

基于熵权-变异系数组合权重的金银花质量 评价模型构建

张媛媛, 于咏梅, 王 蕾*

(山东省食品药品检验研究院, 胶类产品质量评价重点实验室, 济南 250101)

摘要: **目的** 建立不同主产区金银花质量分析的综合评价模型。**方法** 选取抗病毒活性主要成分绿原酸、木犀草苷、咖啡酰奎宁酸, 影响质量安全的铅、镉、砷、汞、铜 5 个重金属指标以及二氧化硫残留和农药残留检出种类数量为评价指标, 使用熵权法结合变异系数法计算组合权重, 运用加权逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)、加权秩和比法 (rank sum ratio, RSR) 及两者模糊联合的方法构建评价模型。**结果** 引用《金银花采收加工及质量评价方法研究》中的数据为例, 结果表明构建的模型运用在金银花质量评价中是可靠的。**结论** 运用熵权-变异系数组合权重评价方法构建模型可以避免单一评价方法的缺点, 更加真实地反映不同产区金银花的品质。

关键词: 金银花; 熵权法; 变异系数法; 加权逼近理想解排序法; 加权秩和比法; 综合评价

DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2021.10.063

Construction of quality evaluation model of honeysuckle based on combination weight of entropy weight and coefficient of variation

ZHANG Yuan-Yuan, YU Yong-Mei, WANG Lei*

(Shandong Institute for Food and Drug Control, NMPA Key Laboratory for Quality Evaluation of Gelatin Products, Jinan 250101, China)

ABSTRACT: Objective To establish a comprehensive evaluation model for quality analysis of honeysuckle from different main producing areas. **Methods** The main components of antiviral activity including chlorogenic acid, luteolin, and caffeoylquinic acid, 5 heavy metal indicators of lead, cadmium, arsenic, mercury, and copper affecting quality and safety, and the number of detected types of sulfur dioxide residues and pesticide residues were selected as the evaluation indicators. The combination weight was calculated by the entropy method combined with the coefficient of variation method, the evaluation model was constructed by technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), and the weighted rank sum ratio (RSR) and the fuzzy combination of the 2 method. **Results** The data of *Research on the methods of honeysuckle harvesting, processing and quality evaluation* was cited as an example, and the results showed that the model was reliable in the quality evaluation of honeysuckle. **Conclusion** Using entropy weight coefficient of variation combination weight evaluation method to construct the model can avoid the shortcomings of a single evaluation method, and can more truly reflect the quality of honeysuckle in different regions.

*通信作者: 王蕾, 高级工程师, 主要研究方向为食品药品检验及实验室质量管理。E-mail: wl3613@126.com

*Corresponding author: WANG Lei, Senior Engineer, Shandong Institute for Food and Drug Control, Shandong Research Center of Engineering and Technology for Safety Inspection of Food and Drug, No. 2749 Xinluo Road, New & High-tech Developing Zone, Jinan 250101, China. E-mail: wl3613@126.com

KEY WORDS: honeysuckle; entropy weight method; variation coefficient method; technique for order preference by similarity to ideal solution; rank sum ratio; comprehensive assessment

0 引言

金银花是一种具有抗菌、抗病毒、解热抗炎等药理作用的药食同源植物。作为中药材,《中国药典》^[1]中成方制剂部分就收载了 55 种含有金银花的中成药,处方中金银花的用量也是排名前列的。作为食材,常被人们用来作为熬粥的食材和代用茶。据历史记载,我国金银花主要产区在我国北方的河南新密、新乡封丘、山东菏泽鄄城、临沂的平邑以及河北邢台的巨鹿地区^[2]。金银花质量的好坏直接影响其作为中成药和药膳的效果,但现有文献对金银花质量的分析评价主要是通过检测某些成分、分析生长环境及生长土壤微量元素等方面进行的。如刘天亮等^[3]收集地道产区的金银花,并对其中的绿原酸、木犀草苷、总黄酮、多糖等指标进行检测并对比评价;孙义新等^[4]通过分析地道药材主产区气候、土壤等方面的因素分析评价金银花的品质,这些分析评价只是单纯通过数据比较,具有一定局限性。鉴于此,本研究用熵权法和变异系数法(coefficient of variation, CV)计算出组合权重,再结合加权逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)和加权秩和比法(rank sum ratio, RSR)评价构建综合评价模型,对不同产区金银花的质量进行综合评价,克服 TOPSIS 法不能对评价结果分档,RSR 法会使原始数据损失的缺陷,构建地道药材金银花的定量分析模型,为促进金银花产业的发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 指标选择

