

基于灰色关联分析方法评价商品甘草药材质量

李硕^{1,2}, 李成义¹, 李敏^{2*}, 李越峰¹, 王明伟¹, 夏琴²

(1. 甘肃中医学院, 兰州 7300001; 2. 成都中医药大学, 成都 610075)

[摘要] 目的:依据灰色关联分析方法评价商品甘草质量。方法:收集甘草代表产区甘肃、内蒙、新疆等地的商品甘草30份,依据传统外观性状结合市场现状进行等级划分,对收集的样品进行主要成分浸出物、总多糖、甘草酸、甘草苷含量测定,采用灰色关联度法,以定义的相对关联度为测度,构建商品甘草质量评价模型。结果:30份商品甘草药材样品的质量评价结果与商品等级划分的基本内涵相符合,不同等级甘草样品质量均按一等、二等、三等为先后次序进行排序,不同产地同一等级的商品甘草以甘肃庆阳、内蒙伊盟最佳,其次为甘肃金塔、甘肃民勤、内蒙杭锦旗、甘肃酒泉、新疆库尔勒、宁夏中宁,青海、陕西的样品一等甘草较甘肃、内蒙个别产地二等甘草质量稍差。结论:该方法及模型可用于商品甘草药材的质量评价。

[关键词] 商品甘草; 质量评价; 灰色关联度法

[中图分类号] R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2015)01-0089-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2015010089

Quality Evaluation of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma by Grey Incidence Degree Method LI Shuo^{1,2}, LI Cheng-yi¹, LI Min^{2*}, LI Yue-feng¹, WANG Ming-wei¹, XIA Qin² (1. Gansu College of Traditional Chinese Medicine (TCM), Gansu 730000, China; 2. Chengdu University of TCM, Chengdu 610075, China)

[Abstract] **Objective:** To evaluate the quality of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma based on Grey incidence degree method. **Method:** 30 samples of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma were collected in Gansu, Inner Mongolia, Xinjiang and other representative habitats. On the basis of traditional appearance identification combined with the market present situation hierarchies of the samples for the determination of extract in samples, the contents of total polysaccharide, glycyrrhizic acid and liquiritin. Grey model was used by determining four main compositions contained in the samples. **Result:** The result of evaluating the quality of 30 samples was as same as that of medicinal products classification by the model. Samples were divided grade for the first, second, third sort of priorities by the quality of different grades. It was the best licorice of the same grade from different areas in Qingyang, Inner Mongolia, followed by Jinta, Minqin of Gansu province, Hangjinqi of Inner Mongolia, Jiuquan of Gansu province, Xinjiang korla and Zhongning of Ningxia. Licorice samples for the first grade in Shaanxi, Gansu were lower quality than the second licorice in Inner Mongolia. **Conclusion:** Grey incidence degree method and the model could be used to evaluate the quality of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma.

[Key words] Glycyrrhizae Radix et Rhizoma; quality evaluation; grey incidence degree method

甘草为豆科植物甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、胀果甘草(*G. inflata*)或光果甘草(*G. glabra*)的干燥根及根茎^[1-2],主产于新疆、甘肃、宁夏、内蒙等省区^[3-4]。主要含有三萜类化合物甘草甜素,黄酮类化合物甘草苷、甘草苷元、异甘草苷等,亦含生物碱类、中性多糖等多种成分^[5-6],具有补脾益气、清热解毒、祛痰止咳、缓急止痛、调和诸药之功效^[7]。

商品中药材的品种和质量是保证临床用药安全有效的前提。目前商品甘草主要以产地定规格,以大小论等级,主要参考依据为《七十六种药材商品规格标准》。现行的商品甘草等级划分标准未进行纯度、有效成分含量、安全性指标的限量规定^[8-10]。目前关于中药材质量评价的方法,多是采用显微模式识别、化学指纹图谱、化学模式识别等^[11-15]。灰色关联分析

[收稿日期] 20131104(008)

[基金项目] 甘肃省自然科学基金计划项目(1010RJZA214);甘肃省中药材产业科技攻关项目(GYC09-13)

[第一作者] 李硕,硕士,讲师,从事中药品质评价与资源开发工作, Tel:13919824303, E-mail:ice_ls@126.com

[通讯作者] *李敏,学士,教授,从事中药品质评价、GAP研究、资源开发工作, Tel:13980038316, E-mail:028limin@163.com

是灰色理论的基本内容,灰色关联分析的基本思想是根据曲线间相似程度来判断因素间的关联程度^[16]。近年来,灰色关联分析方法多用于农作物品种的综合评价,对中药材质量的综合评价应用较少^[17-23]。

