

基于化学成分指标的烤烟产区广义灰色关联分析

耿宗泽, 李东亮, 戴亚, 唐士军

川渝中烟工业公司, 成都市锦江区成龙大道一段56号 610066

摘要: 为探讨不同烤烟产区化学成分的相似性, 为烤烟分组加工和等级替代提供理论依据, 本试验采用因子分析与广义灰色关联相结合的方法对不同烤烟产区上部叶化学成分进行了统计分析, 结果表明, 与福建邵武产区烤烟上部叶化学成分最接近的地区为云南宜良, 其次是广东南雄, 化学成分差异最大的是云南华宁; 因子分析法可以解决烤烟化学成分评价指标的多重共线性问题; 以灰色绝对关联度为依据, 结合烤烟感官质量评定可以评价不同烤烟产区化学成分的相似性。

关键词: 烤烟; 主产烟区; 化学成分; 因子分析; 广义灰色关联

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2010.03.003

中图分类号: TS411

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2010)03-0012-05

Analysis of broad sense degree of grey incidence of flue-cured tobacco-growing area based on chemical component indexes

GENG Zong-ze, LI Dong-liang, DAI Ya, TANG Shi-jun

China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation, Chengdu 610066, Sichuan, China

Abstract: Chemical components of upper leaves from different main tobacco-growing areas were analyzed by combining factor analysis and broad sense degree of grey incidence to study comparability in chemical components in different main tobacco-growing areas and to explore theory basis for flue-cured tobacco grade substitute and grouping process. Results indicated that Yiliang of Yunnan province showed highest similarity with Shaowu of Fujian province, followed by Nanxiong of Guangdong province, while Huaning of Yunnan province showed least similarity. Factor analysis method can solve multiple mutual linear problem in chemical components evaluation indexes. Chemical components comparability from different main tobacco-growing areas can be evaluated on the basis of absolute degree of grey incidence combined with sensory evaluation.

Key words: flue-cured tobacco; main tobacco-growing areas; chemical components; factor analysis; broad sense degree of grey incidence

如何有效利用烤烟化学成分指标为卷烟工业企业分组加工和等级替代服务, 一直是烟草质量评价的重要研究内容。已有研究只是简单选择化学成分指标中的糖碱比绝对值大小作为化学成分分组依据, 其他指标一般不做利用^[1-3]。灰色关联度分析应用在烟草烤烟品种综合性状评价以及烟区气候生态系统相似性评价等方面, 大多选用狭义灰色关联度作为分析指标, 很少采用广义灰色关联度分析, 也未充分考虑灰色关联分析对原始数据的约束条件^[4-7]。本文采用因子分析

和广义灰色关联分析中的绝对关联度分析相结合的综合评价方法, 对不同烤烟产区化学成分的相似性进行了分析, 旨在探索克服化学成分指标间多重共线性问题, 并利用多个化学指标对烤烟产区进行相似性综合评价的有效方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

原始数据来源于中国烟草科教网 2003 年烟叶化学成分数据库^[8], 供试烤烟品种为我国主产烟区的主栽品种 K326, 烟叶等级为 B2F, 样品数量为 14 份, 烟叶产区为我国福建邵武市、将乐县、湖南桑植县、桂阳县、湖北兴山县、宣恩县、重庆彭水、贵州湄潭县、云南宜良县、华宁县、罗平县、永德县、广东南雄县和五华县等 14 个烤烟产区, 化学成分指标为总氮、还原糖、烟碱、水溶性总糖、总植物碱、钾、氯、总挥发性酸、总挥发性

作者简介: 耿宗泽, 男, 硕士, 主要从事烟叶原料评价研究。

李东亮(通讯作者), 男, 博士, 从事烟草质量评价研究, Tel.:

028-86005602, E-mail: lidongliang163@yahoo.com.cn

基金项目: 川渝烟叶原料质量评价体系构建及工业可用性研究 (2008JY0143)