基于指标代表性好、灵敏度高、易于评价的原则,选取抗病毒活性主要成分绿原酸、木犀草苷、咖啡酰奎宁酸;影响质量安全的铅、镉、砷、汞、铜 5 个重金属指标以及二氧化硫残留和农残检出种类为评价指标^[3,5],这些指标中绿原酸、木犀草苷、咖啡酰奎宁酸为高优指标(以下称为: X_1 、 X_2 、 X_3);铅、镉、砷、汞、铜、二氧化硫残留、农药残留检出种类数量为低优指标(以下称为: X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10})。

1.2 研究方法

1.2.1 指标数据的无量纲处理

运用极差变化法对选取的不同产区金银花的 10 个指标 X_{ij} 进行无量纲处理,具体通过公式(1)计算。由于后续使用熵权法计算权重时需要使用对数运算,数值为 0 的指标

无法取对数,因此再做无量纲处理时计算出来的无量纲数值统一右移一个单位,也就是在公式(1)计算的结果上加 1。由于数值是在无量纲处理后进行统一右移的计算方法,并且是为了计算权重,因此不会影响整体的评价结果。

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{1j}, \dots, X_{nj})}{\max(X_{1j}, \dots, X_{nj}) - \min(X_{1j}, \dots, X_{nj})} \quad (1)$$

其中, i 表示不同产区, j 表示选取的评价指标; X_{ij} 代表选取各个指标的原始数据, Y_{ij} 代表运用极差变化法标准化后的指标数值。 $\max(X_{ij})$ 和 $\min(X_{ij})$ 分别表示 X_{ij} 的最大值和最小值。

1.2.2 组合权重

首先使用熵权法^[6-8]、变异系数法^[9]分别确定各评价指标的权重,为了避免单一权重计算方法的缺陷,使用熵权法与变异系数法相组合来进行赋权^[10],然后通过公式(2)计算组合权重。

$$W_j = \frac{d_j e_j}{\sum_{j=1}^m d_j e_j} \quad (2)$$

其中, W_j 为组合权重, d_j 为熵权法确定的权重, e_j 为变异系数法确定的权重, $j=1, 2, 3, \dots, m$, 熵权法具体的计算方法和步骤参考叶娟惠^[11]的研究方法。

1.2.3 TOPSIS 法评价

将组合权重应用到加权 TOPSIS 法中,得到规范化矩阵^[12],根据 TOPSIS 方法的计算步骤得到待评价方案与正理想解的相对接近程度 C_i 值,根据 C_i 值大小评价方案的优劣^[13]。

1.2.4 RSR 法评价

将组合权重应用到加权 RSR 法中计算出 RSR 值,排出各地区的秩次 R , 计算累计百分位数 P , 查《百分比与概率单位对照表》^[14], 根据 RSR 法最佳分档要求,对评价对象进行分档排序。

1.2.5 组合模糊评价

运用模糊理论,将二者进行模糊联合综合评价药品检验机构的发展状况,通过 SPSS 21.0 进行统计学检验,检验水准为 $\alpha=0.01$ 。

1.3 指标数据的转换

《金银花采收加工及质量评价方法研究》^[5]中共购买 13 个样品,分别为:河南新乡封丘 1 个、河南郑州新密 4 个、山东临沂平邑 4 个、山东菏泽鄄城 2 个、河北邢台巨鹿 2 个。所有选取 $X_1 \sim X_9$ 指标的原始数据按照相同产地的数据算术平均值进行换算,指标 X_{10} 按照相同产地的直接加和的方法计算,得到 $X_1 \sim X_{10}$ 所有评价指标的数值。

1.4 数据来源

引用《金银花采收加工及质量评价方法研究》^[5]中的

金银花检测数据验证构建模型的可行性。

从这些数据来看, 无法从中得出哪个地区的金银花质量最好, 利用本研究构建的分析评价模型, 可以综合反应出不同产区金银花品质。

2 结果与分析

2.1 原始数据处理

河南、河北、山东 3 大金银花主产区各项评价指标原始数据见表 1。前 9 个指标按不同地区进行算术平均值处理, 农药残留检出种类直接求和, 得到表 2 中各评价指标的具体数值 $X_i, i=1, 2, 3, \dots, 10$ 。由于数据比较分散, 单纯