本文以不同产地、不同商品等级的甘草为研究对象,为了客观、有效地评价商品甘草的质量,收集甘草代表产区甘肃、内蒙、新疆等地的商品甘草 30 份,依据传统外观性状结合市场现状进行等级划分,对收集的样品进行主要成分浸出物、总多糖、甘草酸、甘草苷含量测定,并借助灰色关联分析方法,以相对关联度为商品甘草质量评价测度,构建评价商品甘草质量的灰色关联分析模型,本研究为商品中药的等级划分和综合质量评价提供一种新的思路和方法。

1 材料

1.1 仪器 1200 系列高效液相色谱仪(美国 Agilent),UV1102 型紫外分光光度计(上海天美科学仪器有限公司),BS224S 型分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司)。

1.2 药品 甘草苷(111610-200604)、甘草酸铵盐(110731-200615)、葡萄糖(110833-200904)对照品均购自中国食品药品检定研究院,液相用乙腈为色谱纯,其他试剂均为分析纯。

1.3 材料 商品甘草药材于 2010 年从甘肃、宁夏、内蒙、新疆等甘草主产区收集,经甘肃中医学院药理学系李成义教授鉴定为豆科植物甘草 *Glycyrrhiza uralensis* 的干燥根,来源见表 1。

1.4 数据来源 甘草浸出物(I)参照《中国药典》2010 年版中醇溶性浸出物测定法(附录 XA)项下的热浸法测定,总多糖(II)测定采用苯酚硫酸法,甘草酸(III)与甘草苷(IV)通过 HPLC-DAD 同时测定得到,数据结果见表 2。

2 灰色关联度法

2.1 参考序列的选择 设有 m 个样品,每个样品有 n 项评价指标,由此组成评价单元序列 $\{X_{ak}\}$ ($a = 1, 2, 3 \dots m; k = 1, 2, 3 \dots n$; 本研究中 $m = 30, n = 4$)。

用灰色关联度作为评价测度时,应选择参考序列,一般应确定最优参考序列和最差参考序列。设最优参考序列为 $\{X_{sk}\}$ ($k = 1, 2, 3 \dots n$),最差参考序列为 $\{X_{tk}\}$ ($k = 1, 2, 3 \dots n$),其中最优参考序列的各项指标是 m 个样品对应指标的最大值,最差参考序列的各项指标是 m 个样品对应指标的最小值。

2.2 原始数据规格化处理 各评价指标间数据差

表 1 商品甘草来源一览表

Table 1 The origin of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma

编号	商品来源	等级	编号	商品来源	等级
GQ01	甘肃庆阳	一等	GJ01	甘肃酒泉	一等
GQ02	甘肃庆阳	二等	GJ02	甘肃酒泉	二等
GQ03	甘肃庆阳	三等	GJ03	甘肃酒泉	三等
NY01	内蒙伊盟	一等	XK01	新疆库尔勒	一等
NY02	内蒙伊盟	二等	XK02	新疆库尔勒	二等
NY03	内蒙伊盟	三等	XK03	新疆库尔勒	三等
GT01	甘肃金塔	一等	NZ01	宁夏中宁	一等
GT02	甘肃金塔	二等	NZ02	宁夏中宁	二等
GT03	甘肃金塔	三等	NZ03	宁夏中宁	三等
GM01	甘肃民勤	一等	QH01	青海海南州	一等
GM02	甘肃民勤	二等	QH02	青海海南州	二等
GM03	甘肃民勤	三等	QH03	青海海南州	三等
NH01	内蒙-杭锦旗	一等	SY01	陕西榆林	一等
NH02	内蒙-杭锦旗	二等	SY02	陕西榆林	二等
NH03	内蒙-杭锦旗	三等	SY03	陕西榆林	三等

异较大,测度单位不统一,应对原始数据进行规格化处理。规格化处理公式如下:

$$Y_{ik} = X_{ik} / X_k \quad (1)$$

(Y_{ik} 为规格化处理后的数据, X_{ik} 为原始数据, X_k 为第 n 个样品第 k 个指标的均值)

