

DOI: 10.5846/stxb201405191024

敖长林, 周领, 焦扬, 王世雪. 初始投标值数量和样本容量对双边界二分式 CVM 的影响. 生态学报, 2016, 36(3): - .

Ao C L, Zhou L, Jiao Y, Wang S X. Influence of Initial Bid Number and Sample Size on the Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation Method. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

## 初始投标值数量和样本容量对双边界二分式 CVM 的影响

敖长林\*, 周 领, 焦 扬, 王世雪

东北农业大学 管理科学与工程系, 哈尔滨 150030

**摘要:** 双边界二分式条件价值评估法是当前广泛应用于评估生态环境和自然资源价值的陈述偏好法。为了研究双边界二分式 CVM 中, 不同分布中初始投标值数量及样本容量对 WTP 的影响, 应用蒙特卡洛模拟和支付意愿函数模型相结合的方法, 用概率分位数设计投标值, 分别选择数据来源不同的 Weibull 分布和对数 Logistic 分布, 动态模拟不同初始投标值数量和样本容量对 WTP 期望值产生的影响。模拟结果表明, 对不同的 WTP 概率分布, 初始投标值数量和样本容量对 WTP 的影响趋势是一致的, 当初始投标值数量和样本容量分别大于 5 和 500 时, 初始投标值数量和样本容量的增加, 对 WTP 估计值的影响程度越来越小。研究结果表明, 在二分式 CVM 研究中, 当以 WTP 期望为代表值时, 其初始投标值数量和样本容量至少为 5 和 500。研究结论为二分式 CVM 问卷设计中投标值数量及样本容量的设定提供参考依据。

**关键词:** 双边界二分式; 支付意愿; 蒙特卡洛模拟; 初始投标值数量; 样本容量

## Influence of Initial Bid Number and Sample Size on the Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation Method

AO Changlin\*, ZHOU Ling, JIAO Yang, WANG Shixue

Department of Management Science and Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

**Abstract:** The contingent valuation method (CVM) is a survey-based method that uses random samples of families or individuals to reveal consumer preferences for goods or services, such as environmental resources, in a hypothetical market. Through questionnaires, CVM identifies people's preferences and expresses them in dollar terms as willingness to pay (WTP) or willingness to accept (WTA). WTP (or WTA) can be used to gain insights into the potential economic benefits or losses brought about by a planned project. A great variety of questionnaire formats have been developed and applied, among which the dichotomous choice CVM is considered to be one of the most advanced methods. In recent years, the double-bounded dichotomous choice contingent valuation method (DBDC-CVM) has been widely used to value the ecological environment and natural resources. It can identify respondents' true WTP and reduce the deviation of assessment results, thereby making the results more accurate and reliable. The initial bid number and sample size are very important determinants of WTP in DBDC-CVM. Fewer initial bids and smaller sample sizes will reduce the validity and reliability of the resultant WTP. In contrast, more initial bids and larger sample sizes increases the difficulty and cost of the survey. The number of initial bids is always obtained using a pre-test, while the sample size is always determined by field research or online surveys. This study investigates the dynamic effects of initial bid number and sample size on mean WTP, using the willingness to pay (WTP) function model and a-posteriori Monte Carlo simulation. We use Weibull and log-logistic

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71171044)

收稿日期: 2014-05-19; 网络出版日期: 2015- -

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: aochanglin@gmail.com

distributions of WTP to simulate two different sources of data. In order to simplify the Monte Carlo simulation, we quantize the probability distribution and make a hypothesis to design bids. We produce four graphs to visualize the simulated results and use these to identify the optimum number of initial bids and sample size. Initial bid number and sample size had almost the same influence on mean WTP for both WTP distributions. When the initial bid number  $t$  and sample size exceed 5 and 500, respectively, the influence on mean WTP is almost the same. Based on this result we suggest that at least 5 initial bids and 500 samples are needed in order to ensure the validity and reliability of estimates of mean of WTP generated by Monte Carlo simulation. These results provide a quantitative basis for CVM questionnaire design and have the potential to improve the validity and reliability of WTP.

**Key Words:** double bounded dichotomous choice; willingness to pay; Monte Carlo simulation; initial bids content; sample size

条件价值评估法(Contingent Valuation Method, CVM)是一种典型的陈述偏好评估法,被广泛应用于生态环境的非使用价值评估中<sup>[1]</sup>。CVM是在假想的市场条件下,通过直接向受访者调查和询问他们对某一生态资源环境改善和保护措施的支付意愿(Willingness to Pay, WTP),或对某一生态资源环境的破坏和损失所愿意接受的补偿意愿(Willingness to Accept Compensation, WTA),最终用受访者的 WTP 或 WTA 来估计某一生态资源环境的经济价值<sup>[2]</sup>。

