

# 科技评价中标准化方法对评价结果的影响研究<sup>\*</sup>

俞立平<sup>1</sup> 武夷山<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(宁波大学商学院 宁波 315211)

<sup>2</sup>(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

**【摘要】**对科技评价中多属性评价方法数据标准化问题进行系统梳理,认为无论是正向指标还是反向指标,两极标准化评价结果肯定小于可调标准化;可调标准化对一些评价分值较低的期刊有一种“鼓励作用”,可以变相提高它们的评价得分;无论是正向指标还是反向指标,线性标准化方法的不同只会影响评价结果值,但不会影响评价结果的排序。但是反向指标经典标准化方法可能会影响评价结果的排序;提出一种新的线性反向指标标准化方法,并且提出应该淘汰反向指标经典标准化方法;评价机构应该公布标准化方法以保证评价公平。

**【关键词】**科技评价 数据标准化 评价结果 影响

**【分类号】**G312

## Study on Influence of Data Standardization to Evaluation Results in Science and Technology

Yu Liping<sup>1</sup> Wu Yishan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Business, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

<sup>2</sup>(Institute of Scientific & Technical Information of China, Beijing 100038, China)

**【Abstract】**This paper analyzes data standardization of multiple attribute evaluation in science and technology evaluation. The results show the evaluation score of side standardization is smaller than tunable standardization. Tunable standardization may increase evaluation score of lower level journals, linear standardization may affect evaluation score but can't affect evaluation ranking, and negative indicator standardization may change the evaluation ranking. The authors give a new linear negative indicator standardization method, and point out that the negative classical indicator standardization should be abandoned, and the evaluation institute should make known to the public of data standardization method so as to keep evaluation justice.

**【Keywords】**S&T evaluation Data standardization Evaluation result Effect

### 1 引言

在科技评价中,多属性评价方法得到了广泛的应用,国内近几年已经发表了数千篇采用该方法的科技评价论文。多属性评价是选取若干科技评价指标,采取线性或非线性评价方法进行评价。线性评价方法评价指标与评价

收稿日期:2011-06-07

收修改稿日期:2011-07-05

<sup>\*</sup> 本文系国家自然科学基金后期资助项目“科技评价中多属性评价方法基本理论研究”(项目编号:10FTQ003)的研究成果之一。

结果之间是线性关系,非线性评价方法评价结果与评价指标之间是非线性关系。几乎所有多属性评价方法在评价前都必须对指标进行标准化处理。

数据标准化处理是科技评价中非常重要的基础工作,但由于基本原理简单,其对评价结果的影响远远没有引起广大科技评价工作者的重视,极少有关于科技评价数据标准化问题研究的文献。在更广泛的学科领域,研究指标体系数据标准化问题的文献也不多见,甚至数据标准化问题已经变成了一种“简单公理”而遭到漠视。层次分析法<sup>[1]</sup>、熵权法<sup>[2]</sup>、TOPSIS<sup>[3]</sup>、CRITIC<sup>[4]</sup>等评价方法都会用到数据标准化,但都没有专门研究过标准化问题。吴松涛等<sup>[5]</sup>在分析现有线性标准化公式的情况下,提出用两段或多段直线来近似模拟非线性标准化曲线,并为计算机处理提供了简单的算法模型。焦立新<sup>[6]</sup>就常见的指标标准化处理方法进行归类,在示例比较的基础上分析了各种方法的利弊,重点讨论了“适中”指标的标准化问题。马立平<sup>[7]</sup>对几种指标标准化方法进行了系统的梳理,并提出了数据标准化方法选取的原则。刘玉秀等<sup>[8]</sup>引入了非线性变化的思想,提出一种幂转换的非线性标准化方法,并运用非线性标准化方法对医院工作质量进行了综合评价。俞立平等<sup>[9]</sup>对科技评价中数据标准化方法进行了归类,最终淘汰了一些不合适的数据标准化方法。