2.3 关联系数的计算

2.3.1 相对于最优参考序列的关联系数计算公式为:

$$\xi_{k(s)}^i = \frac{\Delta \min + \rho \Delta \max}{|Y_{ik} - Y_{sk}| + \rho \Delta \max}$$

$$\Delta \min = \min |Y_{ik} - Y_{sk}|, \Delta \max = \max |Y_{ik} - Y_{sk}| \quad (2)$$

($i = 1, 2 \dots m; k = 1, 2, \dots n; \rho$ 为分辨系数,一般取值为 0.5)。

2.3.2 相对于最差参考序列的关联系数计算公式为:

$$\xi_{k(t)}^i = \frac{\Delta' \min + \rho \Delta' \max}{|Y_{ik} - Y_{tk}| + \rho \Delta' \max}$$

$$\Delta' \min = \min |Y_{ik} - Y_{tk}|, \Delta' \max = \max |Y_{ik} - Y_{tk}| \quad (3)$$

($i = 1, 2 \dots m; k = 1, 2, \dots n; \rho$ 为分辨系数,一般取值为 0.5)。

2.4 关联度的计算

2.4.1 相对于最优参考序列的关联度为:

$$r_{i(s)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{k(s)}^i \quad (4)$$

表 2 不同商品规格甘草浸出物、总多糖、甘草苷、甘草酸质量分数

Table 2 The content of extract, total polysaccharide, licorice glycosides and glycyrrhizic acid in licorice of the different product specifications

样品	浸出物	总多糖	甘草苷	甘草酸	样品	浸出物	总多糖	甘草苷	甘草酸
NY01	36.59	14.52	1.46	3.15	GJ01	35.16	12.12	1.49	3.21
NY02	34.12	10.58	1.12	2.54	GJ02	34.33	6.58	1.17	2.73
NY03	32.83	10.65	0.97	2.09	GJ03	32.74	9.32	0.83	2.34
GQ01	36.55	15.34	1.63	3.12	GT01	37.01	15.62	1.45	2.76
GQ02	34.76	9.94	1.15	2.48	GT02	34.82	12.32	1.22	2.44
GQ03	31.54	11.12	0.95	2.15	GT03	31.91	9.15	0.94	2.13
XK01	35.23	13.24	1.54	2.98	QH01	34.01	10.34	1.25	2.39
XK02	31.07	9.25	1.23	2.39	QH02	33.57	8.71	1.13	2.15
XK03	28.29	10.12	0.87	2.08	QH03	31.15	9.13	0.67	2.01
GM01	34.58	13.51	1.63	3.07	SY01	34.29	11.26	1.26	3.13
GM02	31.29	8.23	1.24	2.58	SY02	32.78	6.53	0.89	2.57
GM03	29.75	9.45	0.89	2.19	SY03	28.53	6.90	0.49	2.18
NH01	36.02	13.06	1.65	2.89	NZ01	37.93	12.95	1.39	2.78
NH02	33.73	10.34	1.47	2.48	NZ02	33.19	10.06	1.32	2.85
NH03	29.92	11.53	1.05	2.10	NZ03	32.40	9.13	0.87	1.93

2.4.2 相对于最差参考序列的关联度为:

$$r_{i(t)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{k(t)}^i \quad (5)$$

2.5 定义并计算相对关联度 相对于最优参考序列的关联度 $r_{i(s)}$ 越大,同时相对于最差参考序列的关联度 $r_{i(t)}$ 越小,表明所评价单元序列越理想。定义评价单元序列 $\{X_{ik}\}$ 相对于最优参考序列 $\{X_{sk}\}$ 和最差参考序列 $\{X_{tk}\}$ 的相对关联度为:

$$r_i = \frac{r_{i(s)}}{r_{i(s)} + r_{i(t)}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

表 3 不同批次商品甘草原始数据规格化

Table 3 The original data normalization

项目	I	II	III	IV	项目	I	II	III	IV
NY01	1.10	1.36	1.24	1.25	GJ01	1.05	1.13	1.27	1.27
NY02	1.02	0.99	0.95	1.00	GJ02	1.03	0.62	1.00	1.08
NY03	0.98	1.00	0.83	0.83	GJ03	0.98	0.87	0.71	0.93
GQ01	1.10	1.43	1.39	1.23	GT01	1.11	1.46	1.24	1.09
GQ02	1.04	0.93	0.98	0.98	GT02	1.04	1.15	1.04	0.96
GQ03	0.95	1.04	0.81	0.85	GT03	0.96	0.86	0.80	0.84
XK01	1.06	1.24	1.31	1.18	QH01	1.02	0.97	1.06	0.94
XK02	0.93	0.86	1.05	0.94	QH02	1.00	0.81	0.96	0.85
XK03	0.85	0.95	0.74	0.82	QH03	0.93	0.85	0.57	0.79
GM01	1.04	1.26	1.39	1.21	SY01	1.03	1.05	1.07	1.23
GM02	0.94	0.77	1.06	1.02	SY02	0.98	0.61	0.76	1.02