收稿日期: 2009-08-07

碱、石油醚提取物总量、蛋白质、糖碱比、氮碱比和钾氯比。

1.2 分析方法

全部试验数据处理采用因子分析法和灰色广义关联分析法^[9-16]。

2 结果与分析

2.1 各产区烤烟化学成分指标的测定结果

14个烤烟产区各化学成分指标检测结果见表1。

表1 各产区烤烟化学成分检测结果

产地	总植物碱/%	还原糖/%	氮碱比	糖碱比	钾氯比	总挥发碱/%	总挥发酸/%	水溶性总糖/%	总氮/%	蛋白质/%	石油醚提取物/%	钾/%	氯/%	烟碱/%
福建邵武	3.71	17.10	0.63	4.61	8.47	0.47	0.06	20.3	2.35	5.45	7.01	1.61	0.19	3.73
福建将乐	3.71	22.88	0.52	6.17	18.15	0.36	0.51	28.61	1.94	5.22	6.37	2.36	0.13	3.73
湖南桑植	4.76	18.22	0.42	3.83	8.36	0.47	0.10	21.83	1.98	4.47	7.90	2.09	0.25	4.71
湖南桂阳	4.09	14.02	0.48	3.43	6.41	0.40	0.10	17.56	1.96	5.04	8.13	2.05	0.32	4.08
湖北兴山	4.75	15.42	0.57	3.25	12.00	0.39	0.51	19.03	2.73	3.94	9.24	1.92	0.16	4.79
湖北宣恩	6.04	11.85	0.53	1.96	9.82	0.44	0.30	13.89	3.19	4.47	7.74	1.67	0.17	6.02
重庆彭水	4.12	24.06	0.64	5.84	15.60	0.56	0.11	25.61	2.63	6.22	6.60	1.56	0.10	4.11
贵州湄潭	3.46	24.49	0.55	7.08	3.05	0.51	0.08	25.93	1.92	5.18	7.70	1.13	0.37	3.49
云南宜良	4.16	24.55	0.79	5.90	8.06	0.15	0.47	25.37	3.3	6.02	5.01	5.08	0.63	4.18
云南华宁	4.59	23.16	0.44	5.05	1.31	0.47	0.11	27.59	2.00	4.76	5.74	1.80	1.37	4.55
云南罗平	3.95	22.26	0.60	5.64	1.86	0.16	0.48	22.59	2.38	6.59	5.80	1.23	0.66	3.97
云南永德	5.66	18.95	0.47	3.35	4.27	0.67	0.06	22.42	2.66	5.59	8.36	1.28	0.30	5.66
广东南雄	4.00	19.30	0.64	4.83	3.18	0.28	0.07	20.60	2.57	5.79	7.06	1.94	0.61	4.02
广东五华	3.35	19.50	0.55	5.82	3.76	0.43	0.03	22.60	1.84	5.29	6.25	1.69	0.45	3.35

2.2 各产区烤烟化学成分的因子分析

将各烤烟产区化学成分进行因子分析,并采用斜交旋转法对因子进行旋转,求出因子得分,然后,利用线性转换对因子得分进行转换作为新的分析变量,结果见表2,3,4。化学成分相关系数矩阵(大多数相关系数 >0.3)和KMO检验表明,烤烟产区各化学成分指标适合应用因子分析,前5个因子描述的总方差占原有变量总方差的90.48%,特征值均 >1 (分别为:5.430、3.063、1.799、1.253、1.122),说明提取5个公共因子可以对原变量的信息描述有显著作用,它们反映了原变量的大部分信息。