2.2 组合权重的计算

2.2.1 数据的无量纲处理

运用极差变化法对评价指标做无量纲处理, 根据公式(1)进行计算, 且得到的结果统一向右平移 1 个单位, 具体数据见表 3 所示。

Table 1 Original data of various evaluation indexes of main producing areas of honeysuckle in Henan, Hebei and Shandong										
样品地区	绿原酸/%	木犀草苷/%	咖啡酰奎宁酸/%	铅/(mg/kg)	镉/(mg/kg)	砷/(mg/kg)	汞/(mg/kg)	铜/(mg/kg)	二氧化硫残留/(mg/kg)	农残检出种类数
河南新乡封丘	2.96	0.094	5.973	0.3	0.2	0.1	0.01	11	11	0
河南郑州新密 1	3.084	0.065	6.329	0	0.1	0.08	0.02	13	41	0
河南郑州新密 2	3.317	0.061	6.284	0.3	0.08	0.03	0.05	10	0	0
河南郑州新密 3	2.966	0.067	6.022	0	0.7	0.01	0.04	12	50	1
河南郑州新密 4	2.470	0.065	4.923	0.3	0.9	0	0.07	11	10	0
山东临沂平邑 1	2.170	0.040	5.020	0.2	0.4	0.01	0.02	10	17	3
山东临沂平邑 2	2.645	0.043	5.270	0	1.4	0	0.39	8	13	1
山东临沂平邑 3	2.655	0.052	4.770	0.6	0.4	0.1	0.15	8	29	1
山东临沂平邑 4	2.296	0.060	5.482	0.9	0.4	0.02	0.1	8	29	0
山东菏泽鄄城 1	1.769	0.146	3.752	0.3	0.04	0.1	0.17	12	19	2
山东菏泽鄄城 2	2.763	0.064	5.021	2.1	0.8	0.02	1.2	12	26	6
河北邢台巨鹿 1	3.112	0.067	6.146	1.7	0.1	0.6	0.04	15	58	1
河北邢台巨鹿 2	3.126	0.062	5.867	0.8	0.1	0.2	0.07	7	23	1

Table 2 Evaluation index of honeysuckle in main producing areas of Henan, Hebei and Shandong										
区域	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
河南新乡封丘	2.9600	0.0940	5.9185	0.3000	0.200	0.100	0.010	11	11	0
河南郑州新密	2.9593	0.0645	5.8895	0.1500	0.445	0.030	0.040	11.5	25.25	1
山东临沂平邑	2.5990	0.0488	5.1355	0.8750	0.650	0.035	0.165	8.5	22	3
山东菏泽鄄城	2.2660	0.1050	4.3865	1.2000	0.420	0.060	0.685	12	22.5	6
河北邢台巨鹿	3.1190	0.0645	6.0065	1.2500	0.100	0.400	0.055	11	40.5	2

Table 3 Situation of each evaluation index after dimensionless treatment										
区域	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
河南新乡封丘	1.8136	1.8043	1.9457	1.8636	1.8182	1.8108	2.0000	1.2857	2.0000	2
河南郑州新密	1.8127	1.2794	1.9278	2.0000	1.3727	2.0000	1.9556	1.1429	1.5169	2
山东临沂平邑	1.3904	0.9991	1.4623	1.3409	1.0000	1.9865	1.7704	2.0000	1.6271	2
山东菏泽鄄城	1.0000	2.0000	1.0000	1.0455	1.4182	1.9189	1.0000	1.0000	1.6102	1
河北邢台巨鹿	2.0000	1.2794	2.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.9333	1.2857	1.0000	2

2.2.2 组合权重(W_j)的计算过程

根据熵权法的计算步骤可以得到各评价指标的权重 d_j , 分别为: 0.0999、0.1002、0.1000、0.1007、0.0999、0.0999、0.0999、0.1001、0.0996、0.0998; 变异系数法得到各评价指标的权重 e_j 分别为: 0.0204、0.0508、0.0210、0.1106、0.0983、0.2056、0.2431、0.0206、0.0718、0.1578。根据公式(1)计算组合权重 W_j 为: 0.0204、0.0510、0.0210、0.1114、0.0982、0.2054、0.2429、0.2206、0.0716、0.1575。

2.3 加权 TOPSIS 法构建评价模型

以原始数据与组合权重的乘积作为评价数据, 建立矩阵, 计算各省与最优方案和最劣方案的距离 D_i^+ 和 D_i^- , 同时计算其与最优方案的接近程度 C_i ,并按 C_i 的大小进行排序。 C_i 值越大评价结果越好, 排名(Rank 值)越小^[15], 具体结果见表 4, 金银花品质最好的产地为河南新乡封丘; 品质一般的产地为山东菏泽鄄城。