根据相对关联度的大小对评价单元序列进行排序,最终得到优劣评价结果。

3 建立评价商品甘草质量的灰色关联度模式

3.1 样品数据集的建立 测定所收集不同产地、不等商品等级甘草药材的 4 种主要评价指标,并计算百分比含量,建立评价商品甘草药材质量的灰色模式识别数据集。

3.2 数据规格化处理 将原始数据集按公式(1)进行规格化处理,结果见表 3;并计算各评价单元序列相对最优(差)参考序列的差值。

续表 3

项目	I	II	III	IV	项目	I	II	III	IV
GM03	0.89	0.88	0.76	0.87	SY03	0.86	0.64	0.42	0.86
NH01	1.08	1.22	1.41	1.14	NZ01	1.14	1.21	1.18	1.10
NH02	1.01	0.97	1.25	0.98	NZ02	1.00	0.94	1.12	1.13
NH03	0.90	1.08	0.89	0.83	NZ03	0.97	0.85	0.74	0.76
最优	1.14	1.46	1.41	1.27	最差	0.85	0.61	0.42	0.76

3.3 关联系数与关联度的计算 依据公式(2), (3), (4), (5) 分别计算各评价单元相对于最优参

考序列、最差参考序列的关联系数和关联度, 结果见表 4, 5。

表 4 评价单元序列相对于最优参考序列的关联系数与关联度

Table 4 The relative optimal correlation coefficients and relevant of evaluating unit sequence

项目	I	II	III	IV	关联度	项目	I	II	III	IV	关联度
NY01	0.78	0.86	0.74	0.97	0.84	GJ01	0.62	0.65	0.78	1.00	0.76
NY02	0.55	0.56	0.52	0.69	0.58	GJ02	0.57	0.42	0.55	0.76	0.58
NY03	0.48	0.57	0.46	0.58	0.52	GJ03	0.48	0.51	0.41	0.64	0.51
GQ01	0.78	0.95	0.96	0.94	0.91	GT01	0.83	1.00	0.74	0.77	0.84
GQ02	0.59	0.53	0.54	0.68	0.59	GT02	0.59	0.66	0.57	0.66	0.62
GQ03	0.43	0.59	0.41	0.59	0.51	GT03	0.45	0.50	0.45	0.59	0.50
XK01	0.64	0.46	0.83	0.87	0.70	QH01	0.55	0.55	0.59	0.65	0.59
XK02	0.41	0.50	0.58	0.65	0.54	QH02	0.51	0.48	0.52	0.59	0.53
XK03	0.33	0.54	0.42	0.58	0.47	QH03	0.41	0.50	0.37	0.56	0.46
GM01	0.59	0.75	0.96	0.91	0.80	SY01	0.57	0.37	0.59	0.33	0.47
GM02	0.42	0.47	0.59	0.71	0.55	SY02	0.48	0.50	0.43	0.38	0.45
GM03	0.37	0.51	0.43	0.61	0.48	SY03	0.34	0.49	0.33	0.42	0.40
NH01	0.71	0.58	1.00	0.83	0.78	NZ01	1.00	0.33	0.68	0.36	0.59
NH02	0.53	0.55	0.76	0.68	0.63	NZ02	0.51	0.39	0.63	0.35	0.47
NH03	0.38	0.61	0.49	0.58	0.52	NZ03	0.46	0.42	0.39	0.45	0.43

表 5 评价单元序列相对于最差参考序列的关联系数与关联度

Table 5 The relative worst correlation coefficients and relevant of evaluating unit sequence

