

# 中国燃料乙醇政策的经济福利及其 减排效应

崔静波 杨云兰 孙永平\*

**摘 要** 为了评估我国燃料乙醇扩大的福利影响, 本文构建了开放经济下的多部门—多市场局部均衡模型, 考察了燃料乙醇政策对农产品以及能源相关市场的经济福利影响。研究结果显示: 新燃料乙醇政策将导致燃料乙醇产量、进口量和价格大幅上涨, 食用和饲用的玉米向燃料乙醇生产行业转移, 减少了对石油的消耗, 经济福利在各个产品市场之间重新分配。就减少粮食库存而言, E10 政策更为有效, 且扶持了燃料乙醇产业发展, 但未能满足减少碳排放的需求。

**关键词** 燃料乙醇, 经济福利, 碳排放

**DOI:** 10.13821/j.cnki.ceq.2020.01.17

## 一、引 言

经国务院同意, 2017 年 9 月国家发改委、国家能源局、财政部等十五部委联合印发了《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》(以下简称《方案》), 明确提出扩大生物燃料乙醇生产, 并称到 2020 年将实现车用乙醇汽油全国覆盖。该《方案》的出台, 一方面是为了有效处置超期超标等国内粮食库存、提高国家粮食安全水平、促进农业供给侧结构性改革; 另一方面是为了充分发挥生物燃料乙醇产业对优化能源结构、改善生态环境的重要作用。自 20 世纪 80 年代起, 美国、巴西和欧洲各国相继推广燃料乙醇汽油和生物柴油。相关研究认为燃料乙醇可以有效降低汽油碳排放以及 PM2.5 等多种污染物, 有助于温室气体减排 (Searchinger *et al.*, 2008)。除环境友好性以外, 以生物质为原料的燃料乙醇属于可再生能源, 通

\* 崔静波、杨云兰, 武汉大学经济与管理学院, 数理经济与数理金融系; 孙永平, 湖北经济学院低碳经济学院/碳排放权交易湖北省协同创新中心。通信作者及地址: 孙永平, 湖北省武汉市湖北经济学院低碳经济学院/碳排放权交易湖北省协同创新中心, 430205; 电话: (027)-81977191; E-mail: sunyp@hbue.edu.cn。本研究是国家自然科学基金青年项目 (71603191)、应急项目 (71741013) 和教育部人文社会科学研究规划基金项目 (19YJAZH079) 的初步研究成果, 本研究还获得武汉大学人文社科青年学术团队“发展经济学研究的新思路: 理论设计、实验检验与政策评估”的资助。作者感谢匿名审稿人的宝贵建议, 但文责自负。

过对汽油的部分替代,可降低对石油的依赖度,减少化石能源消耗,促进国家能源安全与独立。由于燃料乙醇主要采用玉米和小麦等粮食作物作为原料,其诱发的粮食安全问题也一直存在争议(仇焕广等,2009)。我国燃料乙醇的试用和推广工作始于“十五”计划期间,初期目的是为了处理因玉米收储政策而导致库存过多的“陈化粮”。燃料乙醇生产行业长期整体处于亏损状态,主要依靠政府补贴来维持。自2006年以后,库存粮问题已基本解决,相关补贴政策也因粮食安全的争议逐步取消,国家粮食安全水平稳步提高。基于此背景,本文围绕2017年燃料乙醇推广政策实施方案,构建开放经济体下的多部门—多市场局部均衡模型,将燃料乙醇市场、玉米市场、原油市场联合在一起,定量分析我国燃料乙醇扩张政策对各个市场的影响,并讨论该扩张政策对车用乙醇汽油市场的碳排放以及社会总福利的影响。

国外关于生物燃油政策的研究较为丰富。相关研究主要依靠可计算一般均衡模型或者多市场局部均衡模型,定量分析生物燃料政策调整对本国以及全球生物燃油市场、能源市场和相关农产品市场的影响(Al-Riffai *et al.*, 2010; Hertel *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2011; Taheripour *et al.*, 2011)。Cui *et al.* (2011)以美国燃料乙醇推广政策为背景,对不同的燃油税收政策进行了经济福利分析。基于社会经济福利最大化,该文发现燃油税、乙醇补贴和关税的结合为最优政策组合工具。Cui and Martin (2017)以原料为大豆油和棕榈油的生物柴油为例,研究美国生物柴油扩张政策,发现推广生物柴油对化石燃料存在一定的替代效应,但是碳排放量会因生物柴油的大量消耗而增加。Drabik *et al.* (2014)以主要原料为大豆的生物柴油为例,研究了外生柴油价格冲击对世界食用油市场的影响,认为生物柴油价格对原料大豆本身的影响存在不确定性,受各个市场需求弹性和供给弹性的影响很大。由此可见,燃料乙醇可能因替代部分化石燃料而降低碳排放量,也可能因自身的大量消耗而导致碳排放量增加。同时,市场效果和福利分配受供给和需求弹性的影响较大,存在一定的不确定性。

在燃料乙醇相关研究中,国内大部分文献以定性分析方法为主,缺乏定量分析(仇焕广等,2018)。李超民(2010)认为美国生物能源政策将刺激粮食生产,并通过价格传导使肉、禽等商品的价格上涨,从而提高家庭食品消费支出。徐振伟(2012)认为,发展燃料乙醇将抬高粮食价格,威胁粮食安全,从而影响社会稳定,加之机械化生产玉米需要消耗石油,燃料乙醇对美国能源需求的贡献微乎其微。张雪莲(2013)认为发展燃料乙醇可能会促使玉米需求增加,导致其价格上升,但如果能把握好燃料乙醇发展的规模,就不会造成粮食危机。吴方卫等(2009)运用计量方法进行研究认为,以玉米

为原料的燃料乙醇对粮食安全有一定影响，对车用汽油的替代弹性不大。黄季焜等（2009）通过 CHINAGRO（中国农业可持续发展决策支持系统）分析了我国发展燃料乙醇对不同区域和种类的农产品市场的影响，研究发现，能源作物价格将大幅上涨，其余农产品产量小幅下降，存在一定程度的粮食安全隐忧。仇焕广等（2013）将 GTAP（全球贸易分析项目）和 CHINAGRO 相结合，分析了美国、巴西、欧盟等国的生物能源发展对我国农产品市场的影响，通过农产品的消费量和支出的变化，间接地分析了消费者福利。研究发现玉米等粮食作物的价格将大幅上涨，主要粮食作物更为明显。同时，粮食作物消费量下降，消费支出显著上升，消费者福利因此受损，低收入者更甚。综合来看，现有国内研究主要从粮食安全的角度入手，少有同时关心燃料乙醇推广政策对碳排放影响的文献。

本文将 Cui *et al.*（2011）和 Cui and Martin（2017）的农产品与生物能源多市场局部均衡模型进行修改并应用到中国市场，旨在对我国燃料乙醇扩张政策进行经济福利分析，研究乙醇汽油产量扩张政策对我国玉米市场、原油市场以及燃料汽油市场的影响，并试图回答发展燃料乙醇对碳排放的影响以及对粮食的占用程度等问题，为政策制定提供一定的参考。除了沿用 Cui *et al.*（2011）中的基本假设，即石油和燃料乙醇精炼环节的生产函数为里昂惕夫（Leontief）生产形式，燃料乙醇与汽油之间完全替代，本文还根据我国能源市场现实情况对模型框架进行了一定改进与拓展。首先，本文假设国际原油价格是内生决定的。我国石油市场需求巨大，且近 70% 的石油消费来自进口，是全球第一大原油进口国。因此，我国石油消费对国际油价存在一定的影响力。其次，本文假设玉米供给来源包括：国内生产、固定配额进口以及固定值的玉米库存。生产中首先消耗库存玉米，玉米价格由市场供需决定，但玉米生产者存在补贴。最后，本文假定燃料乙醇存在进口关税。