现有的研究主要集中在数据自身标准化问题上,迄今为止,关于数据标准化方法对评价结果潜在影响的研究几乎未见报道。本文以科技评价中学术期刊评价为例,探讨了现行主流标准化方法对评价结果的影响。其深层次的意义是,数据标准化方法不仅影响科技评价对象之间的相对差距,甚至影响到评价结果的排序。如果不解决这个问题,就会导致评价结果的不科学甚至不公平。

## 2 数据标准化方法概述

### 2.1 正向指标标准化方法

正向指标也称为效益型指标,其标准化方法一般用原始数据除以极大值:

$$y_i = \frac{x_i}{\max(x_i)} \quad (1)$$

式(1)的特点是极大值为 1,极小值不确定,其应用范围非常广泛,是主流的正向指标标准化方法,为了区别,暂且将该标准化方法称为“正向指标经典标准化”。

另外一种正向指标标准化方法为:

$$y_i = \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (2)$$

式(2)标准化的特点是极小值为 0,极大值为 1,暂且将该方法称为“正向指标两极标准化”。

在科技评价中,有时需要确定标准化后数据的极小值,如给某地区某个科技政策指标打 0 分并不合适,有时采用如下方法:

$$y_i = a + \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1 - a) \quad (3)$$

其中,  $a$  为最低分,  $1 > a > 0$ 。如当  $a = 0.6$  时,标准化后极大值为 1,极小值为 0.6。由于该标准化方法通过  $a$  的大小确定极小值,可以将该方法称为“正向指标可调标准化”。当  $a = 0$  时,式(3)就变成了式(2);当  $a = \min(x_i)/\max(x_i)$  时:

$$\begin{aligned} y_i &= a + \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1 - a) \\ &= \frac{\min(x_i)}{\max(x_i)} + \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \times \left[1 - \frac{\min(x_i)}{\max(x_i)}\right] = \frac{x_i}{\max(x_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

也就是说,当  $a = \min(x_i)/\max(x_i)$  时,式(3)变成了式(1);因此式(1)和式(2)都是式(3)的特殊形式。

### 2.2 反向指标标准化方法

常用的反向指标(也称为成本型指标)标准化方法有:

$$y_i = \frac{\min(x_i)}{x_i} \quad (5)$$

该方法通过非线性变换,完成了成本型向效益型指标的转换,并且极大值为 1,这是目前用得最多的一种反向指标标准化方法,暂且将该方法称为“反向指标经典标准化”。类似地,采用如下线性方法标准化:

$$y_i = \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (6)$$

式(6)和式(2)的原理完全相同,暂且将该方法称为“反向指标两极标准化”。类似地,也可以设定式(6)的极小值为  $a$ :

$$y_i = a + \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1 - a) \quad (7)$$

其中,  $a$  为最低分,  $1 > a > 0$ ;当  $a = 0$  时,式(7)变成了式(6),因此可以说式(6)是公式(7)的一种特殊形式。暂且将该方法称为“反向指标可调标准化”。

## 3 数据标准化对评价结果的影响

为了分析问题方便,本文假设采取传统加权汇总

方法进行评价,不考虑 TOPSIS、灰色关联、主成分分析、熵权法等其他多属性评价方法。

### 3.1 正向指标经典标准化与正向指标两极标准化的比较

比较正向指标经典标准化结果与正向指标两极标准化结果的大小,用式(1)减去式(2):

$$\begin{aligned}\Delta y &= \frac{x_i}{\max(x_i)} - \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \\ &= \frac{\min(x_i) \times [\max(x_i) - x_i]}{\max(x_i) \times [\max(x_i) - \min(x_i)]} \quad (8)\end{aligned}$$

很明显,  $\Delta y \geq 0$ ; 当  $x_i = \max(x_i)$  时,  $\Delta y = 0$ , 即两种标准化的结果相同。 $x_i$  越大, 两种标准化方法的差距越小, 可以得出如下结论:

(1) 正向指标经典标准化值要大于正向指标两极标准化值。

(2) 指标值越小, 两种标准化方法的差距越大。或者说, 与正向指标经典标准化相比, 正向指标两极标准化对较差指标值的“糟糕程度”有一种“放大效果”。

### 3.2 正向指标两极标准化与正向指标可调标准化的比较

为了方便比较正向指标两极标准化与正向指标可调标准化值的大小, 用式(3)减去式(2):

$$\begin{aligned}\Delta y &= a + \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1-a) - \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \\ &= \frac{a[\max(x_i) - x_i]}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (9)\end{aligned}$$

很明显,  $\Delta y \geq 0$ ; 当  $x_i = \max(x_i)$  时,  $\Delta y = 0$ , 即两种标准化的结果相同。 $x_i$  越大, 两种标准化方法的差距越小。可以得出如下结论:

(1) 正向指标可调标准化值要大于正向指标两极标准化值。

(2) 指标值越小, 两种标准化方法的差距越大。或者说, 与正向指标可调标准化相比, 正向指标两极标准化对较差指标值的“糟糕程度”同样有一种“放大效果”。

为了说明 3.1 和 3.2 两种结果, 假设将指标  $x$  由小到大排序, 排序后的数据都位于一条直线上, 如图 1 所示。

由图 1 可见式(1)、式(2)、式(3)三种标准化方法的区别。 $a$  为调整系数, 如果要使较差的评价对象标准化值更差, 可以适当降低  $a$  的值; 要使较差评价对象标准化值高一些, 可以适当提高  $a$  的值。需要注意的

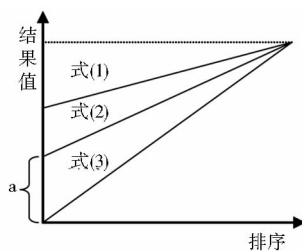


图 1 三种正向指标标准化方法比较

是,  $a$  的值过高会导致评价结果区分度较小, 因此必须灵活掌握。通常情况下, 应该尊重原始数据, 采用正向指标经典标准化方法。

### 3.3 反向指标经典标准化与反向指标两极标准化的比较

用式(5)减去式(6), 得:

$$\begin{aligned}\Delta y &= \frac{\min(x_i)}{x_i} - \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \\ &= \frac{[(x_i - \min(x_i))] \times [x_i + \min(x_i) - \max(x_i)]}{x_i \times [\max(x_i) - \min(x_i)]} \quad (10)\end{aligned}$$

显然, 分母大于 0,  $x_i \geq \min(x_i)$ , 但是  $x_i + \min(x_i) - \max(x_i)$  的正负是不确定的。当极小值大于极大值一半时,  $\Delta y > 0$ ; 当极小值小于极大值一半时,  $\Delta y$  的符号不确定。可以得出如下结论:

当极小值大于极大值一半时, 反向指标经典标准化值大于反向指标两极标准化值。当极小值小于极大值一半时, 反向指标经典标准化值与反向指标两极标准化值的大小不能确定。

### 3.4 反向指标两极标准化与反向指标可调标准化的比较

用式(7)减去式(6), 得:

$$\begin{aligned}\Delta y &= a + \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1-a) - \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)} \\ &= \frac{a[x_i - \min(x_i)]}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (11)\end{aligned}$$

显然  $\Delta y \geq 0$ ; 当  $x_i = \min(x_i)$  时,  $\Delta y = 0$ , 即两种标准化的结果相同;  $x_i$  越大, 两种标准化方法的差距越大, 可以得出如下结论:

(1) 反向指标可调标准化值大于反向指标两极标准化值。

(2) 指标值越大, 两种标准化方法的差距越大。或者说, 与反向指标可调标准化相比, 反向指标两极标准化对较差指标的“糟糕程度”有一种“放大效果”(注意, 由于是反向指标,  $x_i$  越大越糟糕)。

4 数据与实证结果

4.1 数据来源

本文数据来自于中国科学技术信息研究所 CSTPCD 数据库,以农业科学类期刊为例进行分析和比较,选取《中国科技期刊引证报告》2009 年的农业科学类数据,以 156 种农业期刊为例进行分析,这些期刊绝大多数是中文期刊。选取的指标有:总被引频次、影响因子、权威因子、扩散因子、他引率、基金论文比、平均引文数、即年指标、被引半衰期、引用半衰期,共 10 个指标。对于海外论文比指标,由于许多期刊的值为 0,所以没有选取。平均作者数和地区分布数指标由于和期刊的学术质量关系不是严格正相关,因此也没有选取。被引半衰期和引用半衰期是两个反向指标,其他都是正向指标。