项目	I	II	III	IV	关联度	项目	I	II	III	IV	关联度
NY01	0.37	0.36	0.38	0.33	0.36	GJ01	0.42	0.45	0.37	0.37	0.40
NY02	0.46	0.53	0.48	0.51	0.50	GJ02	0.45	0.98	0.46	0.43	0.58
NY03	0.53	0.52	0.55	0.78	0.60	GJ03	0.53	0.62	0.63	0.59	0.59
GQ01	0.37	0.34	0.34	0.34	0.35	GT01	0.36	0.33	0.38	0.43	0.38
GQ02	0.43	0.57	0.47	0.53	0.50	GT02	0.43	0.40	0.44	0.55	0.46
GQ03	0.59	0.50	0.56	0.73	0.60	GT03	0.57	0.63	0.57	0.75	0.63
XK01	0.41	0.40	0.36	0.37	0.39	QH01	0.46	0.54	0.44	0.58	0.51
XK02	0.40	0.63	0.44	0.58	0.51	QH02	0.49	0.68	0.48	0.73	0.60
XK03	1.00	0.56	0.61	0.80	0.74	QH03	0.64	0.64	0.77	0.89	0.74
GM01	0.43	0.40	0.34	0.35	0.38	SY01	0.45	0.49	0.43	0.34	0.43
GM02	0.62	0.73	0.44	0.49	0.57	SY02	0.53	1.00	0.59	0.49	0.60
GM03	0.78	0.61	0.59	0.69	0.67	SY03	0.94	0.93	1.00	0.71	0.90
NH01	0.39	0.41	0.33	0.39	0.38	NZ01	0.33	0.41	0.39	0.42	0.39
NH02	0.48	0.54	0.37	0.53	0.48	NZ02	0.49	0.56	0.41	0.40	0.47
NH03	0.74	0.47	0.51	0.78	0.63	NZ03	0.55	0.64	0.61	1.00	0.70

3.4 相对关联度的计算 依据公式(6) 计算 30 个批次甘草样品的相对关联度, 并进行排序, 确定不同

产地、不等商品等级甘草药材质量名次, 结果见表 6。

表 6 不同商品等级甘草样品相对关联度质量排序名次

Table 6 The relative correlation ranking order of the different commodity grades of Glycyrrhizae Radix et Rhizoma

项目	样品		项目	样品		项目	样品	
	相对关联度	质量排序		相对关联度	质量排序		相对关联度	质量排序
NY01	0.700	2	GM02	0.491	18	GT03	0.442	24
NY02	0.537	12	GM03	0.417	26	QH01	0.536	13
NY03	0.464	20	NH01	0.672	5	QH02	0.469	19
GQ01	0.722	1	NH02	0.568	10	QH03	0.383	28
GQ02	0.541	11	NH03	0.452	23	SY01	0.522	15
GQ03	0.459	22	GJ01	0.655	6	SY02	0.429	25
XK01	0.642	7	GJ02	0.498	17	SY03	0.308	30
XK02	0.524	14	GJ03	0.463	21	NZ01	0.602	8
XK03	0.388	27	GT01	0.689	3	NZ02	0.503	16
GM01	0.678	4	GT02	0.574	9	NZ03	0.381	29

4 小结与讨论

目前商品甘草的流通交易个体化现象仍很普遍, 未形成规范化的集约销售渠道; 商品甘草的品种来源混杂, 质量参差不齐; 现行商品药材的等级划分标准(如《七十六种药材商品标准》)以药材长短和直径为依据难以满足实际需要, 最终导致商品甘草等级混乱, 药材安全性、稳定性难以保证。本研究以浸出物、总多糖、甘草苷及甘草酸为综合评价指标, 对不同产地、不同商品等级的甘草样品进行质量评价, 能够较为客观地反映商品甘草的内在质量。

本研究收集了 10 个不同产地的商品甘草, 按药材大小直径、外皮及断面颜色、质地等传统评价药材质量优劣的方法将各代表产地样品划分为 3 个等级。不同等级甘草样品质量均按一等、二等、三等为先后次序进行排序, 与传统鉴别经验判断一致。不同产地同一等级的商品甘草以甘肃庆阳(GQ01)、内蒙古伊盟(NY01)最佳, 其次为甘肃金塔(GT01)、甘肃民勤(GM01)、内蒙古杭锦旗(NH01)、甘肃酒泉(GJ01)、新疆库尔勒(XK01)、宁夏中宁(NZ01), 青海、陕西的样品一级甘草较甘肃、内蒙古个别产地二等甘草质量稍差。评价结果与药材的实际情况相符。

灰色系统既包含已知信息, 又包含未知信息, 其

灰色关联度模型对数据容量和概率分布没有严格要求, 它只要求较少的原始数据, 便可充分利用这些已知数据, 去寻找体系中的规律性^[24-25]。近年来, 灰色系统作为对模糊系统研究的有效手段已被广泛应用, 但应用于对中药材的质量评价还较少见。本研究利用灰色系统, 以定义的相对关联度为测度, 建立评价商品甘草质量的灰色关联分析模型, 为商品甘草的等级划分和综合质量评价提供新的方法。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 80-81.

