

Quantitative Evaluation of the Influence of Ban on Plastic Bottled Water

Zixuan Shao¹, Zhengnan Lai¹, Xincheng Zhang¹, Yue Pan¹, Anshui Li^{2*}

¹Hangzhou Foreign Languages School, Hangzhou Zhejiang

²School of Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Email: *15990043756@163.com

Received: Jan. 30th, 2020; accepted: Feb. 12th, 2020; published: Feb. 19th, 2020

Abstract

Since 2013, the ban on plastic bottled water has been passed and enforced in many parts of the United States. Proponents of the ban believe that growing plastic products produce a large amount of plastic waste, which has brought serious environmental harm to the earth. Opponents of the ban believe that plastic bottled water is a necessary product in crisis, and its importance is self-evident. They believe that the ban will also cause unemployment in related industries. In this paper, a piecewise linear robust regression model is used to model environmental and economic indicators, and a measure of the impact of plastic bottled water ban on a single indicator is given. On this basis, AHP is used to determine the weight of environmental and economic indicators, so as to give a quantitative evaluation of the comprehensive impact of the ban on plastic bottled water.

Keywords

Ban on Plastic Bottled Water, Piecewise Linear Robust Regression, AHP

塑料瓶装水禁令影响力的定量评估

邵子轩¹, 来正楠¹, 张新承¹, 潘越¹, 李安水^{2*}

¹杭州外国语学校, 浙江 杭州

²杭州师范大学理学院, 浙江 杭州

Email: *15990043756@163.com

收稿日期: 2020年1月30日; 录用日期: 2020年2月12日; 发布日期: 2020年2月19日

摘要

2013年以来, 塑料瓶装水禁令在美国的许多地方被通过并执行。禁令的支持者认为日益增长的塑料制品产生大量的塑料垃圾, 给地球带来了严重的环境危害; 而禁令的反对者认为, 在危机情况下塑料瓶装水

*通讯作者。

属于必需用品,重要性不言而喻,他们认为禁令还会在相关工业中造成的失业问题。本文利用分段线性稳健回归模型对环境、经济等指标进行建模,给出了塑料瓶装水禁令对单指标影响力的度量。在此基础上利用层次分析方法来确定环境、经济等指标的权重,从而给出塑料瓶装水禁令综合影响力的定量评估。

关键词

塑料瓶装水禁令,分段线性稳健回归,层次分析

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2013 年以来,塑料瓶装水禁令在美国的许多地方被通过并执行,其中包括马塞诸塞州的康科德镇,加州的旧金山和其他一些西方国家的城市。根据政府颁布的相关法令,体积小于 1 升的塑料瓶装饮用水的售卖被禁止,但其他饮料和更大包装饮用水的售卖不受限制。禁令的支持者认为日益增长的塑料制品需求给地球带来了严重的危害,塑料瓶装水不仅对水源地的环境有负面影响,在生产中也消耗大量的能量及资源,同时还产生大量不可降解废料,造成多种环境污染问题。但禁令的反对者认为,在危机情况下,比如地震、飓风时,人们无法通过其他方式获取可饮用的水,塑料瓶装水相当地重要;他们还对此禁令在相关工业中可能造成的失业问题表示担忧。

关于禁令的争辩一直在持续,本文试图通过建立数学模型对塑料瓶装水禁令所带来的经济和环境等影响给出定量评估,从而为决策者提供一定的参考。首先,我们通过政府网站,企业、行业协会等网站收集环境、经济有关的数据,利用时间序列图选取对禁令敏感的指标,即禁令前后发生显著性改变的指标,采用分段线性稳健回归[1],建立了禁令对单指标的影响力模型,最后利用层次分析综合评级方法[2]给出禁令综合影响力的定量分析。