1963年美国哈佛大学 R.Davis<sup>[3]</sup>首次将 CVM 应用于缅因州林地的娱乐价值的评估。1984年,美国加州大学的 Hanemann<sup>[4]</sup>将 CVM 与随机效用最大化理论(Random Utility Maximization, RUM)相结合,为 CVM 奠定了重要的经济学基础。1976年, Bishop<sup>[5]</sup>和 Heberlein 将封闭式问题结构引入到 CV 中,提出了二分式条件价值评估(Dichotomous Choice Contingent Valuation, DCCV)。此后, Hanemann<sup>[4]</sup>和 Cameron<sup>[6]</sup>等对 DCCV 这一理论进行了深化发展,使其得到了更广泛的应用<sup>[7]</sup>。1986年, Carson<sup>[8]</sup>等人在 DCCV 的基础上提出了双边界二分式(Double-bounded Dichotomous Choice, DBDC)条件价值评估法。Hanemann 等人证明 DBDC 能够收集更多的关于受访者 WTP 的信息,同时也比以往的单边界二分式(Single-bounded Dichotomous Choice, SBDC)更有效率和科学性<sup>[9]</sup>。DBDC-CVM 能够有效地模拟市场交易行为,精确地描述假想市场,避免假想偏差,更加真实的反映了受访者的 WTP 或 WTA<sup>[10]</sup>,因此在国外各个领域得到了广泛的研究和应用<sup>[11-14]</sup>。与国外相比, CVM 在我国的研究还处于起步阶段,问卷设计还是以早期的支付卡为主, DBDC-CVM 理论研究及其应用案例相对较少。

CVM 研究一般分为三个步骤:问卷设计、问卷发放回收及数据分析<sup>[15]</sup>。问卷设计和发放是关系到 CVM 研究成败的关键环节,问卷初始投标值数量和样本容量会影响 CVM 的评估结果。目前 CV 问卷设计中初始投标值数量是通过预调研来确定。1991年 Duffield 和 Patterson<sup>[16]</sup>在前人的基础上提出投标值设计及其样本容量分配的方法, Cooper<sup>[17]</sup>在此基础上进一步提出投标值及样本在各投标值分配的最优设计方法。1993年, Kanninen<sup>[18]</sup>研究了 DBDC-CVM 中投标值对 WTP 的影响,得出最优投标值设计。Boyle<sup>[19]</sup>和 Roach<sup>[20]</sup>分别从单边界和多边界角度讨论了 CV 中投标值的设计。以上研究大多局限在讨论投标值或其所分配的样本数量对 WTP 产生的影响,而缺少初始投标值数量和样本容量的组合对 WTP 影响的研究,缺少确定选择初始投标值数量和样本容量的定量依据。过多的初始投标值数量和样本容量会增加问卷的设计难度,提高调研成本,而过少的数量又会影响到收集数据及评估结果。

本文在已有研究的基础上<sup>[21-25]</sup>应用支付意愿函数模型,通过蒙特卡洛模拟,分别选择数据来源不同的 Weibull 分布和对数 Logistic 分布,探讨不同的初始投标值数量和样本容量对 WTP 的动态影响,依据 WTP 均方误差(Mean squared error, MSE)变化趋势得到初始投标值数量和样本容量的最低数量。和目前 DBDC-CVM 研究现状相比<sup>[17-20]</sup>,本文的贡献是从初始投标值数量和样本容量这两个角度,讨论两者的组合对 WTP 期望值的动态影响,并给出初始投标值和样本容量的最低数量,研究结果为 CVM 问卷中初始投标值数量及样本容

量的确定提供定量参考依据。

论文共分三部分:第一部分介绍 CVM 计算模型中的支付意愿函数模型;第二部分,应用蒙特卡洛模拟,讨论 Weibull 分布和对数 Logistic 分布中不同初始投标值数量和样本容量对 WTP 期望值的影响;第三部分为结论和讨论。

## 1 DBDC-CVM 计算模型

蒙特卡洛模拟中的核心是通过计算 WTP 的均方误差讨论初始投标值数量及样本容量对 WTP 的影响。在计算 WTP 时,运用 Cameron<sup>[26]</sup>提出的支付意愿函数模型,通过受访者的支付意愿和提示额的关系,估计受访者的支付意愿。

DBDC-CVM 是在 SBDC 的基础上通过受访者对封闭式投标值给出 4 种回答:同意/同意,同意/不同意,不同意/同意,不同意/不同意,根据受访者反映结果的概率和投标值之间的函数关系,来推导出受访者的 WTP 或 WTA<sup>[27]</sup>。

受访者的 WTP 值为非负的随机变量,假设 WTP 的表达式为:

$$\log WTP_i = \mu + \varepsilon_i \quad (1)$$

其中,  $WTP_i$  表示的是受访者  $i$  的真实 WTP 值;  $\mu$  是一个未知的参数;  $\varepsilon_i$  为误差项,服从平均值为 0, 标准差为  $\sigma$  的概率分布。