本文以 2016 年为基年，结合 2017 年玉米市场化定价的市场环境，校准多部门—多部门局部均衡模型，定量分析乙醇含量分别为 10%（E10）和 20%（E20）的车用乙醇汽油对玉米市场和相关能源市场的经济福利影响。以全国推广 E10 情况为例，研究发现：首先，新燃料乙醇政策将导致燃料乙醇产量、进口量和价格大幅上涨。在政策的主要目的为削减库存粮食的情况下，10% 的燃料乙醇扩张政策是更有效的选择，同时也能较好地扶持国内燃料乙醇产业。其次，玉米消费者价格上涨，产量随之增加，燃料乙醇的生产对玉米食用及饲用消费存在一定程度的挤出作用。再次，汽油产量和价格将有所下降，乙醇汽油价格呈下降趋势，消费量稳步增加，因此燃料乙醇的扩张政策减少了国内石油的消耗。最后，该新政策导致玉米生产者剩余增加，消费

者剩余减少;乙醇汽油消费者剩余增加,国内原油生产者剩余减少,石油副产品消费者剩余减少。同时新政策对汽油部门碳减排的作用存在一定程度上的不确定性。

本文的贡献主要体现在以下几点:首先,构建了包含多种产品、多个市场的局部均衡模型,对我国燃料乙醇政策进行了政策模拟和定量分析,并以经济福利为衡量指标,厘清了政策对各个产品(即农产品与相关能源产品)、各个主体(即消费者与生产者)的福利影响。其次,通过Monte Carlo模拟检验了政策预测结果的稳健性。既从粮食安全角度,又从碳排放的角度分析了燃料乙醇扩张政策,具有一定理论模型贡献。最后,本文以新的市场环境为背景,进行政策模拟与预测,可以为相关职能部门全面评估和落实政策提供理论指导与政策借鉴。

文章余下部分安排如下,第二部分为理论模型构建,第三部分为模型参数校准,第四部分为模型政策仿真模拟与预测,第五部分为结论与政策启示。

## 二、模 型

本文在开放经济视野下构建多市场—多部门局部均衡模型。国内市场包括三个生产部门,即农业生产部门、石油精炼部门和乙醇汽油调配部门。农业生产部门生产玉米,为消费者提供食物,并且为混合乙醇汽油中的燃料乙醇生产提供原料。石油精炼部门将原油精炼为汽油和其他副产品,汽油与燃料乙醇一并调配为混合乙醇汽油,用作消费者车用燃料油。三个生产部门的市场结构均假设为完全竞争型,因此生产者利润为零。由于本文研究重点是燃料乙醇政策调整对我国农业及相关能源生产与消费部门的影响,因此简化了国外农业与相关能源生产部门,仅假设国外出口原油、玉米和燃料乙醇,其出口供给曲线分别假设为 $\bar{S}_o(p_o^w)$ 、 $X_c(p_c^w)$ 和 $\bar{S}_e(p_e^w)$ ,其中 $p_o^w$ 、 $p_c^w$ 和 $p_e^w$ 分别代表原油、玉米和燃料乙醇的世界市场价格。

### (一) 消费者

假设消费者的效用偏好为拟线性(quasi-linear preferences),该消费者购买计价物(numeraire good)、混合乙醇汽油和玉米,并承受混合乙醇汽油使用所带来的碳排放污染。该代表性消费者效用函数具体形式如下:

$$U = y + \varphi(D_f) + \theta(D_c) - \sigma(\lambda_g x_g + \lambda_e x_e), \quad (1)$$

其中, $y$ 代表计价物的消费, $D_f$ 和 $D_c$ 则分别表示混合乙醇汽油和玉米的消费。 $\sigma(\cdot)$ 代表碳排放的社会成本,该成本函数取决于汽油 $x_g$ 和燃料乙醇 $x_e$ 的混合乙醇汽油消费量、汽油碳排放系数 $\lambda_g$ 和燃料乙醇碳排放系数 $\lambda_e$ 。

## (二) 玉米生产与乙醇提炼部门

假设国内玉米生产供给曲线为  $S_c(p_c^s)$ ,  $p_c^s$  代表国内生产者面临的玉米价格,  $p_c$  代表国内消费者面临的玉米价格。由于存在玉米生产补贴  $b_c^s$ , 因此消费者和生产者面临的价格满足如下条件:

$$p_c^s = p_c + b_c^s. \quad (2)$$

玉米既可以用于满足消费者的食物需求(包括直接食物需求和用于饲料的间接需求), 又可以用于提炼燃料乙醇。假设一单位玉米投入量可以生产出  $a$  单位燃料乙醇。由于玉米在发酵酿制燃料乙醇时, 还会产生玉米酒糟(DDGS)这一副产品, 与玉米一同用于饲用消费。为了简便起见, 在食用和饲用消费上, 我们将玉米酒糟与玉米看作完全替代的商品。假设每单位玉米在生产燃料乙醇的过程中产生玉米酒糟的量为  $\delta_1$ , 它用玉米表示的价格为  $\delta_2$ , 因此, 玉米实际消耗量为  $1 - \delta_1\delta_2$ , 每单位玉米生产的燃料乙醇为:  $\alpha = a\gamma / (1 - \delta_1\delta_2)$ , 其中  $\gamma$  为燃料乙醇和汽油的热值比。用  $x_e$  代表燃料乙醇产量(其单位含量根据热值比进行调整, 以使每单位燃料乙醇与每单位汽油释放的热量相同),  $x_c$  代表玉米投入量,  $z_e$  代表其他复合要素投入量,  $\alpha$  代表每单位玉米生产的燃料乙醇量。假设燃料乙醇的生产要素也是以固定比例投入的, 其生产函数也具有里昂惕夫形式:

$$x_e = \min(\alpha x_c, z_e). \quad (3)$$

在完全竞争的市场结构假设条件下, 零利润均衡条件为:

$$p_e = \frac{p_c}{\alpha} + w_{ce} - \frac{b_c}{\gamma}, \quad (4)$$

其中,  $w_{ce}$  代表生产燃料乙醇所需要其它复合要素  $z_e$  的单位价格,  $p_c$  为玉米要素投入的单位价格,  $b_c$  代表每单位燃料乙醇(实际单位)的政府补贴额度。