采用斜交旋转法对因子进行旋转,斜交旋转法比正交旋转更具有一般性,它没有因子之间是不相关的这个限制。正交旋转法牺牲了部分因子结构的简洁性,而在斜交旋转中,因为因子之间的夹角可以是任意的,所以用斜交因子描述变量会使因子结构更为简洁^[17]。由表2因子斜交旋转结果可以看出,因子1主要描述总糖、还原糖、糖碱比和石油醚提取物;因子2主要描述总植物碱、烟碱和总氮;因子3主要描述总挥发酸、总挥发碱和钾;因子4主要描述蛋白质和氮碱比;因子5主要描述钾氯比和氯。

表2 因子斜交旋转结果

指标	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
总糖	1.024	-0.021	0.011	-0.137	0.074
还原糖	0.913	-0.008	-0.042	0.189	-0.014
糖碱比	0.596	-0.489	-0.029	0.186	0.067
石油醚提取物	-0.483	0.036	-0.282	-0.269	0.314
总植物碱	-0.023	0.975	-0.050	-0.093	-0.084
烟碱	-0.032	0.973	-0.043	-0.082	-0.074
总氮	-0.121	0.698	0.222	0.616	0.098
总挥发酸	0.089	0.068	0.924	-0.239	0.265
总挥发碱	0.315	0.361	-0.863	-0.073	0.266
钾	0.157	0.134	0.744	0.074	0.026
蛋白质	0.237	-0.063	-0.300	0.881	-0.075
氮碱比	-0.090	-0.126	0.254	0.820	0.168
钾氯比	0.261	0.013	0.273	-0.098	0.946
氯	0.300	0.205	0.194	-0.219	-0.907

表3 烤烟不同产区化学成分因子得分

产区	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
福建邵武	-0.5366	-0.6075	-0.4969	0.5150	0.3642
福建将乐	1.2711	-0.7535	0.8205	-0.6303	1.3928
湖南桑植	-0.3083	0.3310	-0.5152	-1.3511	0.3152
湖南桂阳	-1.2370	-0.3788	-0.3752	-0.7133	-0.0468
湖北兴山	-1.2034	0.7476	0.6815	-0.9551	1.2851
湖北宣恩	-1.8665	2.1601	0.1798	-0.3292	0.6944
重庆彭水	0.9685	-0.0255	-0.6240	1.0457	1.2595
贵州湄潭	0.8205	-1.1899	-0.9925	-0.2242	-0.2025
云南宜良	0.9669	0.2144	2.5976	2.1467	-0.4567
云南华宁	1.2917	0.2312	-0.2195	-1.1193	-2.0466
云南罗平	0.3029	-0.6774	0.8150	1.0234	-1.2077
云南永德	-0.2052	1.6541	-1.4333	-0.2793	0.1663
广东南雄	-0.4112	-0.3947	0.0913	0.9221	-0.8824
广东五华	0.1466	-1.3109	-0.5292	-0.0511	-0.6348

表4 烤烟不同产区化学成分因子得分线性转换

产区	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
福建邵武	44.63	43.93	45.03	55.15	53.64
福建将乐	62.71	42.47	58.21	43.70	63.93
湖南桑植	46.92	53.31	44.85	36.49	53.15
湖南桂阳	37.63	46.21	46.25	42.87	49.53
湖北兴山	37.97	57.48	56.82	40.45	62.85
湖北宣恩	31.34	71.60	51.80	46.71	56.94
重庆彭水	59.69	49.75	43.76	60.46	62.60
贵州湄潭	58.21	38.10	40.08	47.76	47.98
云南宜良	59.67	52.14	75.98	71.47	45.43
云南华宁	62.92	52.31	47.81	38.81	29.53
云南罗平	53.03	43.23	58.15	60.23	37.92
云南永德	47.95	66.54	35.67	47.21	51.66
广东南雄	45.89	46.05	50.91	59.22	41.18
广东五华	51.47	36.89	44.71	49.49	43.65