首先,受访者  $i$  对初始提示额  $B_i$ , 如果回答是 Yes, 则给出较高的提示额  $B_i^u$ , 如果回答是 No, 则给出较低的提示额  $B_i^d$ 。这时候受访者  $i$  对  $B_i$  回答是 Yes, 对  $B_i^u$  回答也是 Yes 的概率记为  $\pi^{yy}(B_i, B_i^u)$ ,  $\pi^{yn}(B_i, B_i^u)$  为受访者  $i$  对  $B_i$  和  $B_i^u$  分别回答 Yes 和 No 的概率,  $\pi^{ny}(B_i, B_i^d)$  则是对  $B_i$  和  $B_i^d$  分别回答 No 和 Yes 的概率,  $\pi^{nn}(B_i, B_i^d)$  则是对  $B_i$  和  $B_i^d$  都回答 No 的概率。

$$\pi^{yy}(B_i, B_i^u) = \text{Prob}\{B_i^u \leq WTP_i\} = 1 - F(B_i^u; \theta) \quad (2)$$

$$\pi^{yn}(B_i, B_i^u) = \text{Prob}\{B_i \leq WTP_i < B_i^u\} = F(B_i^u; \theta) - F(B_i; \theta) \quad (3)$$

$$\pi^{ny}(B_i, B_i^d) = \text{Prob}\{B_i^d \leq WTP_i < B_i\} = F(B_i; \theta) - F(B_i^d; \theta) \quad (4)$$

$$\pi^{nn}(B_i, B_i^d) = \text{Prob}\{WTP_i < B_i^d\} = F(B_i^d; \theta) \quad (5)$$

其中,  $F(\bullet)$  为任意分布函数的表达式。若假定  $F(\bullet)$  分别为正态分布, Logit 分布, 极值分布, 则 WTP 分别对应于对数正态分布, 对数 Logit 分布, Weibull 分布<sup>[22]</sup>。应用极大似然估计可得参数  $\theta = (\mu, \sigma)$  的最优值。其对数似然函数的表达式为:

$$\ln L(\theta) = \sum_{i=1}^N \{d_i^{yy} \ln \pi^{yy}(B_i, B_i^u) + d_i^{nn} \ln \pi^{nn}(B_i, B_i^d) + d_i^{yn} \ln \pi^{yn}(B_i, B_i^u) + d_i^{ny} \ln \pi^{ny}(B_i, B_i^d)\} \quad (6)$$

其中,  $N$  是受访者的数量,  $d_i^{yy}$ 、 $d_i^{nn}$ 、 $d_i^{yn}$ 、 $d_i^{ny}$  为虚拟变量, 分别对应受访者 (Yes, Yes)、(Yes, No)、(No, Yes)、(No, No) 的回答结果。如果受访者的回答是 (Yes, Yes), 则  $d_i^{yy} = 1$ , 其它为 0, 以此类推  $d_i^{yn}$ 、 $d_i^{ny}$ 、 $d_i^{nn}$  的取值。

根据参数估计值可以推导出 WTP 的生存函数, 进而可以计算出 WTP 的期望和中位数。WTP 的生存函数为:

$$S(WTP) = 1 - F\{(\log WTP - \mu) / \sigma\} \quad (7)$$

WTP 期望值的计算公式为<sup>[28]</sup>:

$$E(WTP) = WTP_{\text{mean}} = \int_0^{WTP_{\text{max}}} \frac{S(WTP)}{1 - S(WTP_{\text{max}})} dWTP \quad (8)$$

根据经济学理论, 个人的 WTP 值不可能为无穷大, 而会受到个人收入的限制, 为满足这一条件, 最简单直接的方法就是在最大的投标值处对 WTP 的分布进行右截断。在本论文中用  $B_{\text{max}}^u$  来代替  $WTP_{\text{max}}$ 。

而对于 WTP 中位数的计算, 就是求解表达式  $S(WTP) = 0.5$ 。对于假定的分布为正态分布或者 Logit 分

布,则 WTP 中位数为:

$$\text{WTP}_{\text{median}} = \exp(\mu) \quad (9)$$

如果假定的 WTP 为 Weibull 分布,则 WTP 中位数的表达式为:

$$\text{WTP}_{\text{median}} = \exp(\mu) [-\ln 0.5]^\sigma \quad (10)$$

## 2 初始投标值数量和样本容量的蒙特卡洛模拟

蒙特卡洛模拟是一种随机模拟方法。其核心思想是通过所求的问题建立概率模型,使它的参数等于所求问题的解;再通过对模型重复抽样试验,计算所求参数<sup>[29]</sup>,从而得到所求问题的近似解。本文应用不同的 WTP 分布概率模型,通过蒙特卡洛模拟探讨初始投标值数量和样本容量对 WTP 的影响。

### 2.1 数据来源

Weibull 分布和对数 Logistic 分布在二分式 CVM 研究中得到广泛应用,在二分式 CVM 的概率模型中具有一定的代表性。因此选择这两个不同的概率模型进行蒙特卡洛模拟。

Weibull 分布的数据来源于三江平原湿地问卷调查数据。2011 年 6 月至 10 月期间共发放纸质问卷 1302 份、网上问卷 665 份,分别回收 1003 份以及 194 份,回收率为 77.0%、29.2%,得到有效问卷 927 份,其中抗议问卷(即零支付问卷)326 份,调查问卷的正支付率为 64.8%。问卷有 7 个初始投标值,分别为 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200。