## (三) 石油精炼部门

假设石油精炼的生产要素以固定比例生产产品, 生产函数具有里昂惕夫形式, 即一单位原油  $x_o$  可以提炼出  $\beta_1$  单位汽油  $x_g$  和  $\beta_2$  单位原油生产的副产品  $x_h$ 。除原油以外, 生产提炼过程中涉及的其他投入品汇总为  $z_o$ , 即其他复合要素投入量。因此, 原油提炼的生产函数具体形式如下:

$$x_g = \min\{\beta_1 x_o, z_o\}; x_h = \beta_2 x_g / \beta_1$$

该部门对应的零利润市场均衡条件为:

$$\beta_1 p_g + \beta_2 p_h = p_o + \beta w_g, \quad (5)$$

其中,  $p_g$  表示汽油  $x_g$  的价格,  $p_h$  代表石油提炼副产品  $x_h$  的价格,  $w_g$  代表其他复合要素投入品  $z_o$  的价格,  $p_o$  代表原油  $x_o$  的单位价格。

#### (四) 混合乙醇汽油调配

在消费端,商家出售汽油和燃料乙醇混合后的乙醇汽油,由 $D_f$ 表示,其价格由 $p_f$ 表示。由于汽油和燃料乙醇之间完全替代,并且在燃料乙醇单位经调整后二者的替代比例为1比1,因此两者消费量与混合乙醇汽油消费量之间满足关系式 $D_f = x_g + x_e$ 。

复合燃油调配行业以汽油和燃料乙醇为生产要素,生产混合乙醇汽油,在市场均衡的状态下,行业利润应当为零。此外,在产生相同收益的时候,使用燃料乙醇调配的成本和使用汽油的成本相等,否则将存在套利机会。当不存在任何燃油税收政策、乙醇补贴政策 and 乙醇目标消费量政策时,由于乙醇与汽油完全替代,无套利均衡条件显示乙醇、汽油和混合乙醇汽油三者价格应均等,即 $p_f = p_g = p_e$ 。

当混合乙醇汽油面临终端消费税 $t$ ,燃料乙醇用于调配混合汽油将享受消费税减免 $b$ 时,生产者在乙醇和汽油之间自由选择,其无目标消费量时的市场无套利均衡条件为:

$$p_g = p_f - t, \quad (6)$$

$$p_e = p_f + \frac{b}{\gamma} - \frac{t}{\gamma} = p_g + \tilde{b}, \quad (7)$$

其中 $\tilde{b} \equiv (b - t(1 - \gamma)) / \gamma$ 表示燃料乙醇的有效补贴。

当存在燃料乙醇政策目标消费量 $x_e^M$ 时,消费者对混合乙醇汽油的需求为 $D_f(p_f)$ ,同时面临燃料乙醇消费税减免 $b$ 和混合乙醇汽油消费税 $t$ 时,市场无套利均衡条件为:

$$(p_f - t) \times D_f(p_f) = p_g [D_f(p_f) - x_e^M] + (p_e - \tilde{b}) \times x_e^M. \quad (8)$$

式(8)左边表示当混合乙醇汽油的单位收益为 $p_f - t$ ,销售量为 $D_f$ 时的总收益。式(8)右边表示总成本,即单位汽油成本 $p_g$ 乘上汽油投入量 $D_f - x_e^M$ ,再加上燃料乙醇投入的单位成本 $p_e - \tilde{b}$ 乘上投入量 $x_e^M$ 。

#### (五) 国内与国际市场均衡

我国汽油价格实行国家指导价,并根据国际油价的变动来调整,同时,燃料乙醇价格也与汽油价格联动。本文通过构建局部均衡模型,将国内和国际油价、汽油价格、乙醇价格设定为内生变量,通过均衡模型求解。因此,我们首先梳理出乙醇价格 $p_e$ ,汽油价格 $p_g$ ,汽油提炼中的副产品价格 $p_h$ ,以及混合乙醇汽油价格 $p_f$ 等四个核心变量,然后列出玉米市场出清条件、燃油市场出清条件、石油副产品市场出清条件和燃料乙醇调配行业零利润条件等四个方程组,用于求解多市场—多部门局部均衡模型:

$$(p_f - t) \times D_f(p_f) = p_g [D_f(p_f) - x_e^M] + (p_e - \tilde{b}) \times x_e^M. \quad (9)$$

$$S_c(p_c^s) + X_c = D_c(p_c) + D_{ec}, \quad (10)$$

$$D_f(p_f) = \beta_1 [S_o(p_o) + \bar{S}_o(p_o^w)] + x_e^M, \quad (11)$$

$$D_h(p_h) = \beta_2 [S_o(p_o) + \bar{S}_o(p_o^w)]. \quad (12)$$

公式(9)为乙醇汽油调配行业零利润条件,公式左边为乙醇汽油销售量为 $D_f$ 时的总收益,公式右边为乙醇汽油生产量为 $D_f$ 时的总成本。公式(10)为玉米市场的出清条件,公式左边为国内玉米供给和进口玉米配额之和,其中 $S_c(p_c^s)$ 为国内玉米供给, $X_c$ 为固定的玉米进口配额;公式右边为玉米食用及饲用需求量加上燃料乙醇生产对非库存玉米的需求量,其中 $D_c(p_c)$ 为玉米食用需求。初步计算表明库存玉米不足以覆盖全国使用E10的需求,故记 $D_{ec} = x_e/\alpha - I_c$ ,代表燃料乙醇生产需要消耗的非库存玉米量,其中 $x_e/\alpha$ 为用于燃料乙醇生产的总玉米量, $I_c$ 为假设为常数的玉米库存。公式(11)为复合燃油市场的出清条件,公式左边为消费者对复合燃油的需求,公式右边为复合燃油的供给,即汽油供给与燃料乙醇供给之和。公式(12)为石油副产品市场出清条件,左边为石油副产品需求,右边为石油副产品供给。

假设我国燃料乙醇进口关税为 $\tau_e$ ,国际与国内燃料乙醇价格满足无套利均衡条件,即 $p_e = p_e^w(1 + \tau_e)$ 。同时,燃料乙醇国内产量与进口量之和应当满足国内总需求,即 $\bar{S}_e(p_e^w) + x_e = x_e^M$ 。类似地,国际原油价格和国内原油价格也满足无套利均衡条件 $p_o = p_o^w + t_o$ ,其中 $t_o$ 为原油进口关税,在本文中假设为零。虽然我国玉米进口量低于规定的进口配额,但为了简便,本文仍假设玉米进口量固定为配额量。

## (六) 经济福利

最后,由于代表性消费者的效用函数具有拟线性偏好,因此,该社会总福利可以表示为生产者剩余与消费者剩余的总和,再加上净税收,并减去污染外部性损失。汽油与燃料乙醇是中间产品,因乙醇汽油调配行业零利润假设而为零,它们的消费者剩余即乙醇汽油的生产者剩余。因石油精炼行业的零利润假设而为零,汽油和石油副产品的生产者剩余即石油消费者剩余。燃料乙醇生产者剩余也因其零利润假设而为零。以 $CS_h$ 表示石油副产品消费者剩余, $CS_f$ 表示乙醇汽油消费者剩余, $CS_c$ 表示玉米食用及饲用消费的消费者剩余, $PS_c$ 表示玉米生产者剩余, $PS_o$ 表示国内原油生产者剩余, $NetTax$ 表示总净税收收入, $CarbonCost$ 表示碳排放的社会总损失。因此,社会总福利 $Welfare$ 表示为:

$$Welfare = CS_h + CS_f + CS_c + PS_c + PS_o + NetTax - CarbonCost, \quad (13)$$

其中,  $CarbonCost$  为碳排放的边际社会成本  $\sigma'(\cdot)$  乘以汽油与燃料乙醇的碳排放总量  $(\lambda_g x_g + \lambda_e x_e)$ 。  $NetTax$  为进口产品关税与混合乙醇汽油税收收入之和减去玉米生产者补贴和乙醇燃料补贴。