2.3 各产区烤烟化学成分因子变量的广义灰色关联分析

广义灰色关联度主要包括灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度等。其中灰色绝对关联度公式 $\epsilon_{0i} = \frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_i - s_0|}$, 这里 s_0, s_i 分别为系统行为序列与系统因素序列的始点零化像, 当序列算子先进行初值像再始点零化像时, 灰色绝对关联度公式变为灰色相对关联度 $r_{0i} = \frac{1 + |s'_0| + |s'_i|}{1 + |s'_0| + |s'_i| + |s'_i - s'_0|}$; 灰色综合关联度公式 $\rho_{0i} = \theta\epsilon_{0i} + (1 - \theta)r_{0i}$, 其中 $\theta = 0.5$ 。

为便于比较, 还计算了狭义灰色关联度: $\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k))$, 这里灰色关联系数 $\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$, $\zeta = 0.5$, $x_0(k)$ 为系统行为序列, $x_i(k)$ 为系统因素序列。本文将福建邵武各因子变量作为系统行为序列, 其他

烤烟产区各因子变量作为系统因素序列(系统行为序列可以依据生产实际需要进行调整)。

依据上述关联度公式, 计算各烤烟产区化学成分因子变量的狭义灰色关联度和广义灰色关联度, 结果见表5。

表5 狭义灰色关联与广义灰色关联分析

产区	狭义灰色关联		广义灰色关联	
	灰色关联度	相对关联度	绝对关联度	综合关联度
福建邵武	-	-	-	-
福建将乐	0.7793	0.6647	0.5043	0.5845
湖南桑植	0.8452	0.7797	0.5137	0.6467
湖南桂阳	0.8391	0.8308	0.7635	0.7971
湖北兴山	0.7008	0.7180	0.6415	0.6798
湖北宣恩	0.6136	0.6244	0.5852	0.6048
重庆彭水	0.8136	0.7039	0.5064	0.6052
贵州湄潭	0.7152	0.6425	0.5036	0.5731
云南宜良	0.8213	0.9371	0.9585	0.9478
云南华宁	0.7030	0.6325	0.5031	0.5678
云南罗平	0.8227	0.7703	0.5123	0.6413
云南永德	0.7776	0.8945	0.7603	0.8274
广东南雄	0.8882	0.9870	0.9571	0.9720
广东五华	0.7764	0.6840	0.5059	0.5949

从表5可以看出, 由于关联度的计算方法不同, 由关联度大小所确定的各烤烟产区与福建邵武的关联程度也不同。灰色绝对关联度表明, 云南宜良烤烟上部叶化学成分与福建邵武烤烟上部叶化学成分最接近, 其次是广东南雄, 化学成分差异最大的是云南华宁; 狭义灰色关联度、相对关联度和综合关联度表明, 与福建邵武烤烟上部叶化学成分最接近的是广东南雄, 其次是云南宜良(相对关联度和综合关联度)和湖南桑植(狭义灰色关联度), 最远的分别是湖北宣恩(狭义灰色关联度和相对关联度)和云南华宁(绝对关联度和综合关联度)。

3 讨论

3.1 各产区烤烟化学成分狭义灰色关联度与广义灰色关联度比较

灰色关联分析是根据系统各因素间或各系统行为间的数据列或指标列的发展态势与行为作相似或相异程度的比较, 以判断因素的关联与行为的接近, 此方法对样本量的大小没有特殊要求, 分析时也不需要考虑典型分布^[12-14]。广义灰色关联以全等关联为基础, 而全等关联是指两个向量(序列)接近完全相等的程度, 其几何意义是相互重合的程度^[18], 而狭义灰色关联通过有限点与点之间的接近性来表征序列整体接近程度, 属于点关联, 在几何意义上有其局限性。从表6也可以看出, 湖南桑植依据狭义灰色关联度排在距福建