对数 Logistic 分布的数据来源于 Jun Zhao 等人对上海张家浜河生态系统的价值评价和恢复的研究结果<sup>[30]</sup>,共发放了 640 份问卷,收回 507 份有效问卷,问卷中有 9 个投标值,分别是 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300, 500。

### 2.2 概率模型的建立

概率模型即为 WTP 的分布函数,模拟所产生的随机数序列及计算 WTP 所需的数据都是由这个分布函数所产生。

Weibull 模型在双边界二分式 CVM 计算模型中已得到广泛应用。根据调研得到的 DBDC-CVM 数据,通过统计分析,得到 WTP 服从 Weibull 分布的概率密度函数为:

$$f(\text{WTP}) = \begin{cases} \frac{0.886}{4.932} \left(\frac{\text{WTP}}{4.932}\right)^{-0.114} \exp\left\{-\left(\frac{\text{WTP}}{4.932}\right)^{0.886}\right\} & \text{if } \text{WTP} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

其中:WTP 的期望值是 165.654(元),中位数是 173.457(元)。

对数 Logistic 分布也是在 CVM 研究中常用的分布,根据 Jun Zhao 等人研究结果,WTP 服从对数 Logistic 分布的概率密度函数为:

$$f(\text{WTP}) = \begin{cases} \frac{0.972 \exp(-4.196) \text{WTP}^{-0.028}}{\{1 + \exp(-4.196) \text{WTP}^{0.972}\}^2} & \text{if } \text{WTP} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

其中:WTP 的期望值是 157.033 元,中位数是 74.965 元。

### 2.3 蒙特卡洛模拟步骤

(1) 系统初始化:初始设定模拟的变量,依据国内外现有相关 CVM 文献<sup>[13,22,31-32]</sup>,本文假定初始投标值数量  $M \in \{3, 5, 7, 9, 11\}$ ,样本容量  $N \in \{100, 300, 500, 1000, 1500\}$ 。其中样本在每个初始投标值上的数量是相同的。

(2) 投标值的设定:由 WTP 的分布模型,随机产生 N 个真实 WTP 值(True WTP, TWTP),将每个 TWTP 值转换成 DBDC-CVM 数据,根据所获得的数据计算模拟 WTP 值(Simulation WTP, SWTP)。对于双边界的投标值,若有 M 个初始投标值,则有相对应的 M 个支付方案。设定第 k 个初始投标值为  $B^k (k = 1, 2, 3, \dots, M)$ ,

双边界中较高的投标值为  $B^{ku}$ , 较低的投标值为  $B^{kd}$ , 同时设定  $B^{ku} = B^{k+1}$  和  $B^{kd} = B^{k-1}$ 。除了 M 个初始投标值外, 还有两个特殊的投标值, 分别是第一种支付方案中比最小的初始投标值还小的投标值和最后一种支付方案中比最大的初始投标值还大的投标值。因此在模拟试验中共有 M+2 个不同的投标值, 这 M+2 个投标值由 WTP 服从的分布函数的 M+3 分位数计算得到<sup>[33]</sup>。

(3) 系统模拟次数为 1000 次, 取平均数作为最后的 SWTP 值。

(4) 根据计算得到的 SWTP 与 WTP 的分布函数, 分别计算 WTP 期望值的偏差, 标准差和 MSE。

2.4 模拟结果

根据所建立的概率模型式(11)和式(12), 利用 S-PLUS 统计软件<sup>[34]</sup>, 分别对 Weibull 分布和对数 Logistic 分布的 WTP 期望值进行蒙特卡洛模拟。

2.4.1 Weibull 分布的 WTP 期望值的模拟结果

对于 WTP 期望值的蒙特卡洛模拟结果如表 1 所示, 其中: M 是初始投标值数量, N 是样本容量, S.D. (Standard deviation, S.D.) 是标准差, Bias 是偏差。其模拟结果 MSE 的三维图如图 1 所示, 其中水平轴分别为初始投标值数量和样本容量, 垂直轴为 WTP 期望值的 MSE。从三个不同的角度观察分别得到等高线图 2、初始投标值数量与 MSE 的关系图 3 及样本容量与 MSE 的关系图 4。

表 1 Weibull 分布的 WTP 期望值的标准差、偏差、均方误差

Table 1 The Standard deviation, Bias and MSE of mean WTP of Weibull distribution

投标值数量 number of initial bids	样本容量 sample size														
	N = 100			N = 300			N = 500			N = 1000			N = 1500		
	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差
M=3	15.32	-4.57	255.47	8.08	5.76	98.41	8.58	-0.53	73.97	6.90	1.81	50.91	5.43	0.72	30.01
M=5	15.45	1.32	240.58	9.38	0.3	88	5.96	0.68	36.02	4.03	0.34	16.32	3.64	-1.87	16.73
M=7	15.2	1.02	232.15	8.71	0.57	76.23	6.38	0.23	40.75	4.06	0.65	16.92	4.08	0.36	16.77
M=9	14.31	5.93	239.86	8.77	-2.14	81.55	6.63	0.88	44.75	4.17	0.60	17.75	4.19	-0.13	17.57
M=11	15.46	-2.35	244.71	9.33	-0.33	86.73	6.7	0.93	45.7	4.28	-0.21	18.37	4.12	-0.02	17.00