2. 塑料瓶装水禁令对单指标的影响力模型

2.1. 分段线性回归模型引入

2013 年是美国瓶装水禁令的关键时间点。我们认为该禁令对经济,环境均有影响。如塑料瓶装水的放弃 PET 作为塑料瓶装水的材料。为此,我们认为,塑料瓶装水的销售将直接受到该禁令影响,进而影响公司的营业和产品。我们进一步认为,瓶装水销量的增速会放缓,这会导致公司量和 PET 公司的收入来衡量禁令的影响。而塑料瓶装水销量减少也可能造成塑料类垃圾的减少。

由于该禁令是突发性的,在 2013 年前后各个指标都有着截然不同的变化趋势。通过进一步观察和分析,我们发现 PET 塑料瓶垃圾体积、PET 塑料厂家的收入、其他饮料的市场占有率、行业失业率等在 2013 年前均服从一种线性关系;由于受到塑料瓶禁令的影响,2013 年后服从另一种线性关系。因此,我们考虑建立由两段构成的分段线性回归模型。

为了拟合分段线性回归模型,常见方法是用最小二乘估计方法。最小二乘估计一般受异常点的影响较大。考虑到我们收集数据的样本量较少,并且为了减小异常值的影响,我们通过稳健回归方法来给出分段线性回归方程的系数估计。

为了考察塑料瓶禁令对指标的影响,我们用禁令前后指标斜率的相对变化率来作为禁令影响力度量。相对变化率与绝对变化相比不受量纲的影响,这是我们选取相对变化率的主要原因。

2.2. 分段线性稳健回归模型与求解

假设 y 为指标因变量,时间 t 为自变量。在点 t_0 处的虚拟变量定义为

$$D_{t_0}(t) = \begin{cases} 1 & t \geq t_0 \\ 0 & t < t_0 \end{cases} \quad (1)$$

分段线性回归模型为

$$y(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 (t - t_0) D_{t_0}(t) + \varepsilon(t) \quad (2)$$

其中 $\varepsilon(t)$ 为随机误差项,满足 $E[\varepsilon(t)] = 0$ 。由模型我们可得 $y(t)$ 的数学期望为

$$\begin{aligned} E[y(t)] &= \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 (t - t_0) D_{t_0}(t) \\ &= \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 t & t < t_0 \\ \beta_0 - \beta_2 t_0 + (\beta_1 + \beta_2)t & t \geq t_0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

假设我们收集到数据样本为 $(t_1, y(t_1)), (t_2, y(t_2)), \dots, (t_n, y(t_n))$ 。考虑到我们收集数据的样本量较少,并且为了减小异常值的影响,我们通过稳健回归方法来给出分段线性回归方程的系数估计。

首先我们定义绝对误差和为

$$l(\beta_0, \beta_1, \beta_2) = \sum_{i=1}^n |y_i - \beta_0 - \beta_1 t_i - \beta_2 (t_i - t_0) D_{t_0}(t_i)| \quad (4)$$

那么 $(\beta_0, \beta_1, \beta_2)$ 的估计 $(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ 满足

$$l(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2) = \min_{\beta_0, \beta_1, \beta_2 \in R} l(\beta_0, \beta_1, \beta_2) = \min_{\beta_0, \beta_1, \beta_2 \in R} \sum_{i=1}^n |y_i - \beta_0 - \beta_1 t_i - \beta_2 (t_i - t_0) D_{t_0}(t_i)| \quad (5)$$

该估计称为稳健回归估计。

由于 l 是一个含有绝对值的非线性目标函数,很难进行优化求解,我们可以转化为线性规划问题或者通过引入 Huber 损失函数转化为具有光滑性的目标函数进行求解等,这里就不再给出。我们利用 R 软件包 MASS 的函数 rlm() 给出的 β 的稳健回归估计。

2.3. 塑料瓶装水禁令对单指标影响力的度量

假设 y 为一环境、经济指标,该指标为时间 t 的函数, t_0 为禁令颁布的时间。由于塑料瓶禁令的影响,在时刻 t_0 后函数发生了变化,假设变化后仍为线性函数,即 $y(t)$ 为分段线性函数,即 $y(t)$ 满足

$$y(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 (t - t_0) D_{t_0}(t) + \varepsilon(t) \quad (6)$$