### 三、模型校准

本文选用 2016 年作为基年, 利用玉米市场、燃料乙醇市场和相关原油市场的生产、消费以及进出口数据, 对开放经济背景下的多市场—多部门局部均衡理论模型进行校准。<sup>1</sup> 假设国内原油供给曲线  $S_o(p_o)$ 、国外原油进口供给曲线  $\bar{S}_o(p_o^w)$ 、国内玉米供给曲线  $S_c(p_c^s)$ 、玉米进口供给曲线  $X_c(p_c^w)$ 、国内玉米消费需求曲线  $D_c(p_c)$  以及国内混合乙醇汽油需求曲线  $D_f(p_f)$  均为线性形式。其中, 进口玉米供给为固定配额, 相应曲线为垂直于供给量轴的直线。因本文假设原油进口无关税壁垒, 故国内原油价格与进口价格相等, 即  $p_o^w = p_o$ 。本文将进一步设定供给曲线和需求曲线的弹性参数、基期产品价格、基期需求或供给量以及政策工具变量, 用于校准决定农产品市场和相关能源市场均衡的供给与需求曲线。

模型校准的参数设置如表 1 所示。供给与需求曲线的弹性系数来自国内外相关文献研究。国内原油供给弹性的数据比较欠缺, 无论是国外原油供给还是国内原油供给, 供给弹性都较小, 因此国内原油供给弹性  $\eta_o$  沿用国外原油供给弹性系数  $\bar{\eta}_o$ , 即  $\eta_o = \bar{\eta}_o = 0.5$ 。国内玉米供给弹性采用 FAPRI Elasticity Database 中报告的数据<sup>2</sup>, 即  $\eta_c = 0.13$ 。由于国内玉米食用消费占总消费的比例不足 10%, 用于饲用消费的比例超过 60%。因此, 国内玉米需求弹性选用 FAPRI Elasticity Database 中报告的数据, 即  $\epsilon_d = -0.06$ 。在燃料乙醇推广之前, 消费者对燃油的需求即对汽油的需求, 国内燃油需求弹性采用汽油需求弹性, 即  $\epsilon_f = -0.445$  (曹静与谢阳, 2011)。国内燃油副产品需求弹性参考曹静与胡文皓 (2018), 采用  $\epsilon_h = -0.86$ 。美国作为全球最大的燃料乙醇出口国, 也是我国 99% 的进口燃料乙醇来源国, 进口燃料乙醇供给弹性则参照 Cui *et al.* (2011) 中所设置的美国燃料乙醇供给弹性, 即  $\bar{\eta}_e = 5.01$ 。

校准模型所必需的生产函数系数主要参考相关数据库和统计年鉴。燃料

<sup>1</sup> 2016—2017 年玉米进行了市场化改革, 取消了临时收储政策, 改为市场定价。将玉米假设为市场化定价更具有参考意义。

<sup>2</sup> 详细信息, 请参见: <http://www.fapri.iastate.edu/tools/elasticity.aspx>, 访问日期: 2018 年 4 月 10 日。



乙醇生产系数  $\alpha=0.33$ ，即每吨玉米可以提炼大约 0.33 吨燃料乙醇。根据国家统计局数据，2016 年国内石油总产量 19 968.52 万吨，石油进口量 38 101 万吨，两者之和为石油总投入量  $x_o=58 069.52$  万吨，汽油总产量 12 932.03 万吨，其净出口量 948.52 万吨，柴油总产量为 17 917.66 万吨，其净出口量为 1 448 万吨。根据模型的假设，柴油和汽油的国内产量与消费量相等，则汽油消费量  $x_g=11 983.51$  万吨，柴油消费量  $D_h=16 469$  万吨。因此，汽油生产系数  $\beta_1=x_g/x_o=0.21$ ，汽油副产品生产系数  $\beta_2=x_h/x_o=0.28$ 。最后，燃料乙醇和汽油的热值、碳排放单位社会成本和燃料乙醇相对汽油的污染排放量则参照 Cui *et al.* (2011) 中的值，分别设置为 76 000 (BTUs/gallon)、110 000 (BTUs/gallon)、20 \$/t 和 0.75，且相应的单位由美元转换为人民币。

表 1 模型校准的弹性系数和生产函数参数

参数	数值	含义	来源或解释
$\bar{\eta}_o$	0.5	进口原油供给弹性	孙泽生 (2009)
$\eta_o$	0.5	国内原油供给弹性	沿用进口原油供给弹性
$\eta_c$	0.13	国内玉米供给弹性	FAPRI Elasticity Database
$\epsilon_c$	-0.06	国内玉米需求弹性	FAPRI Elasticity Database
$\epsilon_f$	-0.445	国内燃油需求弹性	曹静与胡文皓 (2008)
$\epsilon_h$	-0.86	国内石油副产品需求弹性	曹静与谢阳 (2011)
$\bar{\eta}_e$	5.01	进口燃料乙醇供给弹性	Cui <i>et al.</i> (2011)
$\alpha$	0.33	每单位玉米乙醇产量 (吨/吨)	Cui <i>et al.</i> (2011)
$\delta_1$	0.303	DDGS 生产系数 (吨/吨)	Cui <i>et al.</i> (2011)
$\delta_2$	0.9	DDGS 和玉米的相对价格	1 598/1 776
$\beta_1$	0.21	汽油生产系数	$\beta_1=x_g/x_o$
$\beta_2$	0.28	石油副产品生产系数	$\beta_2=x_h/x_o$
$\gamma$	0.69	燃料乙醇和汽油的热值比	$\gamma_c/\gamma_g$
$\sigma$	0.13	排放单位 CO <sub>2</sub> 的损失 (元/kg)	Cui <i>et al.</i> (2011)
$\lambda$	0.75	燃料乙醇相对汽油的污染排放量	Cui <i>et al.</i> (2011)

根据国家统计局的报告，2016 年国内玉米供给量  $S_c$  达到 21 955.15 万吨。玉米进口配额为 720 万吨，本文假设玉米进口量  $\bar{S}_c$  等于配额量 720 万吨。根据美国农业部 (USDA) 的报告，近几年我国玉米库存  $I_c$  维持在 11 077 万吨左右，2016 年我国玉米总消费量为 23 200 万吨。根据中国农业信息网的数