[2] 李学禹, 冯德诚. 应用多种分类学方法研究甘草属种质资源[M]. 上海: 科学技术文献出版社, 1992: 7-24.

[3] 林寿全, 童玉懿. 国产六种甘草资源的利用研究[J]. 植物分类学报, 1977, 15(2): 47-56.

[4] 李成义, 马艳茹, 魏学明, 等. 甘肃道地药材甘草的资源状况分析[J]. 西部中医药, 2011, 24(7): 8-11.

[5] 康廷国. 中药鉴定学[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2012: 115-117.

[6] 高雪岩, 王文全, 魏胜利, 等. 甘草及其活性成分的药理活性研究进展[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(21): 2695-2700.

[7] Hattori T, Ikematsu S, Koito A, et al. Preliminary evidence for inhibitory effect of glycyrrhizin on HIV

- replication in patients with AIDS [J]. *Antivir Res*, 1989, 11(7):255-261.
- [8] 李成义, 马艳茹, 魏学明, 等. 甘肃道地药材甘草商品质量研究[J]. *西部中医药*, 2012, 25(3):6-8.
- [9] 李成义, 马艳茹, 李越峰, 等. 西北地区商品甘草 HPLC 指纹图谱[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2012, 18(9):129-132.
- [10] 李成义, 李硕, 王明伟, 等. 西北地区不同产地甘草中微量元素的含量测定. [J]. *北京中医药大学学报*, 2010, 33(10):681-684.
- [11] 伍蔚萍, 阎宏涛, 孙文基. HPLC 法测定甘草中甘草苷的含量[J]. *药物分析杂志*, 2004, 24(4):425-427.
- [12] 张波, 刘会洲, 官月平, 等. 乌拉尔甘草中黄酮类化学成分的研究进展 [J]. *中成药*, 2006, 28(9):1362-1365.
- [13] 闫永红. 不同来源甘草的质量特征及评价研究[D]. 北京:北京中医药大学, 2006:36.
- [14] 严硕, 高文远. 选育甘草乌新 I 号的生理特性和基因多态性研究[J]. *中草药*. 2010, 41(1):126-129.
- [15] 覃洁萍, 王智猛, 李梦龙. 化学计量学方法在中药鉴别及质量控制方面的应用[J]. *数理医药学杂志*, 2004, 17(4):351-354.
- [16] 乔歌. 基于灰色关联度模型的动物药材质量评价模式研究[D]. 沈阳:辽宁中医药大学, 2009.
- [17] 杜刚, 刘其宁, 吴学英. DTOPSIS 法和灰色关联度法在亚麻新品种综合评价中的应用比较[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(6):1526-1531.
- [18] 黄志勇. 用关联分析法评价棉花区试品种[J]. *中国棉花*, 1995, 22(11):19-20.
- [19] 刘春芳, 罗湘宁, 李冬. 灰色关联度分析法在亚麻品种评价中的应用[J]. *中国油料*, 1997, 19(1):23-25.
- [20] 曹雯梅, 刘松涛, 路红卫. 灰色系统理论在小麦新品种综合评判中的应用[J]. *中国种业*, 2005(11):47-49.
- [21] 黄华康. 用灰色关联度法福建省水稻区试品种的分析评估[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(12):416-423.
- [22] 王桂跃. 应用灰色系统理论综合评估玉米新品种[J]. *种子*, 1998(1):25-28.
- [23] 王瑞, 蒋梁材, 张德发. 灰色系统理论在油菜新品种综合评估中的应用[J]. *绵阳经济技术高等专科学校学报*, 1999, 16(3):27-30.
- [24] 李峰, 刘春丽, 张振秋, 等. 灰色关联度分析法评价僵蚕药材质量研究[J]. *辽宁中医杂志*, 2011, 38(2):203-205.
- [25] 李少泓, 夏鹏飞, 马肖, 等. 基于灰色关联分析方法评价当归药材质量[J]. *中药材*, 2012, 35(11):1742-1746.

[责任编辑 顾雪竹]