在时刻 t_0 后 T 时间内塑料瓶禁令对该指标的影响力定义为

$$I_{t_0}(T) = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_0+T} \beta_2 (t - t_0)}{\sum_{t=t_0}^{t_0+T} (\beta_0 + \beta_1 t)} \quad (7)$$

$I_{t_0}(T)$ 的分子 $\sum_{t=t_0}^{t_0+T} \beta_2 (t - t_0) = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} [(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 (t - t_0)) - \beta_0 - \beta_1 t]$ 表示在时刻 t_0 后 T 时间内由塑料瓶

禁令的影响指标值增加量之和，分母表示在时刻 t_0 后 T 时间内不受塑料瓶禁令的影响指标值之和，因此 $I_{t_0}(T)$ 表示在时刻 t_0 后 T 时间内由于塑料瓶禁令影响相对变化的量。如果 $I_{t_0}(T) > 0$ ，则 $I_{t_0}(T)$ 表示在时刻 t_0 后 T 时间内由于塑料瓶禁令影响相对增加的比例；如果 $I_{t_0}(T) < 0$ ，则 $I_{t_0}(T)$ 表示在时刻 t_0 后 T 时间内由于塑料瓶禁令影响相对减少的比例。

命题：若 $\beta_1 \neq 0, \beta_2 \neq 0$ ，则 $\lim_{T \rightarrow \infty} I_{t_0}(T) = \frac{\beta_2}{\beta_1}$

证明：

$$I_{t_0}(T) = \frac{\sum_{t=t_0}^{t_0+T} \beta_2(t-t_0)}{\sum_{t=t_0}^{t_0+T} (\beta_0 + \beta_1 t)} = \frac{\beta_2 \frac{T(T+1)}{2}}{\beta_0(T+1) + \beta_1 \frac{T(T+1)}{2}} \quad (8)$$

因此 $\lim_{T \rightarrow \infty} I_{t_0}(T) = \frac{\beta_2}{\beta_1}$ 。

根据上面命题，我们定义塑料瓶装水禁令对该指标的长期影响力为

$$I = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

如果 $I > 0$ ，则 I 表示从长期来看，由于禁令影响相对增加的比例；如果 $I \leq 0$ ，则 I 表示从长期来看，由于禁令影响相对降低的比例。

3. 塑料瓶装水禁令对美国环境、经济等影响力的度量

本文收集了美国近年来 PET 塑料瓶装水垃圾总量、就业率、PET 公司的收入、可口可乐市场占有率等相关指标数据，下面我们给出禁令对这些环境、经济等指标的影响力度量。

3.1. 塑料瓶装水禁令对 PET 塑料瓶装水垃圾量的影响力度量

通过查阅相关文献，我们获得了 2007~2017 年美国 PET 塑料瓶装水垃圾总量，见表 1。

Table 1. Total waste amount of pet plastic bottled water in the United States, 2007~2017 (Unit: m^3)

表 1. 2007~2017 年美国 PET 塑料瓶装水垃圾总量(单位：立方米)

年份	塑料瓶装水垃圾总量	年份	塑料瓶装水垃圾总量
2007	440,716.2	2013	511,115.8
2008	436,282.5	2014	550,097.5
2009	425,447.6	2015	593,875.3
2010	440,660.8	2016	644,602.9
2011	458,329.9	2017	689,980.9
2012	481,826.6		

为了便于描述，我们令 2007 年为第 1 年，2008 年为 2 年，以此类推，2017 年为第 11 年，其中禁令颁布年 2013 年为第 7 年。我们以 2007~2017 年 PET 瓶装水所产生的塑料垃圾量为解释变量， $t_0 = 7$ 为分段点，建立分段线性回归模型。利用 R 软件的 MASS 包函数 `rlm()` 得出稳健回归方程如下：

$$y(t) = 402081 + 13406t + 35671(t-7)D_7(t) = \begin{cases} 402081 + 13406t, & t < 7 \\ 152380 + 49077t, & t \geq 7 \end{cases}$$