据,玉米工业消费量占比仅约25%,因此假设玉米基年食用即饲用消费量 $D_c$ 为23 200万吨。玉米价格使用2016年年初和年末价格的平均值,即 $p_c=1\ 776$ 元/吨。国内原油供给量 $S_o$ 、进口量 $\bar{S}_o$ 分别为19 968.52万吨和38 101万吨,数据源于国家统计局。原油价格使用布伦特和WTI原油期货年均价的平均值,布伦特原油期货年均价为45.13美元/桶,WTI原油期货年均价为43.47美元/桶,再使用人民币对美元汇率6.6423将美元/桶转换为元/吨,得到 $p_o=2\ 148.05$ 元/吨。2016年我国车用油消费量 $D_f$ 采用汽油的总产量减净出口得到的消费量,根据国家统计局的数据计算, $D_f$ 为11 983.51万吨。汽油价格采用2016年汽油价格平均值,根据2016年国家公布的汽油价格调整情况计算, $p_f=6\ 122$ 元/吨。石油副产品消费量采用根据国家统计局公布的2016年柴油产量和净出口量计算出的消费量,即 $D_h=16\ 469$ 万吨,其价格也采用根据2016年国家公布的柴油价格调整情况计算的平均值,即 $p_h=6\ 159.33$ 元/吨。燃料乙醇国内供给量采用2016年国内所有定点生产企业的总产能, $x_e=234$ 万吨,数据来源于Wind数据库。根据我国燃料乙醇定价机制,其价格为93号汽油出厂价的0.9111倍,因此本文的基年燃料乙醇价格也使用基年汽油价格的0.9111倍来计算,即 $p_e=5\ 611.77$ 元/吨。

最后,模型中涵盖的政策变量参数由表2所示。玉米补贴标准为2017年我国玉米生产大省的补贴标准的平均值,并按照玉米平均亩产0.6吨,将补贴标准的单位元/亩转换为元/吨。其中,吉林省补贴标准为169.69元/亩,内蒙古为202元/亩,黑龙江为133.46元/亩。因此,玉米生产补贴 $b_c=280$ 元/吨。汽油消费税使用《成品油价税费改革方案》所规定的1.52元/升,并使用90号、93号、97号平均密度的均值 $0.73\text{ kg/m}^3$ ,将单位元/升转换为元/吨。燃料乙醇进口关税已于2017年的5%恢复到了过去的高税率30%,模型中的关税 $\tau_e$ 采用二者的均值。我国燃料乙醇的消费税税率为5%,该消费税的减免额度从5%逐步下降,2016年后已完全征收,本文采用的燃料乙醇消费税减免额度为平均值2.5%。在得到基年燃料乙醇价格、基年玉米价格和生产系数后,燃料乙醇复合生产要素的价格 $w_{ce}$ 可根据公式(4)反推而来。类似地,汽油复合生产要素的价格 $w_o$ 则可根据公式(5)反推而来。

表2 模型校准的价格、产量以及政策变量(基年数据)

变量	含义	数值	来源或解释
$b_c$	玉米生产补贴(元/吨)	280	玉米主要生产省份补贴均值
$t$	汽油消费税(元/吨)	2 082	《成品油价税费改革方案》
$t_e$	燃料乙醇的消费税(%)	5	仇焕广等(2009)

(续表)

变量	含义	数值	来源或解释
$\tau_e$	燃料乙醇的进口关税 (%)	17.50	近两年进口关税均值
$b$	燃料乙醇的消费税减免 (%)	2.50	消费税减免均值 (从全部减免到不减免)
$S_c$	国内玉米供给 (万吨)	21 955.15	国家统计局
$X_c$	进口玉米配额 (万吨)	720	李爽和单琳琳 (2017)
$I_c$	基年玉米期初库存 (万吨)	11 077	USDA (万吨)
$D_c$	基年玉米消费 (万吨)	23 200	USDA (万吨)
$p_c$	基年玉米价格 (元/吨)	1 776	2016 年年年初年末平均价格
$S_o$	国内原油供给量 (万吨)	19 968.52	国家统计局
$\bar{S}_o$	进口原油量 (万吨)	38 101	国家统计局
$p_o$	基年原油价格 (元/吨)	2 148.05	布伦特和 WTI 原油期货年均价
$D_f$	基年汽油消费量 (万吨)	11 983.51	国家统计局
$p_f$	基年汽油价格 (元/吨)	6 122	当年汽油价格平均值
$D_h$	石油副产品消费量 (万吨)	16 469	国家统计局
$p_h$	石油副产品的价格 (元/吨)	6 159.33	当年汽油价格平均值
$x_e$	燃料乙醇产量 (万吨)	234	Wind
$\bar{x}_e$	燃料乙醇进口量 (万吨)	87	Wind
$p_e$	燃料乙醇价格 (元/吨)	5 611.77	汽油基年价格的 0.9111 倍
$\omega_{ce}$	燃料乙醇生产要素价格 (元/吨)	2 453.8	由公式 (4) 线性变换得
$\omega_o$	汽油复合生产要素价格 (元/吨)	4 177.7	由公式 (5) 线性变换得

#### 四、政策仿真

以 2016 年我国汽油消费量 1.2 亿吨为参照推算, 当乙醇汽油中燃料乙醇比例为 10% 和 20%, 乙醇汽油全国覆盖时燃料乙醇需求量分别为 1 200 万吨和 2 400 万吨, 我们将这些需求量作为政策要求的燃料乙醇消费量目标  $x_e^M$ , 定量分析我国燃料乙醇政策调整对国内玉米市场与相关能源市场的均衡产量、价格和社会经济福利影响。

##### (一) 政策仿真模拟结果

表 3 展示了不同燃料乙醇目标消费量下的市场均衡结果。第 (1) 列代表

基年(2016年)时的市场均衡价格和产量或需求量<sup>3</sup>,基年燃料乙醇的产量为234万吨,进口量为87万吨,在市场出清的条件下,基年消费总量为321万吨。第(2)列和第(3)列分别代表燃料乙醇目标消费量为1200万吨和2400万吨时的市场均衡。 $x_e^M$ 为2400万吨时,表3中各项指标相对基年变化的符号均与 $x_e^M$ 为1200万吨时相同,且随着消费量增加,变化幅度也更大。

在燃料乙醇市场中,当 $x_e^M$ 从基期的321万吨分别上涨至1200万吨和2400万吨时,国内燃料乙醇价格从4.43元/升分别上涨至5.6元/升和7.2元/升,增长率分别为26%和62%;国内产量从234万吨分别上涨至998万吨和2041万吨,增长率分别为326%和772%。从经济角度分析,这是由于燃料乙醇的需求增加,需求曲线右移,供给曲线保持不变,新均衡点位于原均衡点右上方,所以均衡价格和均衡需求量、供给量都将增加。因为国内外燃料乙醇存在无套利条件,燃料乙醇进口价格也以与国内价格相同的幅度上涨。而进口量则由于关税的存在,增长幅度小于国产燃料乙醇,增涨幅度分别为132%和313%。国产乙醇占总消费量比例在83%以上,从比例上看,新增需求主要由国内生产满足。但当乙醇比例达到20%时,需要进口的燃料乙醇量高达359万吨,增幅为313%,而且此时汽油价格下降幅度也高达33%。因此,在政策的主要目的为削减库存粮食的情况下,10%的政策是更有可能出现的结果。

表3 不同燃料乙醇目标消费量下的市场均衡

	基期 (1)	$x_e^M=1200$ (2)	$x_e^M=2400$ (3)
$p_e$ (元/升)	4.43	5.60	7.20
$p_e^w$ (元/升)	3.77	4.77	6.13
$p_o$ (元/吨)	2 148.05	2 040.53	1 863.35
$p_g$ (元/升)	4.47	3.91	2.99
$p_h$ (元/升)	5.17	5.32	5.57
$p_f$ (元/升)	6.07	5.66	5.29
$p_c$ (元/公斤)	1.78	2.45	3.36
$p_c^i$ (元/公斤)	2.06	2.73	3.64