为了分析数据标准化方法对评价结果及权重的影

响,本文简化设定 10 个指标的权重均为 0.1,这样在数据标准化后进行简单加权就可以得到评价结果,也便于分析。

4.2 实证结果

(1) 不同标准化方法标准化结果的比较

为了比较不同数据标准化方法结果的差别,本文在正向指标中选取影响因子,在反向指标中选取被引半衰期,将 156 种期刊分别按影响因子和被引半衰期进行排序后分为等数量的三份,再做各种标准化,比较各部分的平均值,这样可以更加直观地对标准化方法的差异进行比较。对于正向指标可调标准化(式(3))和反向指标可调标准化(式(7))中极小值 a 的确定,本文暂且将其设定为 0.3,当然也可以将其设定为其他值。为了研究方便,标准化值进行了放大处理,结果全部乘以 100。正向指标标准化结果比较如表 1 所示:

表 1 正向指标标准化结果比较

比较项	指标原始值	$\frac{x_i}{\max(x_i)}$ I	$\frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}$ II	$a + \frac{x_i - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1 - a)$ III	$(I - II) / II \times 100\%$	$(III - II) / II \times 100\%$
极大值	2.486	100.00	100.00	100.00	--	--
极小值	0.110	4.42	0.00	30.00	--	--
平均值	0.553	22.62	19.04	43.33	18.80%	127.57%
较优期刊均值	0.926	37.24	34.34	54.04	8.46%	57.37%
一般期刊均值	0.477	19.18	15.44	40.81	24.23%	164.29%
较差期刊均值	0.256	10.31	6.16	34.31	64.44%	457.26%

影响因子是正向指标,从表 1 可以看出:经典标准化值大于两极标准化值;较优期刊均值仅提高 8.46%,中等期刊提高 24.23%,较差期刊提高 64.44%,经典标准化与两极标准化相比,变相提高了较差期刊值,缩小了较差期刊与较优期刊的差距。

可调标准化与两极标准化相比:可调标准化值普

遍高于两极标准化值,对于提高评价结果的总体水平有益;较优期刊均值仅提高 57.37%,中等期刊提高 164.29%,较差期刊提高 457.26%,可调标准化与两极标准化相比,同样变相提高了较差期刊指标值,缩小了与较优期刊的差距。

反向指标标准化结果比较如表 2 所示:

表 2 反向指标标准化结果比较

比较项	指标原始值	$\frac{\min(x_i)}{x_i}$ I	$\frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}$ II	$a + \frac{\max(x_i) - x_i}{\max(x_i) - \min(x_i)}(1 - a)$ III	$(I - II) / II \times 100\%$	$(III - II) / II \times 100\%$
极大值	8.83	100.00	100.00	100.00	--	--
极小值	2.11	23.90	0.00	30.00	--	--
平均值	5.37	42.19	51.49	66.04	-18.05%	28.27%
较优期刊均值	3.94	55.91	72.76	80.93	-23.15%	11.23%
一般期刊均值	5.37	39.38	51.45	66.01	-23.45%	28.31%
较差期刊均值	6.80	31.29	30.25	51.18	3.43%	69.17%

被引半衰期是反向指标,不管什么标准化方法,原始值越大,标准化值越小。从表2可以看出,经典标准化与两极标准化的结果难以比较,似乎对于较差期刊,经典标准化值大于两极标准化值;对于其他期刊,经典标准化值小于两极标准化值。

对于反向指标:可调标准化值普遍大于两极标准化值,有利于提高总体评价价值;可调标准化对于较优期刊标准化值提高了11.23%,对于一般期刊提高了28.31%,对于较差期刊提高了69.17%。可调标准化对较差指标的标准化值提高幅度最大,缩小了与较优期刊的差距。