图 1 为 2007~2017 年 PET 瓶装水所产生塑料垃圾量的分段线性稳健回归拟合曲线图。

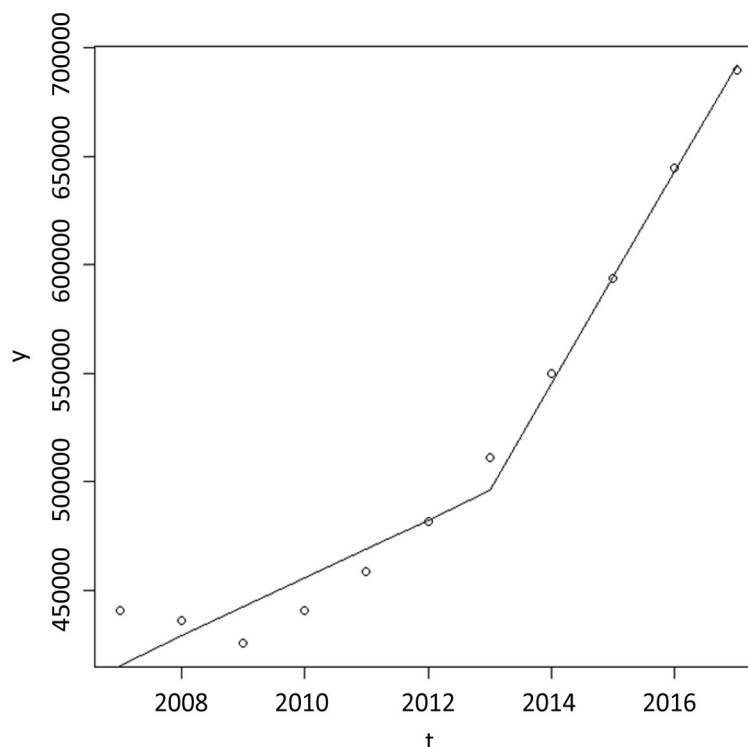


Figure 1. Piecewise linear robust regression fitting curve of total waste amount of pet plastic bottled water, 2007~2017

图 1. 2007~2017 年 PET 瓶装水所产生塑料垃圾量的分段线性稳健回归拟合曲线图

由分段线性稳健回归方程可知, 在 2013 年实施禁令前, 平均每年的 PET 塑料瓶垃圾产生量为 13,406 立方米。2013 年后, 平均每年的 PET 塑料瓶垃圾产生量为 49,077 立方米。由此可见, 在禁令发布后, PET 塑料瓶垃圾的总量大幅度增加。这可能是由瓶装水的销售总体积增加所导致的, 由于一个人对水的日需求基本不变, 禁止小瓶 PET 瓶装水的售卖, 导致人们购买大瓶瓶装水, 使 PET 塑料瓶垃圾的总量增加。

根据分段线性稳健回归方程可得, 禁令实施后 4 年来对塑料垃圾袋量的影响力为

$$I_7(4) = 0.14$$

即禁令实施后 4 年来垃圾总量增加了 14%。禁令实施后对塑料垃圾量长期影响力为

$$I = \frac{49077}{13406} = 3.66$$

即从长期来看, 禁令实施后塑料垃圾量增加 3.66 倍。

3.2. 塑料瓶装水禁令对就业率的影响力度量

通过查阅相关文献, 我们收集了 2010~2019 年美国就业率的数据, 见表 2。

Table 2. Rate of employment in the United States, 2010~2019**表 2.** 2010~2019 年美国的就业率

年份	就业率	Year	就业率
2010	0.902	2015	0.943
2011	0.908	2016	0.951
2012	0.917	2017	0.952
2013	0.92	2018	0.959
2014	0.934	2019	0.96