S.D.(Standard deviation), MSE(Mean squared error)

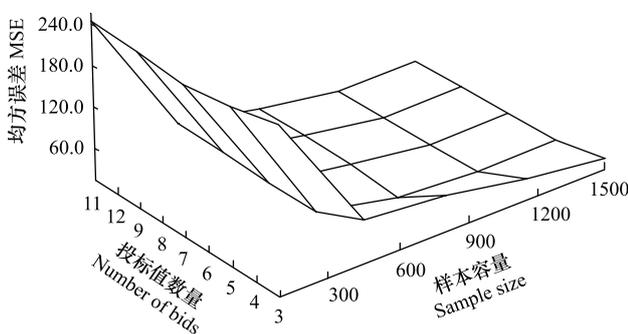


图 1 均方误差三维图

Fig. 1 3D graph of MSE, sample size, number of bids

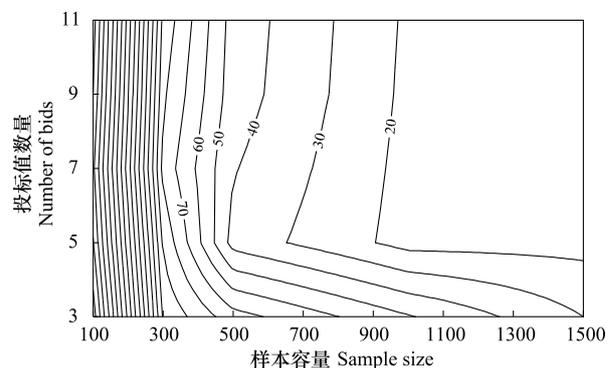


图 2 均方误差等高线图

Fig. 2 Map of contour line

由等高线图 2 可见, 样本容量从 100 到 300 的区间内, 等高线是垂直的, 同时分布密集。说明当样本容量在 100 和 300 之间, 无论初始投标值数量如何变化, MSE 都是稳定不变的, 即初始投标值数量的增减变得毫无意义。当样本容量不断增加时, MSE 急剧的减小。由图 3, 当样本容量为 100 和 300 时, 初始投标值数量不断增加时, MSE 的大小没有太大的变化。由图 4, 对于任何初始投标值数量, 当样本容量不断增加时, MSE 在不断减少, 而当样本容量在 100 到 300 之间时, MSE 的降幅最大。

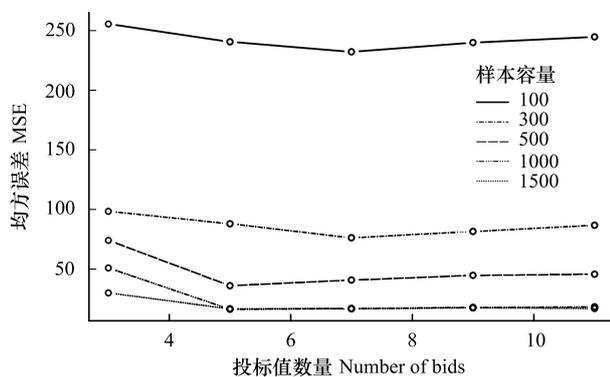


图3 投标值数量对均方误差的影响

Fig. 3 The influence of number of initial bids to MSE

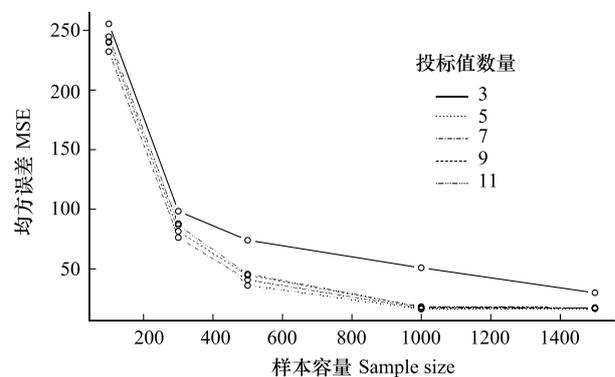


图4 样本容量对均方误差的影响

Fig. 4 The influence of sample size to MSE

由等高线图 2, 当样本容量超过 300 时, 初始投标值数量以 5 为分界线, 当初始投标值数量在 5 上下变动时, MSE 明显有不同的变化。当初始投标值数量在 5 以下时, 初始投标值数量的增加对 MSE 的影响效果比样本容量的增加更明显。由图 3 可见, 当样本容量为 500, 1000 和 1500 时, 初始投标值数量从 3 增加到 5, MSE 减少的幅度较大。由图 4, 当初始投标值数量大于 5 时, 其对 MSE 的影响基本相同。初始投标值数量的增加变得没有意义, 样本容量的增加对 MSE 的影响效果要更明显。

综上, 对 Weibull 分布而言, 当初始投标值数量为 5 以上, 样本容量为大于 500 时, MSE 变化的方向基本一致, 其等高线基本平行, 同时 MSE 的降幅也在缓慢变小。