表 4 不同主产区金银花品质加权 TOPSIS 综合评价及排序情况
Table 4 Weighted TOPSIS comprehensive evaluation and ranking of honeysuckle quality in different main producing areas

省市	D_i^+	D_i^-	C_i	排名
河南新乡封丘	0.0489	0.3671	0.8824	1
河南郑州新密	0.0865	0.3595	0.8061	2
山东临沂平邑	0.1672	0.2938	0.6372	3
河北邢台巨鹿	0.2536	0.2705	0.5161	4
山东菏泽鄄城	0.3174	0.2046	0.3919	5

2.4 利用加权 RSR 法构建评价模型

2.4.1 加权秩和比法综合评价结果

按照秩和比的计算步骤进行综合分析, 分析结果如表 5 所示。对 RSR 值进行正态检验, $P<0.01$, 表明 RSR 数据服从正态分布, 以 Probit 为自变量, 以 RSR 为因变量建立回归方程, 回归方程为: $Y=0.2743X-0.1117$, $r^2=0.9022$, $F=27.7$, $P<0.05$, 回归方程有意义。

表 5 不同主产区金银花品质加权秩和比综合评价
Table 5 Comprehensive evaluation of quality of honeysuckle from different main producing areas with weighted RSR

省市	RSR	平均秩次	P/%	Probit
山东菏泽鄄城	0.42	1	0.2	2.1
山东临沂平邑	0.52	2	0.4	2.3
河北邢台巨鹿	0.6	3	0.6	2.5
河南郑州新密	0.66	4	0.8	2.6
河南新乡封丘	0.8	5	0.95*	3.4

注: *值是按 $1-1/4n$ 进行矫正, Probit 为概率单位。

2.4.2 加权秩和比法排序

根据 RSR 法最佳分档要求, 按照优秀、良好、一般 3 个等级进行分类, 品质为优秀的主产区为: 河南新乡封丘; 品质为一般的主产区为: 山东临沂平邑、山东菏泽鄄城, 分档结果如表 6 所示。

表 6 不同主产区金银花品质分档情况
Table 6 Quality classification of honeysuckle in different main producing areas

等级	概率单位(Probit)	综合评分分档
优秀	>3	河南新乡封丘
良好	$2.5\sim3$	河南郑州新密、河北邢台巨鹿
一般	<2.5	山东临沂平邑、山东菏泽鄄城

2.5 加权 TOPSIS 法与加权 RSR 法模糊联合建立评价模型

运用模糊数学理论, 将加权 TOPSIS 法和加权 RSR 法计算的 C_i 值和 RSR 值进行加权模糊联合, 以选择合理排序结果进行综合分析。设 C_i 值与 RSR 值的权重比 $W_1:W_2$, 即求 $W_1\times C_i+W_2\times RSR$, 根据 W_1 、 W_2 值分为若干档, 研究取 C_i : RSR 分别为 0:1、0.1:0.9、0.5:0.5、0.9:0.1 和 1:0, 由于 0:1 和 1:0 分别是 C_i 值和 RSR 值, 因此实际选取 0.1:0.9、0.5:0.5 和 0.9:0.1 计算出其值并排序, 根据“择多原则”进行判断^[16-18]。通过模糊联合得到的评价结果, 金银花品质排名第 1 的为河南新乡封丘; 排名最后 1 位的为山东菏泽鄄城, 具体如表 7 所示。

表 7 TOPSIS 法与 RSR 法模糊联合评价不同主产区金银花品质排序情况
Table 7 Rank of different main producing area honeysuckle by fuzzy union evaluation of TOPSIS and RSR

省市	$0.9RSR+0.1C_i$	排名	$0.5RSR+0.5C_i$	排名	$0.1RSR+0.9C_i$	排名
山东菏泽鄄城	0.4172	5	0.4060	5	0.3947	5
山东临沂平邑	0.5317	4	0.5786	3	0.6255	3
河北邢台巨鹿	0.5916	3	0.5581	4	0.5245	4
河南郑州新密	0.6746	2	0.7331	2	0.7915	2
河南新乡封丘	0.8082	1	0.8412	1	0.8742	1

