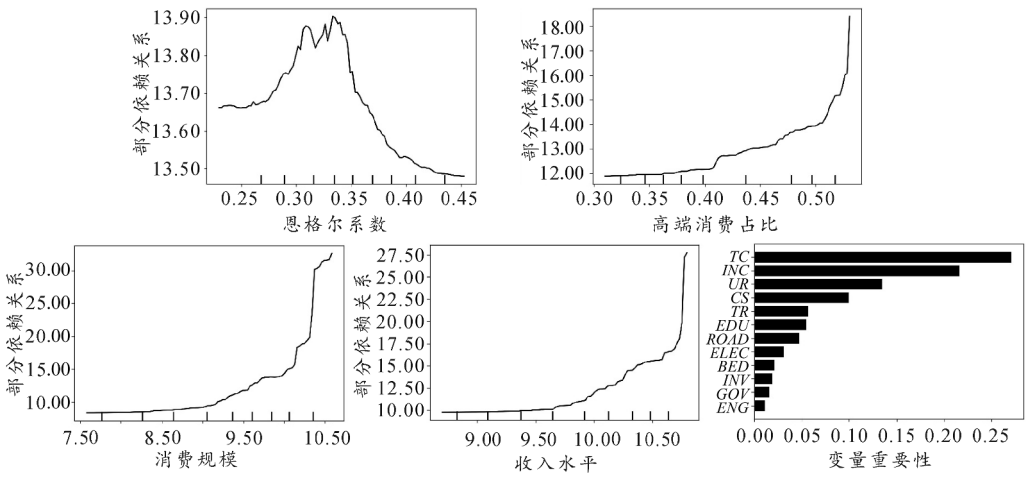


图 7　随机森林方法下替换指标后创新水平模型的部分依赖图与重要性程度图

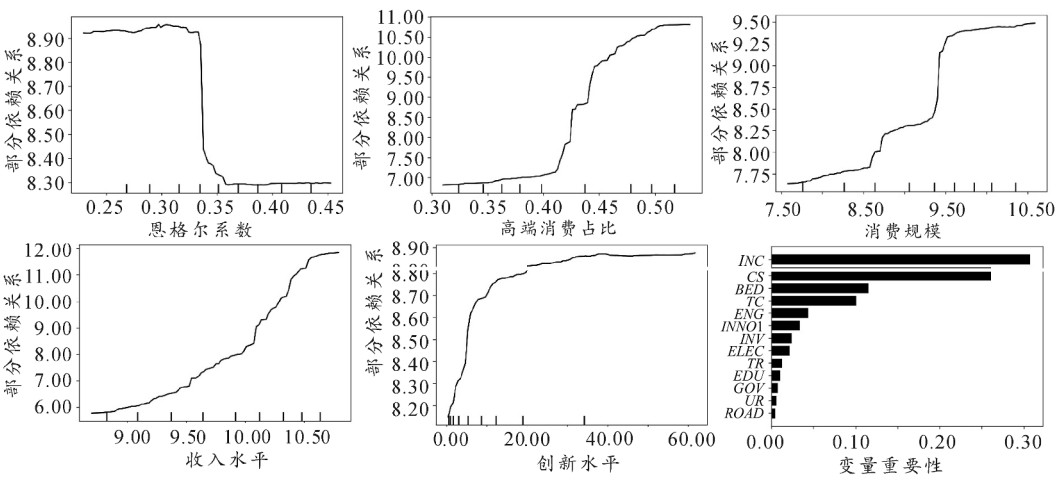


图 8　随机森林方法下替换指标后产业升级模型的部分依赖图与重要性程度图

①由于篇幅所限,稳健性检验部分的拟合优度图表见附录 4。

(三)更换机器学习方法

最后,通过支持向量机这种解释能力较弱的机器学习方法进行稳健性检验。支持向量机需要将解释变量标准化并进行特征转换,变换后的数据难以直观体现需求扩张对研发创新与产业升级的影响,仅能通过部分依赖图观察解释变量偏效应的线性变化规律。绘制支持向量机方法下创新水平和产业升级各解释变量的部分依赖图,整体规律仍与基准模型保持一致。①

五、结论

面对外部风险上升、社会预期偏弱、以及有效需求不足的严峻挑战,充分发掘国内大规模市场优势,以消费需求推动产业升级并培育新质生产力,是实现中国经济高质量发展的关键。为了系统研究消费扩张牵引产业升级的市场机制,本文通过构建一般均衡模型揭示需求侧动力经由研发创新促进产业升级的传导路径,并通过机器学习方法进行验证。在理论研究方面,本文结合 Stone-Geary 效用函数和质量升级中的效用函数改进非位似偏好形式,基于需求引致创新思想改进消费升级驱动产业升级的数理模型;在实证研究方面,本文采用随机森林、XGBoost 等机器学习方法对理论模型性质加以验证,并通过部分依赖图和变量重要性程度图分析各解释变量的非线性作用及重要性。最终得到的主要结论如下:

第一,本文结合 Stone-Geary 效用函数和质量升级效用函数改进的非位似偏好形式,克服了已有模型中消费结构固定、产品无法退出市场以及难以同时分析创新与产业升级等问题,从而奠定了刻画消费扩张牵引产业升级市场机制的理论模型基础。包含传统产业与新兴产业两部门的 Stone-Geary 效用函数易于刻画恩格尔效应带来的升级产品需求收入弹性提升,以及随之扩大的消费规模和升级的消费结构;将产品质量引入消费者对升级产品的偏好易于实现新产品对旧产品的替代,产业内升级也可以由此反映。进一步将两种效用函数结合,即可刻画出消费扩张带来的需求侧动力向供给侧研发创新及产业升级传递的完整过程。

第二,本文基于需求引致创新思想构建理论模型,不仅成功揭示出消费扩张牵引产业升级的市场机制,还建立了恩格尔效应与鲍莫尔效应的内在联系,并从消费规模和创新视角对结构升级的理论内涵进行了补充。理论模型可以得出如下的市场机制:随着收入水平的不断提高,居民用于消费的总支出增加、对升级产品的偏好提高,进而在规模扩大和结构升级的作用下共同实现消费扩张;扩张的消费塑造了市场对更高质量升级产品的潜在需求,研发部门在潜在利润的激励下进行创新,创新成功的新质产品交由升级产品厂商生产,高质量升级产品更加适应消费者升级的消费需求,带动新兴产业的产值增加进而促进了产业升级。从中可知,研发创新在促进产业升级过程中发挥了中介作用,是将恩格尔效应在需求侧塑造潜在需求与鲍莫尔效应在供给侧配置生产要素相连的关键途径。

第三,本文通过机器学习方法挖掘变量间的非线性关系,实现了对理论结论合理性的验证,并在一定程度上规避了传统计量模型对假设条件的依赖和对内生性问题的处理。从部分依赖图来看,需求侧解释变量的偏效应表现出与理论结论一致的整体趋势,且消费结构对

①由于篇幅所限,支持向量机方法下的部分依赖图见本文附录 5。

创新水平和产业升级的影响有非线性效应,需要恩格尔系数和高端消费占比的变化积累至一定的临界值,对创新和产业升级的推动作用才会显著增强。从变量重要性程度图来看,创新水平对产业升级的预测具有较高的重要性,与需求侧因素共同推动产业升级,且不管是在创新水平还是产业升级的模型中,收入水平对被解释变量的重要性程度均超过消费结构,消费规模的重要性程度也处于较高水平。由此可见,消费结构在促进研发创新与产业升级的过程中发挥了明显的非线性作用,收入水平提高对创新和产业升级的激励强于消费结构升级。

由数理分析与机器学习验证得出的结论可以为增强扩大内需作用、培育新质生产力、推动经济高质量发展提供一定的政策启示。一方面,充分尊重市场规律、打通供需之间的关键环节,是长期发挥需求引致创新作用并持续促进产业升级的基础。本文通过市场机制的揭示证实了消费扩张可以在市场的作用下引导产业发展,突破市场机制受到的限制可以将持续扩张的消费需求成功转化为有效需求,进而更加合理地促进新质生产力形成。另一方面,在推进扩大内需战略时,提高居民收入是比提升消费结构更加有效的切入点。机器学习分析说明了消费结构升级在促进创新和产业升级的作用上存在一定的门限效应和滞后性,提高收入水平更有助于增强居民的消费预期并实现消费潜力的释放。因此,通过完善收入分配及就业政策提高收入水平、通过完善创新支持政策强化需求牵引机制,并推动以需求为起点、以创新为中介、以产业升级为目标的政策联动机制,是培育新质生产力的有效途径。

参考文献:

1.方顺超、朱平芳,2024:《经济学中的决策树集成模型:研究综述与方法选择》,《金融发展》第 1 期。
2.干春晖、郑若谷、余典范,2011:《中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响》,《经济研究》第 5 期。
3.郭凯明、杭静、牛梦琦,2024:《收入分配演化、人力资本积累与产业结构转型》,《数量经济技术经济研究》第 3 期。
4.李尚骜、龚六堂,2012:《非一致性偏好、内生偏好结构与经济结构变迁》,《经济研究》第 7 期。
5.李永友、严岑,2018:《服务业“营改增”能带动制造业升级吗?》,《经济研究》第 4 期。
6.林晨、徐向宇,2023:《收入分配、鲍莫尔成本病与制造业占比》,《数量经济技术经济研究》第 5 期。
7.刘岩、谢天,2019:《跨国增长实证研究的模型不确定性问题:机器学习的视角》,《中国工业经济》第 12 期。
8.刘志彪,2000:《产业升级的发展效应及其动因分析》,《南京师大学报(社会科学版)》第 2 期。
9.龙少波、丁点尔,2022:《消费升级对产业升级的影响研究:理论机制及实证检验》,《现代经济探讨》第 10 期。
10.史丹、叶云岭、于海潮,2023:《双循环视角下技术转移对产业升级的影响研究》,《数量经济技术经济研究》第 6 期。
11.石奇、尹敬东、吕磷,2009:《消费升级对中国产业结构的影响》,《产业经济研究》第 6 期。
12.孙巍、夏海利,2022:《收入分布、需求引致创新与经济增长》,《经济评论》第 4 期。
13.汪伟、刘玉飞、彭冬冬,2015:《人口老龄化的产业结构升级效应研究》,《中国工业经济》第 11 期。
14.王勇、沈仲凯,2018:《禀赋结构、收入不平等与产业升级》,《经济学(季刊)》第 2 期。
15.王云航、彭定赟,2019:《产业结构变迁和消费升级互动关系的实证研究》,《武汉理工大学学报(社会科学版)》第 3 期。
16.颜色、郭凯明、杭静,2018:《需求结构变迁、产业结构转型和生产率提高》,《经济研究》第 12 期。
17.杨天宇、陈明玉,2018:《消费升级对产业迈向中高端的带动作用:理论逻辑和经验证据》,《经济学家》第 11 期。
18.杨伟明、粟麟、孙瑞立、袁伟鹏,2021:《数字金融是否促进了消费升级? ——基于面板数据的证据》,《国际金融研究》第 4 期。

19.余红心、赵袁军、李思远,2020:《居民消费结构升级对产业结构升级的影响研究——基于供需失衡的调节效应》,《江汉学术》第 2 期。
20.周文、许凌云,2023:《论新质生产力:内涵特征与重要着力点》,《改革》第 10 期。
21.Acemoglu, D., and V. Guerrieri. 2008. "Capital Deepening and Non-Balanced Economic Growth." *Journal of Political Economy* 116(3): 467-498.
22.Aghion, P., and P. Howitt. 1992. "A Theory of Growth through Creative Destruction." *Econometrica* 60(2): 323-351.
23.Barro, R. J., and X. Sala-I-Martin. 2003. "Technological Change: Schumpeterian Models of Quality Ladders." In *Economic Growth* (*2nd Edition*). Edited by R. J. Barro and X. Sala-I-Martin, 317-346. Cambridge, MA: MIT Press Books.
24.Comin, D., D. Lashkari, and M. Mestieri. 2021. "Structural Change with Long—run Income and Price Effects." *Econometrica* 89(1): 311-374.
25.Foellmi, R., T. Wuergler, and J. Zweimüller. 2014. "The Macroeconomics of Model T." *Journal of Economic Theory* 153: 617-647.
26.Foellmi, R., and J. Zweimüller. 2006. "Income Distribution and Demand-induced Innovations." *Review of Economic Studies* 73(4): 941-960.
27.Foellmi, R., and J. Zweimüller. 2008. "Structural Change, Engel's Consumption Cycles and Kaldor's Facts of Economic Growth." *Journal of Monetary Economics* 55(7): 1317-1328.
28.Kongsamut, P., S. Rebelo, and D. Xie. 2001. "Beyond Balanced Growth." *Review of Economic Studies* 68(4): 869-882.

Consumption-Induced Innovation and Industrial Upgrading: Mathematical Analysis and Machine Learning Validation

Sun Wei[1,2], Liang Shijie[2] and Pan Wenbo[2]
(1: Center for Quantitative Economics, Jilin University;
2: School of Business and Management, Jilin University)

Abstract: Effectively leveraging the advantages of a large domestic market while driving industrial upgrading through consumption expansion represents a critical challenge that demands urgent resolution. This paper constructs a general equilibrium model for theoretical analysis and employs machine learning methods for empirical validation. The findings reveal that an improved non-homothetic preference structure, combining the Stone-Geary utility function with a quality-upgrading utility formulation, enables simultaneous analysis of innovation and industrial upgrading. The theoretical model constructed based on the demand-induced innovation concept can link the Engel effect's shaping of potential demand with the Baumol effect's allocation of production factors, thereby verifying the mediating role of innovation. Machine learning results demonstrate that consumption structure exerts nonlinear influences on both innovation and industrial upgrading, with income growth providing stronger incentives than mere shifts in consumption patterns. Therefore, enhancing household income, while advancing a policy coordination mechanism that originates from demand, is mediated by innovation, and aims at industrial upgrading, constitutes an effective pathway for cultivating new quality productive forces.

Keywords: Consumption Expansion, Demand-induced Innovation, Industrial Upgrading, Market Mechanism
JEL Classification: C62, E20, O41

(责任编辑:彭爽)