#### 2.4.2 对数 Logistic 分布的 WTP 期望值的模拟结果

对数 Logistic 分布的 WTP 期望值的蒙特卡洛模拟结果如表 2 所示。其模拟结果 MSE 的三维图如图 5 所示, 其中水平轴分别为初始投标值数量和样本容量, 垂直轴为 WTP 期望值的 MSE。从三个不同的角度观察分别得到等高线图 6、初始投标值数量与 MSE 的关系图 7 及样本容量与 MSE 的关系图 8。

表 2 对数 Logistic 分布的 WTP 期望值的标准差、偏差、均方误差

Table 2 The Standard deviation, Bias and MSE of median WTP of Log-Logistic Distribution

投标值数量 number of initial bids	样本容量 sample size														
	N=100			N=300			N=500			N=1000			N=1500		
	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差	S.D. 标准差	Bias 偏差	MSE 均方误差
M=3	15.32	-4.57	255.47	8.08	5.76	98.41	8.58	-0.53	73.97	6.90	1.81	50.91	5.43	0.72	30.01
M=3	14.61	-27.7	980.41	14.34	-20.07	608.85	5.74	-25.33	674.78	10.64	-25.91	780.14	4.93	-26.34	717.80
M=5	18.76	-13.50	534.14	9.43	-7.61	146.95	8.98	0.35	80.85	7.64	-2.45	64.37	5.36	-7.22	83.79
M=7	10.08	-18.14	430.57	10.69	-6.46	155.93	6.31	-5.78	73.20	7.28	0.93	53.83	5.60	-5.54	62.07
M=9	21.15	-4.69	469.43	8.70	-9.19	160.09	9.31	0.49	86.93	4.78	5.88	57.38	6.74	6.32	85.41
M=11	21.37	7.51	513.29	11.29	-8.26	195.65	7.26	-6.03	89.14	6.57	-4.30	61.57	8.52	-1.33	74.35

S.D. (Standard deviation), MSE (Mean squared error)

由等高线图 6 可见, 当样本容量在 100 到 300 之间, 等高线分布密集。由图 8, 当样本容量在 100 到 300 之间时, MSE 的降幅最大, 大于 300 时, 降幅逐渐减缓。

由等高线图 2 及图 6 可见, 对数 Logistic 分布与 Weibull 分布的等高线图的变化趋势相同。由图 7, 投标值由 3 增加到 5 时, MSE 减少的幅度最大。由图 8, 初始投标值数量为 3 时, MSE 的变化明显高于其他四个投标值对 MSE 的影响。当初始投标值数量大于 5 时, MSE 变化趋势基本一致。

由等高线图 6, 当样本容量超过 300 时, 初始投标值数量以 5 为分界, 当初始投标值数量在 5 上下变动时, MSE 明显有不同的变化。当初始投标值数量在 5 以下时, 初始投标值数量的增加对 MSE 的影响效果比样本

容量的增加更明显。当初始投标值数量大于 5 时,其对 MSE 的影响基本相同。说明初始投标值数量的增加变得没有意义,而样本容量的增加对 MSE 的影响效果要更明显。