3 结论与讨论

TOSIS 法评价的优点是方法简单灵活, 对原始数据的利用比较充分; 缺点是灵敏度低, 对异常值的干扰比较敏感。RSR 法评价的优点是采用秩次进行计算, 对异常值的干扰较小; 缺点是可能损失一些原始的信息。模糊联合法综合评价的优点在于克服了前两者的缺点, 对数据的分析更加充分、准确; 缺点是可能由于加权系数的不同评价结果不完全一致, 但变动较小, 根据“择多原则”确定的最终结果能准确反映整体变化趋势^[19-20]。本研究运用熵权法与变异系数法确定组合权重, 可以在不偏离研究主题下运用客观法建立合理的权重, 做到理论与实际的统一, 同时能反映事物的变化规律。建立无量纲数据的矩阵, 通过加权 TOPSIS 法和 RSR 法以及两者模糊联合对不同主产区金银花品质情况进行了综合评价, 避免使用单一评价方法的缺点, 评价结果客观、科学, 具有一定的参考价值。

本研究通过不同的评价方法构建了质量评价模型, 并通过引用《金银花采收加工及质量评价方法研究》中的数据, 利用模型的计算对不同主产区金银花品质进行了分析评价, 通过计算分析显示, 虽然不同的评价方法结果会有小幅波动, 但整体趋势是相同的。构建的基于熵权-变异系数组合权重的金银花质量评价模型分析不同产区金银花质量是可靠的。

由于本研究引用的数据多出于河南大学的硕士论文^[5], 其购买的样本并非概率抽样且不同产区购买的样品数量不一样, 本研究为了便于计算, 采取了算术平均值进行处理, 因此本研究各种评价方法得到的排名结果有一定的局限性。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Medical Sci Press, 2020.
- [2] 郑国成, 李汉天, 庞丽华, 等. 不同产地、采收期及加工方法金银花中木犀草苷含量分析[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(6): 97-98.
ZHENG GC, LI TH, PANG LH, *et al.* Analysis of the content of galuteolin in *Lonicerae japonicae* by different producing areas, harvesting periods and processing methods [J]. Asia-Pac Tradit Med, 2019, 15(6): 97-98.
- [3] 刘天亮, 董诚明, 齐大明, 等. 不同产地及加工方式金银花的质量评价[J]. 中药材, 2020, 43(3): 583-586.
LIU TL, DONG CM, QI DM, *et al.* Quality evaluation of honeysuckle from different producing areas and processing methods [J]. J Chin Med Mater, 2020, 43(3): 583-586.
- [4] 孙义新, 魏源. 道地药材成因及其土壤元素基准探讨[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(31): 8-11.
SUN YX, WEI Y. Discussion on the origin of genuine medicinal materials and soil element datum [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(31): 8-11.
- [5] 李晓娅. 金银花采收加工及质量评价方法研究[D]. 开封: 河南大学, 2019.
- [6] LI XY. Research on harvesting, processing and the method of quality evaluation of *Lonicerae japonicae* Flos [D]. Kaifeng: Henan University, 2019.
- [7] WANG F, LI H. On the use of the maximum entropy method for reliability evaluation involving stochastic process modeling [J]. Struct Saf, 2021, 88: 102028.
- [8] CUI XY, ZHAO T, WANG J. Allocation of carbon emission quotas in China's provincial power sector based on entropy method and ZSG-DEA [J]. J Clean Prod, 2021, 284: 124683.
- [9] 刘家涛, 袁涵, 吴静. 基于熵权-AHP 模糊评价法的生态宜居程度评价[J]. 山西建筑, 2021, 47(3): 1-4.
LIU JT, YUAN H, WU J. Evaluation of ecological livability in the settlement area of Wudongde hydropower station based on entropy right-AHP fuzzy evaluation [J]. Shanxi Archit, 2021, 47(3): 1-4.
- [10] WU ZN, LV H, MENG Y, *et al.* The determination of flood damage curve in areas lacking disaster data based on the optimization principle of variation coefficient and beta distribution [J]. Sci Total Environ, 2021, 750: 142277.
- [11] 黄明凤, 吴艳霞. 新疆兵团高技术服务业发展环境的评价基于熵权与变异系数组合赋权法的综合评价模型[J]. 新疆财经, 2017, 38(6): 46-52.
HUANG MF, WU YX. Evaluation on development environment of high-tech service industry of Xinjiang production and construction corps-A comprehensive evaluation model based on combination weighting method of entropy weight and variation coefficient [J]. J Xinjiang Finan Econ, 2017, 38(6): 46-52.
- [12] 叶娟惠. 基于熵权 TOPSIS 法的福建经济高质量发展评价[J]. 发展研究, 2020, 36(7): 59-68.
YE JH. Evaluation of Fujian's high quality economic development based on entropy TOPSIS method [J]. Dev Res, 2020, 36(7): 59-68.
- [13] 王莹, 刘翔, 贾慧民. 基于 TOPSIS 法的单病种多学科首席专家团队综合评价[J]. 中国肿瘤, 2020, 29(7): 520-525.
WANG Y, LIU X, JIA HM. Comprehensive evaluation of cancer multidisciplinary team based on TOPSIS method [J]. China Cancer, 2020, 29(7): 520-525.
- [14] 梁慧, 蒋家晓, 蒋俊俊, 等. TOPSIS 法和秩和比法综合评价 2008—2017 年广西钦州市妇幼卫生管理质量[J]. 内科, 2019, 14(4): 387-391.
LIANG H, JIANG JX, JIANG JJ, *et al.* Comprehensive evaluation of maternal and child health care service quality in Qinzhou of Guangxi from 2008 to 2017 using TOPSIS and rank sum ratio methods [J]. Intern Med, 2019, 14(4): 387-391.
- [15] 魏琳颜, 王珂, 高霞, 等. 运用 TOPSIS 法、秩和比法及两者模糊联合法综合评价我国孕产妇保健情况[J]. 中国妇幼保健, 2019, 34(5): 975-979.
WEI LY, WANG K, GAO X, *et al.* Comprehensive evaluation of maternal health care in China by TOPSIS, RSR and fuzzy combination methods [J]. Matern Child Health Care China, 2019, 34(5): 975-979.
- [16] 陈军义, 李福轮, 赵乾龙, 等. 运用 TOPSIS 法、秩和比法和密切值法综合评价近 20a 中国儿童保健情况[J]. 兰州大学学报(医学版), 2019, 45(6): 6-11.
CHEN JY, LI FL, ZHAO QL, *et al.* Comprehensive evaluation on quality of health care for children with TOPSIS method, rank-sum ratio method