我们令 2010 年为第 1 年，则 2011 年为 2 年，以此类推，2019 年为第 10 年，其中禁令颁布年 2013 年为第 4 年。以 2010~2019 年美国就业率为解释变量， $t_0 = 4$ 为分段点，建立分段线性回归模型，得到稳健回归方程如下：

$$y(t) = 0.8920 + 0.0087t - 0.0024(t-4)D_4(t) = \begin{cases} 0.8920 + 0.0087t, & t < 4 \\ 0.9016 + 0.0063t, & t \geq 4 \end{cases}$$

图 2 为 2010~2019 年美国就业率的分段线性稳健回归拟合曲线图。

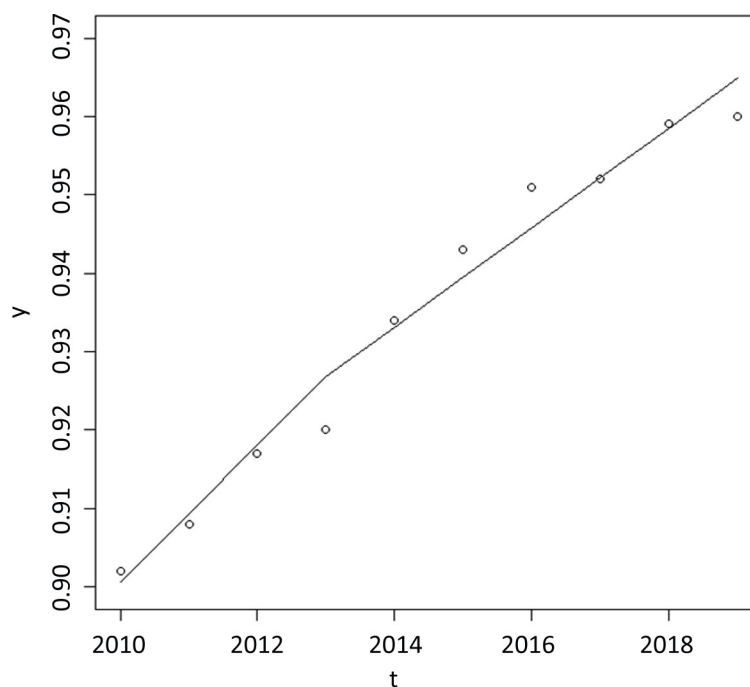


Figure 2. Piecewise linear robust regression fitting curve of the rate of employment in the United States, 2010~2019

图 2. 2010~2019 年美国就业率的分段线性稳健回归拟合曲线图

由分段线性稳健回归方程可知，在 2013 年实施禁令前美国平均每年的就业率增长 0.87%，在 2013 年后平均每年的就业率增长 0.63%。由此可见，在禁令发布后美国的就业率下降了。这一结果可能是由于禁令导致的 PET 行业衰败，导致就业率下降。

根据分段线性稳健回归方程可得，禁令实施后近 7 年对就业率的影响力为

$$I_4(7) = -0.0076$$

即实施禁令后近 7 年来就业率下降了 0.76%。禁令实施后对就业率的长期影响力为

$$I = -\frac{0.0024}{0.0087} = -0.2759$$

即从长期来看，禁令实施使得就业率下降 27.59%。

3.3. 塑料瓶禁令对 PET 公司收入影响力度量

Lyondell Basell 是一家 PET 塑料公司，我们收集了公司的 2009~2018 年收入的数据，见表 3。

Table 3. Annual income of the Lyondell Basell, 2009~2018 (Unit: Million USD)

表 3. Lyondell Basell 的 2009~2018 年收入(单位：百万美元)

年份	总利润	年份	总利润
2009	169	2014	3572
2010	1363	2015	3256
2011	1885	2016	2393
2012	2650	2017	2,382
2013	3253	2018	2,251