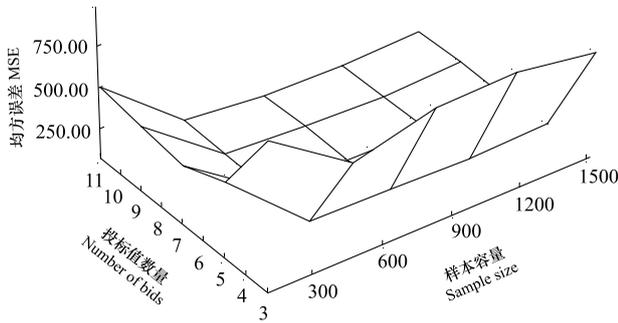


图 5 均方误差三维图

Fig. 5 3D graph of MSE、sample size、number of bids

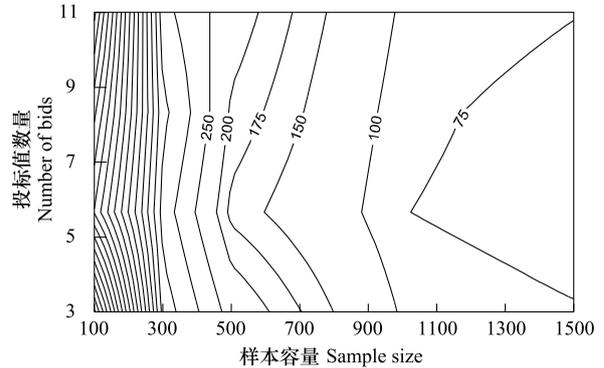


图 6 均方误差等高线图

Fig. 6 Map of contour line

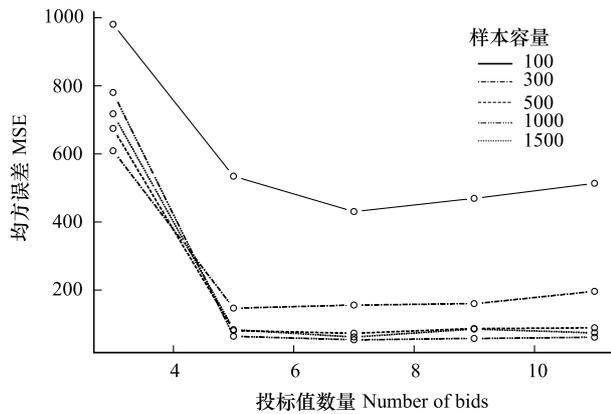


图 7 投标值数量对均方误差的影响

Fig. 7 The influence of number of initial bids to MSE

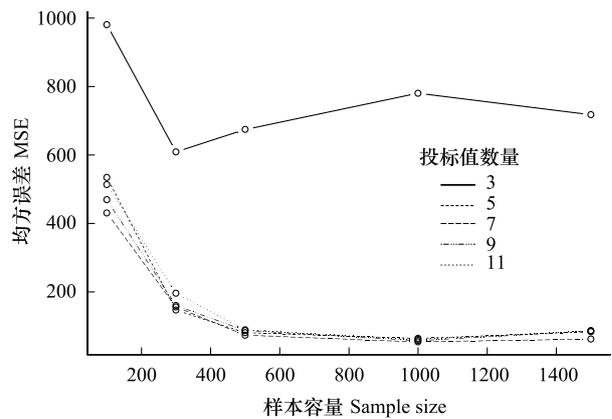


图 8 样本容量对均方误差的影响

Fig. 8 The influence of sample size to MSE

综上,对对数 Logistic 分布而言,在初始投标值数量为 5 以上,样本容量大于 500 时,MSE 变化的方向基本一致,其等高线几乎平行,同时 MSE 的降幅也在缓慢变小,与 Weibull 模型得出的结果相同。

### 3 讨论

(1) 本文的计算模型得出的 WTP 值,是截断 WTP 平均值,用最大的投标值对 WTP 进行右切断,更加符合接近真实的 WTP 值。而对于包含在问卷中的零支付,论文并没有进行特别处理,如何在模拟的过程中考虑并计算零支付对 WTP 的影响,将是进一步研究的问题。

(2) 本文仅是 CVM 问卷设计中有关初始投标值数量和样本容量选择问题的探索性研究,仅从 MSE 的角度考察初始投标值数量和样本容量对 WTP 期望值的影响,研究的是 MSE 的大小及变化趋势。选择 CVM 数据分析中广泛使用的两种分布:Weibull 分布和对数 Logistic 分布,且两种分布的样本数据来源于不同的应用案例,通过蒙特卡洛模拟,探讨初始投标值数量及样本容量对 WTP 估计值的影响。这两种概率模型虽具有一定的代表性,但仍有局限性。相关研究结论对其他概率模型的普适性问题,还有待进一步研究和探讨。

(3) 在蒙特卡洛模拟中,为了模拟计算的方便,用分位数设计投标值,同时假定每个投标值所分配到的样本容量是相等的。如何在模拟试验过程中设计更合理、更符合实际的投标值及每个投标值上样本容量的分配,完善模拟试验,这些都是进一步研究的问题。

## 4 结论

通过蒙特卡洛模拟,以支付意愿函数模型中的 Weibull 分布和对数 Logistic 分布为理论模型,应用分位数设计投标值,探讨 DBDC-CVM 问卷设计中的初始投标值数量和问卷发放中的样本容量对 WTP 期望值的影响。得出对于 Weibull 模型和对数 Logistic 模型,样本容量和初始投标值数量对 WTP 期望值的影响规律相同。当样本容量大于 500,初始投标值数量大于 5 时,初始投标值数量和样本容量的增加,对 WTP 的 MSE 的影响趋势基本一致,且其影响程度逐渐降低。