<sup>3</sup> 在Matlab中计算时将价格单位都统一为元/吨,数量单位统一为吨,为了方便阐释和分析结果,表3中每种产品的价格转换为了生活中较为常用的单位。燃料乙醇、汽油的密度依然使用0.79 kg/L和0.73 kg/L,石油副产品柴油的密度使用一般的0.84 kg/L,乙醇汽油在燃料乙醇的体积占比为10%—30%时,密度为0.736 kg/L—0.748 kg/L,此处使用均值0.74 kg/L。

(续表)

	基期 (1)	$x^M=1\ 200$ (2)	$x^M=2\ 400$ (3)
$x_e$ (百万吨)	2.34	9.98	20.41
$\bar{x}_e$ (百万吨)	0.87	2.02	3.59
$x_g$ (百万吨)	119.83	116.83	111.89
$D_h$ (百万吨)	164.69	160.57	153.78
$D_f$ (百万吨)	121.45	125.11	128.45
$S_c$ (百万吨)	219.55	228.87	241.59
$D_c$ (百万吨)	332.36	324.82	314.53
$S_o$ (百万吨)	199.69	194.69	186.45
$\bar{S}_o$ (百万吨)	381.01	371.47	355.76

资料来源：作者采用 Matlab 计算。

就农业部门而言，燃料乙醇消费量的上涨使得其原料玉米的价格和产量都大幅上涨，价格分别上涨了 38% 和 89%，产量上涨了 4.2% 和 10%。但玉米的各项消费都向燃料乙醇生产行业转移，燃料乙醇的生产对玉米食用及饲用消费存在一定程度的挤出效应，因此玉米的食用及饲用消费量有所下降，幅度分别为 2.3% 和 5.4%。相应地，燃料市场中，汽油由于被燃料乙醇部分替代，需求减少，因此价格和供给量都有所下降，价格分别下降了 13% 和 33%，产量下降了 2.5% 和 6.6%。车用乙醇汽油中汽油占比分别为 93% 和 87%，也就是说，燃料乙醇分别替代了 7% 和 13% 的汽油。乙醇汽油价格分别下降了 6.8% 和 13%，因为乙醇汽油原料中的汽油价格下降，且其影响大于燃料乙醇价格的上涨。乙醇汽油价格下降导致其消费量分别增加了 3.0% 和 5.8%。原油作为汽油生产的原料，其需求量随着汽油产量减少而减少，因此原油价格和国内供给量都有所降低，原油价格下降了 5.0% 和 13%，国内产量下降了 2.5% 和 6.6%。与此同时，因原料石油的供给量下降，石油副产品的价格分别上涨了 2.9% 和 7.7%，产量也随之下降。由于在石油精炼环节中，汽油和石油副产品的生产系数均假设为固定的常数，所以石油副产品和汽油产量的下降幅度相同，并且皆与国内原油产量下降幅度一致。模型假设了国内外原油不存在关税壁垒，同时采用了与国内原油供给弹性相同的进口原油供给弹性，所以原油进口量下降情况也与原油国内产量相同，因此我们也无法判断燃料乙醇政策对我国石油对外依存度的影响。

表 4 对比了两种消费量下社会总福利相对于基年的变化。其中，玉米生

生产者剩余分别增加了 35.66% 和 86.74%，食用及饲用的消费者剩余分别减少了 4.48% 和 10.44%，这是玉米价格和产量上涨以及食用及饲用消费量下降所致。乙醇汽油消费者剩余因价格下降、消费量上涨而分别增加了 6.13% 和 11.87%。国内原油生产者剩余因原油价格和产量下降而分别减少了 6.59% 和 17.09%。石油副产品因价格上涨和产量下降，消费者剩余减少了 4.94% 和 12.81%；碳排放增加了 0.89% 和 2.31%，相应的污染外部性损失增加了 0.66% 和 1.69%，主要原因是虽然燃料乙醇的单位碳排放量更小，但其热值也更小，在基准模型的假设下，市场均衡时乙醇汽油的消费量大幅增加，所以总的碳排放量反而增加，相应的损失也增加。净税收收入减少了 1.66% 和 2.41%，原因是汽油消费量下降和玉米产量上升，导致汽油消费税减少和玉米补贴增加，并且二者的影响大于燃料乙醇消费税的影响，故净税收减少。社会总福利中玉米生产者剩余变化最大，但其增长的绝对量只占社会总福利的 5% 至 11%；相反，减少幅度相对较小的玉米消费者剩余和石油副产品消费者剩余，由于二者占总福利比例分别约 60% 和 8%，社会总福利受它们的影响较大，因此总体表现出小幅度的下降，减少了 0.73% 和 1.98%。

表 4 不同市场均衡下的福利分析变动（相对于基期）

	$x_e^M = 1\ 200$	$x_e^M = 2\ 400$
碳排放	0.89%	2.31%
碳排放社会成本 (CarbonCost)	0.66%	1.69%
净税收 (NetTax)	-1.66%	-2.41%
石油副产品消费者剩余 (CS <sub>h</sub> )	-4.94%	-12.81%
混合汽油消费者剩余 (CS <sub>f</sub> )	6.13%	11.87%
玉米消费者剩余 (CS <sub>c</sub> )	-4.48%	-10.44%
玉米生产者剩余 (PS <sub>c</sub> )	35.66%	86.74%
石油生产者剩余 (PS <sub>o</sub> )	-6.59%	-17.09%
社会总福利 Welfare	-0.73%	-1.98%

资料来源：作者采用 Matlab 计算。

## （二）Monte Carlo 模拟仿真结果分析

为了检验结果的稳健性，我们选取一些核心参数以及相应的取值区间进行 Monte Carlo 模拟。表 5 展示了供给与需求弹性、生产系数以及碳排放的边际损失等各项参数的取值区间。在模拟过程中，我们采用  $\beta$  分布函数抽取核心参数，随机抽取 10 万次并逐次模拟不同燃料乙醇政策情景下的市场均衡结果。

表 5 Monte Carlo 模拟选取的参数及其取值区间

参数	含义	基期参数	最小值	最大值
$\eta_c$	国内玉米供给弹性	0.13	0.10	0.80
$\epsilon_c$	国内玉米需求弹性	-0.06	-0.50	-0.01
$\eta_o$	国内原油供给弹性	0.50	0.10	0.80
$\bar{\eta}_o$	进口原油供给弹性	0.50	0.10	3.00
$\eta_e$	进口燃料乙醇供给弹性	5.01	1.00	8.00
$\epsilon_f$	国内燃油需求弹性	-0.45	-0.90	-0.20
$\epsilon_h$	国内石油副产品需求弹性	-0.86	-0.90	-0.20
$\sigma'(\cdot)$	排放单位 CO <sub>2</sub> 的损失 (元/kg)	0.13	0.03	0.53
$\alpha$	每单位玉米乙醇产量 (吨/吨)	0.31	0.23	0.39