我们令 2009 年为第 1 年，则 2010 年为 2 年，依此类推，2018 年为第 10 年，其中禁令颁布年 2013 年为第 5 年。以 2009~2019 年美国就业率为解释变量， $t_0 = 5$ 为分段点，建立分段线性回归模型，得到稳健回归方程如下：

$$y(t) = 142.2 + 468.2t - 266.2(t-5)D_5(t) = \begin{cases} 142.2 + 468.2t, & t < 5 \\ 1475.2 + 201.6t, & t \geq 5 \end{cases}$$

图 3 为 2009~2018 年 Lyondell Basell 公司总利润的分段线性稳健回归拟合曲线图。

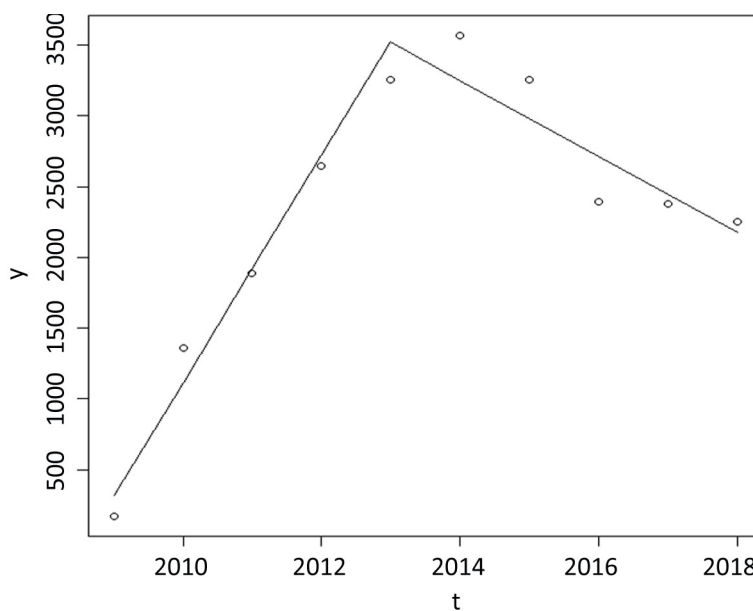


Figure 3. Piecewise linear robust regression fitting curve of the gross profit of Lyondell Basell

图 3. Lyondell Basell 公司总利润的分段线性稳健回归拟合曲线图

由分段线性稳健回归方程, 在 2013 年实施禁令前, Lyondell Basell 公司平均每年的收入增长 468.2 百万美元。在 2013 年后, 平均每年的收入增长 201.6 百万美元。由此可见, 在禁令发布后, Lyondell Basell 公司收入增长降低了。这可能是由于禁令导致的 PET 行业衰败, 导致 PET 公司利润下降。

根据分段线性稳健回归方程可得, 禁令实施后近 5 年来对 Lyondell Basell 公司的影响力为

$$I_5(5) = -0.18$$

即禁令实施后近 5 年来利润下降了 18%。禁令实施后对 Lyondell Basell 公司长期影响力为

$$I = -\frac{266.6}{468.2} = -0.57$$

即从长期来看, 禁令实施后使得 Lyondell Basell 公司利润降低 57%。

3.4. 塑料瓶禁令对可口可乐市场占有率影响力度量

我们从可口可乐公司的官网收集到了 2004~2018 年可口可乐每年的市场占有率, 见表 4。

Table 4. Coca Cola's market share, 2004~2018

表 4. 2004~2018 年可口可乐的市场占有率

年份	市场占有率	年份	市场占有率
2005	0.431	2012	0.419
2006	0.431	2013	0.420
2007	0.429	2014	0.424
2008	0.428	2015	0.423
2009	0.427	2016	0.425
2010	0.419	2017	0.428
2011	0.420	2018	0.433