研究结果表明,从 WTP 的 MSE 角度,在 DBDC-CVM 的问卷设计中,初始投标值数量至少为 5,样本容量至少为 500。通过蒙特卡洛模拟,从动态角度讨论初始投标值数量与样本容量的组合对 WTP 的影响。为 CVM 问卷设计中投标值数量及样本容量的设定提供参考依据。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 陈琳, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 段晓男. 条件价值评估法在非市场价值评估中的应用. 生态学报, 2006, 26(2): 610-619.
- [ 2 ] 张志强, 徐中民, 程国栋, 苏志勇. 黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估. 生态学报, 2002, 22(6): 885-893.
- [ 3 ] Davis R K. Recreation planning as an economic problem. *Natural Resources Journal*, 1963, (3): 239-249.
- [ 4 ] Hanemann W M. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *American Journal of Agricultural Economics*, 1984, 66(3): 332-341.
- [ 5 ] Bishop R C, Thomas H A. Measuring values of extra-market goods: Are indirect measures of value biased? *American Journal of Agricultural Economics*, 1979, 61(5): 926-930.
- [ 6 ] Cameron T A. A new paradigm for valuing non-market goods using referendum data: maximum likelihood estimation by censored logistic regression. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1988, 15(3): 355-379.
- [ 7 ] Díaz M A, Gómez M G, González Á S, De Uña Álvarez J. On dichotomous choice contingent valuation data analysis: Semiparametric methods and Genetic Programming. *Journal of Forest Economics*, 2010, 16(2): 145-156.
- [ 8 ] Carson R T, Hanemann W M, Mitchell R C. Determining the Demand for Public Goods by Simulating Referendums at Different Tax Prices. San Diego: Manuscript, University of California, 1986.
- [ 9 ] Hanemann M, Loomis J, Kanninen B. Statistical efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, 1991, 73(4): 1255-1263.
- [ 10 ] 蔡春光, 陈功, 乔晓春, 郑晓璞. 单边界、双边界二分式条件价值评估方法的比较——以北京市空气污染对健康危害问卷调查为例. *中国环境科学*, 2007, 27(1): 39-43.
- [ 11 ] Barrena J, Nahuelhual L, Bález A, Schiappacasse I, Cerda C. Valuing cultural ecosystem services: Agricultural heritage in Chiloé island, southern Chile. *Ecosystem Services*, 2014, 7: 66-75.
- [ 12 ] Jang J Y, Lee J, Yoo S H. The public's willingness to pay for securing a reliable natural gas supply in Korea. *Energy Policy*, 2014, 69: 3-13.
- [ 13 ] Ikeuchi A, Tsuji K, Yoshikane F, Ikeuchi U. Double-bounded dichotomous choice CVM for public library services in Japan. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 73: 205-208.
- [ 14 ] Rhee H C. Willingness to pay for avoiding infection of climate change diseases, in particular Tsutsugamushi disease. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 2013, 4(1): 16-20.
- [ 15 ] Hoehn J P, Randall A. A satisfactory benefit cost indicator from contingent valuation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1987, 14(3): 226-247.
- [ 16 ] Duffield J W, Patterson D A. Inference and optimal design for a welfare measure in dichotomous choice contingent valuation. *Land Economics*, 1991, 67(2): 225-239.
- [ 17 ] Cooper J C. Optimal bid selection for dichotomous choice contingent valuation surveys. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1993, 24(1): 25-40.
- [ 18 ] Kanninen B J. Optimal experimental design for double-bounded dichotomous choice contingent valuation. *Land Economics*, 1993, 69(2): 138-146.
- [ 19 ] Boyle K J, MacDonald H F, Cheng H T, McCollum D W. Bid design and yea saying in single-bounded, dichotomous-choice questions. *Land Economics*, 1998, 74(1): 49-64.
- [ 20 ] Roach B, Boyle K J, Welsh M. Testing bid design effects in multiple-bounded, contingent-valuation questions. *Land Economics*, 2002, 78(1):

121-131.

- [21] Ao C L, Chen J T, Jiao Y, Yu S. Non-use Value Evaluation of Sanjiang Wetland in Heilongjiang Province in China. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 2013, 5(2): 78-88.
- [22] 敖长林, 陈瑾婷, 焦扬, 王静. 生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例. *生态学报*, 2013, 33(16): 5109-5117.
- [23] 高琴, 敖长林, 陈红光, 佟锐. 基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例. *生态学报*, 2014, 34(7): 1851-1859.
- [24] 冯磊, 敖长林, 焦扬. 三江平原湿地非使用价值支付意愿的影响因素. *数学的实践与认识*, 2012, 24(1): 59-67.
- [25] 敖长林, 刘芳芳, 焦扬, 陈瑾婷. 三江平原湿地生态价值属性选择分析. *农业技术经济*, 2012, (7): 87-93.
- [26] Cameron T A, James M D. Estimating willingness to pay from survey data: An alternative pre-test-market evaluation procedure. *Journal of Marketing Research*, 1987, 24(4): 389-395.
- [27] 唐克勇, 杨正勇, 杨怀宇, 范晓赟. 上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究. *生态学报*, 2012, 32(7): 2212-2222.
- [28] Boyle K J, Welsh M P, Bishop R C. Validation of empirical measures of welfare change: Comment. *Land Economics*, 1988, 64(1): 94-98.
- [29] 徐钟济. 蒙特卡罗方法. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [30] Zhao J, Liu Q X, Lin L Q, Lü H F, Wang Y. Assessing the comprehensive restoration of an urban river: An integrated application of contingent valuation in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 2013, 458-460: 517-526.
- [31] Koundouri P, Kountouris Y, Remoundou K. Valuing a wind farm construction: A contingent valuation study in Greece. *Energy Policy*, 2009, 37(5): 1939-1944.
- [32] 唐建, 沈田华, 彭珏. 基于双边界二分式 CVM 法的耕地生态价值评价——以重庆市为例. *资源科学*, 2013, 35(1): 207-215.
- [33] Alberini A. Optimal designs for discrete choice contingent valuation surveys: Single-bound, double-bound, and bivariate models. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1995, 28(3): 287-306.
- [34] 杨晋浩. S-PLUS 实用统计分析. 成都: 电子科技大学出版社, 2007.