- and close-value method in China in last 20 years [J]. J Lanzhou Univ (Med Sci Ed), 2019, 45(6): 6–11.
- [16] 范焯. TOPSIS 法与秩和比法模糊联合对卫生事业管理质量的综合评价[J]. 中国医院统计, 2000, 26(4): 214–216.
- FAN Z. A comprehensive evaluation of health management quality by using the fuzzy combined method of TOPSIS and rank sum ratio [J]. Chin J Hosp Stat, 2000, 26(4): 214–216.
- [17] 秦海燕, 鄢娟, 尹晶, 等. 理想解排序法与秩和比法及其模糊联合综合评价我国 2000—2016 年孕产妇保健工作[J]. 安徽医药, 2020, 24(4): 838–841.
- QIN HY, YAN J, YIN J, *et al.* TOPSIS method, RSR method and the fuzzy comprehensive evaluation of maternal health care in China from 2000 to 2016 [J]. Anhui Med Pharm J, 2020, 24(4): 838–841.
- [18] 王蕾, 魏霞, 于咏梅. 基于逼近理想解排序法和秩和比法综合评价我国食品药品综合检验机构发展概况[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1636–1643.
- WANG L, WEI X, YU YM. Comprehensive evaluation of the development of national food and drug inspection institutions with technique for order preference by similarity to ideal solution and rank sum ratio methods [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(4): 1636–1643.
- [19] 刘广美, 王奇娟. TOPSIS 法结合 RSR 法综合评价 2017 年全国 31 省市儿童保健工作质量[J]. 现代预防医学, 2020, 47(4): 644–647.
- LIU GM, WANG QJ. Comprehensive evaluation on the quality of child health care service in China in 2017 with TOPSIS and RSR methods [J]. Mod Prev Med, 2020, 47(4): 644–647.
- [20] 高山, 苏敏艳, 吴晶晶. 基于加权秩和比法的江苏省卫生资源配置均衡性研究[J]. 中国社会医学杂志, 2020, 37(2): 185–188.
- GAO S, SU MY, WU JJ, *et al.* Study on allocation of health resources in Jiangsu province based on weighted rank-sum ratio method [J]. Chin J Soc Med, 2020, 37(2): 185–188.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

张媛媛, 高级经济师, 主要研究方向为食品药品检验机构经济管理科学方法运用与研究。

E-mail: znmyzyy@163.com

王蕾, 高级工程师, 主要研究方向为食品药品检验及实验室质量管理。

E-mail: wl3613@126.com