令 2004 年为第 1 年, 2005 年为第 2 年, 以此类推, 2018 年为第 10 年, 其中禁令颁布年 2013 年为第 9 年。以 2004~2018 年可口可乐公司市场占有率为解释变量, $t_0 = 9$ 为分段点, 建立分段线性回归模型, 得到稳健回归方程如下:

$$y(t) = 0.4337 - 0.0017t + 0.0043(t-5)D_9(t) = \begin{cases} 0.4337 - 0.0017t, & t < 9 \\ 0.4122 + 0.0026, & t \geq 9 \end{cases}$$

图 4 为 2005~2018 年可口可乐公司市场占有率的分段线性稳健回归拟合曲线图。

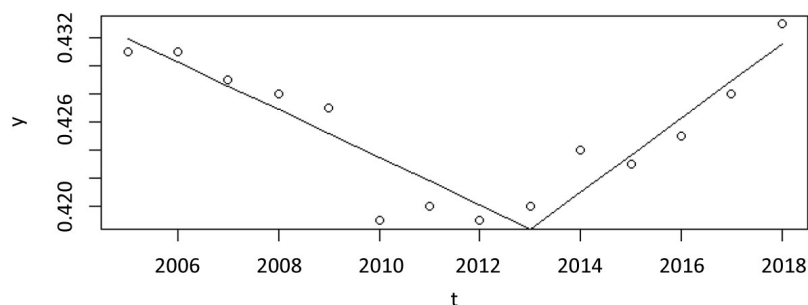


Figure 4. Piecewise linear robust regression fitting curve of the Coca Cola's market share, 2005~2018

图 4. 2005~2018 年可口可乐公司市场占有率的分段线性稳健回归拟合曲线图

由分段线性稳健回归方程可知，在 2013 年实施禁令前，可口可乐的市场占有率为下降趋势，禁令发布后可口可乐的市场占有率为上升趋势。这可能是禁令打压了塑料瓶装水的发展，一部分人选择可口可乐作为塑料瓶装水的替代品，所以导致可口可乐的市场占有率上升。

根据分段线性稳健回归方程可得，禁令实施后近 5 年来对可口可乐市场占有率的影响力为

$$I_0(5) = 2.5\%$$

即禁令实施后近 5 年来利润下降了 2.5%。禁令实施后对可口可乐市场占有率的长期影响力为

$$I = 2.53$$

即从长期来看，禁令实施后可口可乐的市场占有率增加 2.53 倍。

4. 塑料瓶装水禁令综合影响力的定量评估

上面我们给出了禁令对美国 PET 塑料瓶装水垃圾总量、就业率、PET 公司的收入、可口可乐市场占有率等指标的影响力度量。下面我们通过层次分析法来确定这四个指标的权重，从而给出禁令综合影响力的定量评估。

4.1. 构造判断矩阵

在用层次分析法时，最重要的就是将定性分析与定量计算相结合。令 u_1, u_2, \dots, u_n 为 n 个指标。判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 中的每一个元素 a_{ij} 表示指标 u_i 相对指标 u_j 的重要程度。判断矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 若满足

$$a_{ij} > 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

则称 A 为正互反矩阵；若

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

则称 A 为一致矩阵，表示各指标之间满足一致(重要排序)关系。

本文采用 Satty 9 级标度法构造一个正互反矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。在该标度法中每个数字的含义见表 5。

Table 5. Satty 9 scale meaning table

表 5. Satty 9 级标度意义表

标度	意义
1	u_i 和 u_j 具有同样重要性
3	u_i 比 u_j 稍微重要
5	u_i 比 u_j 明显重要
7	u_i 比 u_j 强烈重要
9	u_i 比 u_j 极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值
倒数	若 u_i 相对 u_j 的重要性比值为 a_{ij} ，那么 u_j 相对 u_i 的重要性比值为 $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