资料来源：作者采用 Matlab 计算。

表 6 和表 7 为 Monte Carlo 模拟结果，表 6 展示了 97.5% 的置信区间下均衡量的模拟值，表 7 展示了相应的福利变化。结果显示，大部分变量的取值区间相对基期的变化符号一致。Monte Carlo 模拟结果表明，燃料乙醇的国内外价格大幅提高，且其国内产量和进口量均大幅上涨；汽油价格和产量降低；乙醇汽油价格下降，消费量上涨，消费者剩余增加；石油副产品价格略有上涨，产量略有减少，消费者剩余减少；石油价格降低，产量减少，生产者剩余减少；玉米价格上涨，产量增加，用于食用和饲用的消费因向燃料乙醇行业转移而减少，其生产者剩余增加，消费者剩余减少。

表 6 不同燃料乙醇目标消费量下的蒙特卡洛市场均衡仿真结果

	基期	$x_e^M=1\ 200$	$x_e^M=2\ 400$
$p_e$ (元/升)	4.43	[4.63, 6.87]	[5.25, 9.84]
$p_e^w$ (元/升)	3.77	[3.94, 5.85]	[4.47, 8.37]
$p_o$ (元/吨)	2 148.05	[1 940.97, 2 095.07]	[1 594.59, 2 005.94]
$p_g$ (元/升)	4.47	[3.57, 4.06]	[2.07, 3.40]
$p_h$ (元/升)	5.17	[5.25, 5.44]	[5.39, 5.89]
$p_f$ (元/升)	6.07	[5.37, 5.83]	[4.66, 5.78]
$p_c$ (元/公斤)	1.78	[2.00, 3.06]	[2.30, 4.82]
$p_c^s$ (元/公斤)	2.06	[2.28, 3.34]	[2.58, 5.10]
$x_e$ (百万吨)	2.34	[8.47, 10.95]	[17.13, 22.41]

(续表)

	基期	$x_e^M=1\ 200$	$x_e^M=2\ 400$
$\bar{x}_e$ (百万吨)	0.87	[1.05, 3.53]	[1.59, 6.87]
$x_g$ (百万吨)	119.83	[115.26, 118.21]	[107.35, 115.49]
$D_h$ (百万吨)	164.69	[158.41, 162.47]	[147.54, 158.73]
$D_f$ (百万吨)	121.45	[123.54, 126.49]	[123.91, 132.05]
$S_c$ (百万吨)	219.55	[222.46, 236.54]	[226.43, 259.73]
$D_c$ (百万吨)	332.36	[316.79, 331.26]	[295.72, 329.91]
$S_o$ (百万吨)	199.69	[189.56, 197.57]	[172.46, 193.97]
$\bar{S}_o$ (百万吨)	381.01	[362.05, 378.57]	[329.09, 374.39]

资料来源:作者采用 Matlab 计算。

表7 Monte Carlo 仿真不同市场均衡下的福利变化百分比(相对基期)

	$x_e^M=1\ 200$	$x_e^M=2\ 400$
碳排放(吨)	[0.56%, 2.79%]	[-0.46%, 6.05%]
<i>CarbonCost</i>	[0.28%, 2.51%]	[-1.14%, 5.38%]
<i>NetTax</i>	[-2.78%, 0.86%]	[-6.24%, 4.61%]
$CS_h$	[-6.93%, -2.50%]	[-19.28%, -6.94%]
$CS_f$	[3.07%, 7.62%]	[3.66%, 17.29%]
$CS_c$	[-9.08%, -0.62%]	[-20.77%, -1.45%]
$PS_c$	[13.40%, 67.80%]	[32.12%, 166.98%]
$PS_o$	[-11.46%, -3.01%]	[-30.83%, -8.36%]
<i>Welfare</i>	[-1.04%, 0.18%]	[-2.79%, 0.28%]

资料来源:作者采用 Matlab 计算。

以上结果都进一步印证了此前的结论,但当燃料乙醇消费量  $x_e^M$  为 2 400 万吨时,碳排放变动的百分比区间为 [-0.46%, 6.05%],这意味着各个市场需求和供给弹性的变化以及生产系数的变化使碳排放有减少的可能性,相应的碳排放外部性损失也存在减少的可能性,这说明碳减排结果并不稳健。此外,无论是乙醇燃料产量  $x_e^M$  为 1 200 万吨还是 2 400 万吨,净税收收入均有增加的可能性,因为虽然汽油和玉米对净税收有减少的影响,但燃料乙醇对其有增加的影响,而随着各项参数的变动,燃料乙醇的影响会扩大。由于总福利中的几项成分都有不确定方向的变动,总福利也同样有增加或减少的可能性,不过幅度较小,与之前的结论一致。



## 五、结论与政策启示

本文将 Cui *et al.* (2011) 和 Cui and Martin (2017) 关于美国市场的研究方法应用到中国市场, 对我国燃料乙醇政策进行了经济福利分析。以 E10 (E20) 实现全国覆盖为例, 模拟仿真结果显示, 新燃料乙醇政策将使燃料乙醇价格大幅上涨, 幅度为 26% (62%), 产量大幅增长, 幅度为 326% (772%), 进口量的增长幅度为 132% (313%), 玉米消费者价格上涨 38% (89%), 产量增加 4.2% (10%), 用于食用和饲用的消费向燃料乙醇生产行业转移, 减少了 2.3% (5.4%), 玉米消费占总供给量的比例下降了 4 (11) 个百分点, 燃料乙醇的生产对玉米食用及饲用消费存在一定程度的挤出。汽油价格将下降 13% (33%), 产量下降 2.5% (6.6%)。乙醇汽油价格下降 6.8% (13%), 消费量增加 3.0% (5.8%)。车用乙醇汽油中汽油占比为 93% (87%), 换句话说, 燃料乙醇替代了 7% (13%) 的汽油。石油副产品价格上涨 2.9% (7.7%), 产量下降 2.5% (6.6%)。原油价格下降 5.0% (13%), 国内产量下降 2.5% (6.6%), 这意味着燃料乙醇减少了国内石油 2.5% (6.6%) 的消耗。该新政策使市场均衡发生了如上的变动, 导致玉米生产者剩余增加了 36% (87%), 消费者剩余减少了 4.5% (10%); 乙醇汽油消费者剩余增加了 6.1% (12%), 国内原油生产者剩余减少了 6.6% (17%), 石油副产品消费者剩余减少了 4.9% (13%)。同时碳排放增加了 0.89% (2.31%), 相应的损失增加 0.66% (1.7%), 从这一点看, 新政策或许未能很好地满足减少碳排放的需求。在市场组分福利变动的的影响下, 社会总福利减少了 0.73% (1.98%)。无论是全国推广 E10 还是 E20, 国产乙醇占总消费量比例均在 83% 以上, 从比例上看, 新增需求主要由国内生产满足, 但当乙醇比例达到 20% 时, 需要进口的燃料乙醇量高达 359 万吨, 增幅为 313%, 有大量的燃料乙醇依赖于国外进口。因此, 在政策的主要目的为削减库存粮食的情况下, 10% 的政策是更有效的选择, 同时也能较好地扶持国内燃料乙醇产业。

Monte Carlo 模拟结果进一步验证了基准模拟中关于燃料乙醇、玉米、汽油、石油副产品和石油的结论, 但它也显示出部分指标变动情况较为复杂, 结果并不显而易见。基准模拟的结果显示, 碳排放将因混合汽油的总消费量增加而增加, 但在燃料乙醇消费量  $x^M$  为 2 400 万吨时, 随着各市场供给和需求弹性、边际碳损失和生产系数等参数的变动, 碳排放和相应的污染外部性损失有下降的可能性, 这说明碳减排的结果并不稳健。净税收一方面受汽油消费量减少和玉米生产量增加的负向影响, 另一方面受燃料乙醇消费量增加