(2) 不同标准化方法对评价结果的影响

为了分析不同标准化方法结果的差异,选取三种典型的标准化方法进行比较:

- ①经典方法标准化,即正向指标全部采用正向指标经典标准化方法,反向指标全部采取反向指标经典标准化方法。
- ②两极标准化方法,即正向指标采用正向指标两极标准化,反向指标采取反向指标两极标准化。
- ③可调标准化方法,即正向指标采取正向指标可调标准化,反向指标采取反向指标可调标准化,这里设置极小值为0.3。

为方便起见,所有标准化结果再乘以100,由于篇幅所限,本文仅给出了按经典方法标准化后评价结果进行排序的前15种期刊和后15种期刊,如表3所示。

从评价结果看,经典标准化的值大于两极标准化,由于可调标准化极小值的取值不同,经典标准化评价结果有可能大于、也有可能小于可调标准化。两极标准化评价结果肯定小于可调标准化。由于经典标准化和可调标准化的评价分值都大于两极标准化,并且极小值/极大值的比例也是两极标准化最小,因此对一些评价分值较低的期刊有一种“鼓励作用”,变相提高了它们的评价得分。

从排序看,对于线性标准化方法,其排序结果不变,也就是说,两极标准化和可调标准化的评价结果排序是一致的,因为它们都是线性标准化方法。但是对于反向指标经典标准化方法而言,由于它是非线性标准化,因此可能会影响排序结果。本文选取的10个指标中有两个反向指标,因此采用反向指标经典标准化进行非线性转换后带来了评价排序的变化,这个问题必须引起足够的重视。

表3 不同标准化方法的评价结果

刊名	经典标准化 正向、反向	排序	两极标准化 正向、反向	排序	可调标准化 正向、反向	排序
中国农业科学	66.10	1	64.86	1	75.40	1
草业学报	64.16	2	58.56	3	70.99	3
作物学报	63.08	3	60.48	2	72.34	2
土壤学报	61.03	4	57.81	4	70.47	4
农业工程学报	58.31	5	55.77	5	69.04	5
中国水稻科学	55.45	6	51.17	6	65.82	6
海洋渔业	55.08	7	48.40	9	63.88	9
林业科学	53.19	8	48.53	8	63.97	8
水土保持学报	53.00	9	50.43	7	65.30	7
PEDOSPHERE	52.68	10	46.29	13	62.40	13
植物营养与肥料学报	52.21	11	47.57	10	63.30	10
园艺学报	51.50	12	47.18	11	63.03	11
水产学报	51.38	13	45.14	17	61.60	17
中国水产科学	51.04	14	46.22	14	62.35	14
华中农业大学学报	50.92	15	45.23	16	61.66	16
饲料工业	34.67	143	29.27	136	50.49	136
中国南方果树	34.39	144	27.44	150	49.21	150
中国畜牧兽医	34.39	145	25.06	155	47.54	155
内蒙古农业大学学报 自然科学版	34.37	146	27.72	148	49.40	148
中国畜牧杂志	34.25	147	28.55	141	49.98	141
中国沼气	34.24	148	27.81	147	49.47	147
中国蔬菜	34.08	149	29.34	134	50.54	134
现代农药	33.28	150	29.38	133	50.57	133
辽宁农业科学	33.10	151	25.58	153	47.90	153
中国瓜菜	33.01	152	25.20	154	47.64	154
陕西农业科学	32.89	153	28.44	143	49.91	143
农产品加工	32.14	154	28.06	145	49.64	145
植物检疫	31.99	155	22.38	156	45.66	156
饲料研究	31.44	156	26.06	152	48.24	152
均值	42.60		36.88		55.82	
极大值	66.10		64.86		75.40	
极小值	31.44		22.38		45.66	
极大值/极小值	0.48		0.35		0.61	

5 结 语

(1) 标准化值的差距特点

对于正向指标而言,经典标准化值和可调标准化值普遍大于两极标准化值,并且对较差指标值提高明显,有利于缩小较差评价对象与较优评价对象的差距,对较差评价对象有一种鼓励作用。