如果要求评价的结果准确，则需要一个权威的判断矩阵。本文采用简答的方法，参考了环保和经济领域的专家建议，对 PET 塑料瓶装水垃圾总量 u_1 、就业率 u_2 、美国 PET 公司的收入 u_3 、可口可乐市场占有率 u_4 等指标给出了判断矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 & 3 \\ 2 & 1 & 6 & 5 \\ 1/4 & 1/4 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1/5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2. 计算权重排序向量与一致性检验

在判断矩阵的构造中，并不要求矩阵完全拥有一致性，这是客观事物的复杂性与人类认识的多样性所决定的，9 级标度也决定了三阶以上的判断矩阵是很难满足一致性的。但要求判断有大体上的一致性应该是应该的，出现甲比乙极端重要，乙比丙极端重要而丙比甲极端重要的判断一般是违背常识的。一个混乱的经不起推敲的判断矩阵有可能导致决策的失误，而且上述各种计算排序权重的方法当判断矩阵过于偏离一致性时，其可靠性程度大大降低。我们将通过一致性检验确定判断矩阵一致性是否可以接受，如果接受，将从判断矩阵中求出被比较指标的排序权重向量。本文采用特征根法计算排序权重向量，即求判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 及其对应的右特征向量 w ，分别称为主特征根与右主特征向量，然后将归一化后的右主特征向量作为排序权重向量。

通过计算可得判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及其对应的右特征向量 w 为

$$\lambda_{\max} = 4.15, w = (0.338, 0.407, 0.095, 0.160)^T$$

对判断矩阵 A 进行一致性检验如下：

1) 计算一致性指标 $C.I.$ 。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.15 - 4}{4 - 1} = 0.05$$

2) 查找相应的平均随机一致性指标 $R.I.$ ，下表给出了 1~11 阶正互反矩阵的平均随机一致性指标。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$R.I.$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

3) 计算一致性比例 $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$ 。当 $C.R. < 0.10$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则应对判断矩阵作适当修正。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.05}{0.9} = 0.055 < 0.10$$

说明判断矩阵的一致性是可以接受的。

4.3. 塑料瓶装水禁令的长期综合影响力度量

令“-”号代表负面影响，“+”代表正面影响。我们知道塑料瓶垃圾量增加会给环境带来污染，因此我们取禁令对 PET 塑料瓶装水垃圾总量的影响力为-3.66。对就业率和 PET 公司收入带来负增长，因此取禁令对就业率和 PET 公司收入的影响力分别为-0.2759，-0.57。禁令使得可口可乐市场占有率的增加，显然是正面影响，因此禁令对可口可乐市场占有率的影响力为 2.53。表 6 为禁令对各指标影响力的度量。

这样我们便得到禁令的长期综合影响力为

$$-3.66w_1 - 0.2759w_2 - 0.57w_3 + 2.53w_4 = -0.9987$$

Table 6. Measurement of the Influence of Prohibition on relevant Indicators**表 6.** 禁令对相关指标影响力的度量

指标	2013 年后长期影响力度量
PET 塑料瓶装水垃圾总量	-3.66
就业率	-0.2759
PET 公司收入	-0.57
可口可乐市场占有率	2.53

长期来看，塑料瓶禁令给美国带来的综合影响为负面影响，其综合影响为-99.87%。

5.模型的优缺点

5.1. 模型的优点

本文根据环境、经济等指标时间序列的分段线性特征以及数据量少的实际情况，采用了分段线性回归以及稳健估计进行拟合。在此基础上，提出了塑料瓶装水禁令对环境、经济等指标短期影响力和长期影响力的概念，并给出了短期影响力和长期影响力度量公式。

5.2. 模型的缺点

本文收集到的环境、经济等指标较少，尤其是层次分析的判断矩阵相对主观，对于塑料瓶装水禁令的影响力定量评估存在一定的误差，因此需要尽可能增加与禁令有关的环境、经济指标，这样综合评价更全面，定量评价的结果也更有说服力。

参考文献

- [1] 王黎明, 陈颖, 杨楠. 应用回归分析[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2014: 164-153.
- [2] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 第 7 版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 136-141.