的正向影响,当各市场供给和需求弹性等参数变动时,净税收可能会增加。总福利在各项组成成分的变动下,也可能减少或增加,但变动的幅度都不大,增加不超过0.5%,减少不超过3%。

根据以上的结论,我们得到如下政策启示。第一,新燃料乙醇推广政策直接扩大燃料乙醇的需求,而且大部分需求由国内供给满足,可以有效地促进国内燃料乙醇行业的发展,不过,为了避免大量进口燃料乙醇,选择乙醇比例10%的混合汽油更为有效。第二,新政策促进了燃料乙醇对传统汽油的部分替代,一定程度上降低了我国对石油的需求,促进了可再生新能源对化石能源的替代。第三,燃料乙醇行业的发展解决了库存玉米问题,提高了玉米产量,促进了农业生产,提高了农业生产者的福利,但它挤出了玉米一定的食用及饲用需求,一定程度上存在着“与人争粮”的问题。最后,乙醇汽油的推广是否会降低碳排放这一问题存疑,碳排放的增减受到市场供给及需求弹性影响而存在不确定性。本文的基准模拟显示,燃料乙醇推广政策将导致碳排放量增加。因此,碳排放量有因乙醇汽油消费总量上涨而增加的可能,新政策或许不能很好地达到减少碳排放的目的。

本文研究的局限性存在以下几点。首先,关于燃料乙醇对总经济福利的正面影响衡量存在偏差。一是因为没有考虑玉米库存的变化,没有体现出燃料乙醇降低库存成本的作用;二是没有体现出燃料乙醇降低我国对石油资源依赖的作用;三是燃料乙醇的环境友好性仅通过低碳排放率体现,未考虑PM<sub>2.5</sub>等其他污染物。其次,乙醇汽油可能会加速汽车的损耗,燃料乙醇与汽油或许不能完全替代。此外,本文也只考虑了国内和国外两个地区,不能很好地研究某一国(如美国)的政策对我国的影响,模型的进一步拓展可以考虑多国、多市场均衡模型。

## 参考文献

- [1] Al-Riffai, P., B. Dimaranan, and D. Laborde, “Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate. Final Report for the Directorate General for Trade of the European Commission”, *International Food Policy Research Institute*, 2010.
- [2] 曹静、胡文皓,“中国城镇家庭汽油需求弹性估计”,《清华大学学报(自然科学版)》,2018年第5期,第489—493页。
- [3] 曹静、谢阳,“1999年至2007年期间中国人均柴油需求弹性”,《清华大学学报(自然科学版)》,2011年第51卷第2期,第241—244页。
- [4] Chen, X., H. Huang, M. Khanna, and H. Onal, “Meeting the Mandate for Biofuels: Implications for Land Use, Food and Fuel Prices”, NBER Working Paper, No. 16697, 2011.
- [5] Cui, J., H. Lapan, G. Moschini, and J. Cooper, “Welfare Impacts of Alternative Biofuel and Ener-

- gy Policies”, *American Journal of Agricultural Economics*, 2011, 93 (5), 1235-1256.
- [6] Cui, J., and J. I. Martin, “Impacts of US Biodiesel Mandates on World Vegetable Oil Markets”, *Energy Economics*, 2017, 65, 148-160.
- [7] Drabik, D., H. D. Gorter, and G. R. Timilsina, “The Effect of Biodiesel Policies on World Biodiesel and Oilseed Prices”, *Energy Economics*, 2014, 44, 80-88.
- [8] 黄季焜、仇焕广、M. Keyzer、E. Meng、W. van Veen, “发展生物燃料乙醇对我国区域农业发展的影响分析”, 《经济学》(季刊), 2009年第8卷第2期, 第727—742页。
- [9] Hertel, T. W., W. E. Tyner, and D. K. Birur, “The Global Impacts of Biofuel Mandates”, *Energy Journal*, 2010, 31 (1), 75-100.
- [10] 李超民, “生物能源政策发展下的美国家庭食品消费与前景”, 《农业展望》, 2010年第12期, 第27—31页。
- [11] 李爽、单琳琳, “基于引力模型的中国玉米进口贸易影响因素研究”, 《价格月刊》, 2017年第6期, 第44—48页。
- [12] 仇焕广、杨军、黄季焜, “生物燃料乙醇发展及其对近期粮食价格上涨的影响分析”, 《农业经济问题》, 2009年第1期, 第80—85页。
- [13] 仇焕广、井月、杨军、黄季焜、廖绍攀, “生物能源发展对中国消费者福利的影响”, 《中国人口·资源与环境》, 2013年第23卷第11期, 第144—149页。
- [14] 仇焕广、陈晓光、吕新业, “农业经济研究的前沿问题与方法探讨”, 《农业技术经济》, 2018年第1期, 第17—23页。
- [15] Searchinger, T., R. Heimlich, R. A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, and T. Yu, “Use of U. S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land-Use Change”, *Science*, 2008, 319, 1238-1240.
- [16] 孙泽生, “石油国内税的价格效应——基于垂直市场结构的研究”, 《世界经济研究》, 2009年第11期, 第50—56页。
- [17] Taheripour, F., T. W. Hertel, W. E. Tyner, “Implications of Biofuels Mandates for the Global Livestock Industry: A Computable General Equilibrium Analysis”, *Agricultural Economics*, 2011, 42, 325-342.
- [18] 吴方卫、沈亚芳、张锦华、许庆, “生物燃料乙醇发展对中国粮食安全的影响分析——基于‘与粮争地’的视角”, 《农业技术经济》, 2009年第1期, 第21—29页。
- [19] 徐振伟, “世界粮食危机与中国粮食安全”, 《东北亚论坛》, 2012年第3期, 第28—35页。
- [20] 张雪莲, “发展燃料乙醇对我国玉米生产和贸易的影响”, 《生态经济》, 2013年第5期, 第151—156页。

## Economic Welfare and Carbon Mitigation Effect of Ethanol Policies in China

JINGBO CUI YUNLAN YANG

*(Wuhan University)*

YONGPING SUN\*

*(Hubei University of Economics)*

**Abstract** To assess the welfare impacts of the ethanol production expansion in China, we construct a multi-sector partial-equilibrium model in an open economy. The model investigates the welfare impact of ethanol production expansion on agricultural and related energy markets. Simulation results suggest that ethanol policy leads to a substantial increase in ethanol production, imports and its price, but a reduction in crude oil utilization. Consumption in food and feed is diverted into ethanol production. Social welfare is redistributed among different markets. The E10 policy is an effective policy. It helps reduce inventory of agricultural feedstock, boosts up ethanol industry, but fails to mitigate carbon emissions.

**Key Words** ethanol, economic welfare, carbon emissions

**JEL Classification** Q21, H20, F10

---

\* Corresponding Author: Yongping Sun, School of Low Carbon Economics at Hubei University of Economics/Center of Hubei Cooperative Innovation for Emissions Trading System, Wuhan, Hubei, 430205 China; Tel: 86-27-81977191; E-mail: sunyp@hbue.edu.cn.