对于反向指标而言,经典标准化值与两极标准化值难以比较。但是可调标准化值普遍大于两极标准化值,并且对较差指标值提高明显,有利于缩小较差评价对象与较优评价对象的差距,同样对较差评价对象有一种鼓励作用。

(2) 标准化方法对评价结果的影响

无论是正向指标还是反向指标,两极标准化评价结果肯定小于可调标准化,并且两极标准化极小值/极

大值的比例最小,因此可调标准化对一些评价分值较低的期刊有一种“鼓励作用”,变相提高了它们的评价得分。这一点实际上是由指标标准化方法的特点所决定的。

无论是正向指标还是反向指标,线性标准化方法的不同只会影响评价结果值,但不会影响评价结果的排序。但是反向指标经典标准化方法可能会影响评价结果的排序,尤其在评价对象区分度较低的情况下。

### (3) 反向指标非线性标准化方法的应用要慎重

非线性标准化方法主要应用于反向指标,由于非线性转换会导致评价结果排序的变化,这是要尽量避免的。反向指标线性标准化方法包括两极标准化和可调标准化,反向指标两极标准化方法的极小值为 0,实际应用中容易导致评价得分偏低甚至为 0。反向指标可调标准化方法的极小值确定问题又过于随意,因此针对现有线性反向指标标准化方法的缺陷,俞立平等<sup>[9]</sup>提出了一种新的反向指标线性标准化方法,其原理是首先用 1 减去反向指标值除以极大值,这样就变成了正向指标,然后将转换结果全部加上极小值/极大值,如下所示:

$$y_i = 1 - \frac{x_i}{\max(x_i)} + \frac{\min(x_i)}{\max(x_i)} \quad (11)$$

### (4) 评价目的与数据标准化方法

通常情况下,数据标准化方法应该尊重自然法则,也就是说,正向指标采用正向指标经典标准化方法,反向指标采取式(11)的方法。如果需要对一些较差的科技评价对象进行督促,不妨打分偏低一些,采取两极标准化或极小值较低的可调标准化方法。

对于一些只要求评价结果排序的评价,只要不用非线性标准化方法即可,用其他任何数据标准化方法

都不会影响评价结果排序。

### (5) 科技评价机构应该公布数据标准化方法

正因为数据标准化方法不仅影响评价结果值,而且可能会影响到评价结果的排序。因此评价机构必须公布数据标准化方法,以供监督和改进。

本文虽然以科技评价为例探讨数据标准化方法对评价结果的影响,但实际上,数据标准化方法作为一种通用技术,适用于一切学科,因此本文研究结论具有广泛的推广意义。

## 参考文献:

- [1] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw - Hill, 1980.
- [2] Shannon C E. A Mathematical Theory of Communication [J]. *Bell System Technical Journal*, 1948, 27: 379 - 429, 623 - 656.
- [3] Hwang C L, Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications [M]. NY: Springer - Verlag, 1981: 12 - 34.
- [4] Diakoulaki D, Mavrotas G, Papayannakis L. Determining Objective Weights in Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method [J]. *Computers and Operations Research*, 1995, 22(7): 763 - 770.
- [5] 吴松涛,侯风华,戴锋. 非线性数据标准化处理过程中的线性近似法 [J]. *信息工程大学学报*, 2007, 8(2): 250 - 253.
- [6] 焦立新. 评价指标标准化处理方法的探讨 [J]. *安徽农业技术师范学院学报*, 1999, 13(3): 7 - 10.
- [7] 马立平. 统计数据标准化——无量纲化方法 [J]. *北京统计*, 2000(3): 34 - 35.
- [8] 刘玉秀,李玉刚. 医院工作质量综合评价指标的非线性标准化 [J]. *中国医院统计*, 1997, 4(4): 213 - 215.
- [9] 俞立平,潘云涛,武夷山. 学术期刊综合评价数据标准化方法研究 [J]. *图书情报工作*, 2009, 53(12): 146 - 149.

(作者 E-mail: yuliping@nbu.edu.cn)