邵武烤烟上部叶化学成分接近程度的第2位,但按照绝对关联度却排在接近程度的第7位;云南宜良依据狭义灰色关联度排在距福建邵武烤烟上部叶化学成分接近程度的第5位,但按照绝对关联度却是与福建邵武烤烟上部叶化学成分最接近的。系统序列当经过特定的灰色关联算子作用后,只需考虑其绝对关联度即可^[15],而且由于烤烟化学成分相似性评价数据序列属于指标序列,一般不涉及相对于始点的变化速率问题,因此,评价不同烤烟产区化学成分的相似性时,应以灰色绝对关联度为依据,并在此基础上,结合烤烟感官质量评定进行相似程度的最后确定。

3.2 各产区烤烟化学成分灰色相对关联度与灰色绝对关联度比较

相对关联度只与序列相对于始点的变化速率有关,而与各观测值的大小无关;而绝对关联度仅仅是序列之间关联程度的度量,未考虑其他因素,所以,没有整体性问题,整体性体现了环境对灰色关联比较的影响,环境不同,关联程度就随之变化,它只与序列的几何形状有关,而与其空间相对位置无关;综合关联度既体现了折线之间的相似程度,又反映出序列相对

于始点的变化速率的接近程度,是较为全面地表征序列之间联系是否紧密的数量指标;对于长度相同且初值皆不等于零的序列,则其相对关联度与绝对关联度的值没有必然联系^[15]。从表7关联序差异也可以看出,依据相对关联度和绝对关联度确定的关联序没有一个烤烟产区是一致的。

3.3 各产区烤烟化学成分因子得分非线性转换与转换后灰色绝对关联度比较

各烤烟产区化学成分经过因子分析后得到的因子得分大多为负数,在线性转换后,变为正的序列,由表8看出,两种原始数据形式得到的灰色绝对关联度不一致,数据转换后,云南宜良烤烟上部叶化学成分是最接近福建邵武烤烟上部叶化学成分的,但不数据转换求得的绝对关联度表明,最接近福建邵武烤烟上部叶化学成分的是湖南桑植的烤烟上部叶,而经过数据转换后,湖南桑植的烤烟上部叶仅排在接近福建邵武烤烟上部叶化学成分的第7位。可见,原始数据的正负性对灰色关联分析结果影响较大,一般灰色关联分析采用正值,负值需用灰色关联算子进行转换,这种转换不会影响序列之间的正、负相关性。关联分析中,一般正相关越强,

表6 狭义灰色关联度与绝对关联度比较

关联序	狭义灰色关联度	产区排序	绝对关联度	产区排序	关联序差异
1	0.8882	广东南雄	0.9585	云南宜良	1→2
2	0.8452	湖南桑植	0.9571	广东南雄	2→7
3	0.8391	湖南桂阳	0.7635	湖南桂阳	-
4	0.8227	云南罗平	0.7603	云南永德	4→8
5	0.8213	云南宜良	0.6415	湖北兴山	5→1
6	0.8136	重庆彭水	0.5852	湖北宣恩	6→9
7	0.7793	福建将乐	0.5137	湖南桑植	7→11
8	0.7776	云南永德	0.5123	云南罗平	8→4
9	0.7764	广东五华	0.5064	重庆彭水	9→10
10	0.7152	贵州湄潭	0.5059	广东五华	10→12
11	0.7030	云南华宁	0.5043	福建将乐	11→13
12	0.7008	湖北兴山	0.5036	贵州湄潭	12→5
13	0.6136	湖北宣恩	0.5031	云南华宁	13→6

表7 相对关联度与绝对关联度比较

关联序	相对关联度	产区排序	绝对关联度	产区排序	关联序差异
1	0.9870	广东南雄	0.9585	云南宜良	1→2
2	0.9371	云南宜良	0.9571	广东南雄	2→1
3	0.8945	云南永德	0.7635	湖南桂阳	3→4
4	0.8308	湖南桂阳	0.7603	云南永德	4→3
5	0.7797	湖南桑植	0.6415	湖北兴山	5→7
6	0.7703	云南罗平	0.5852	湖北宣恩	6→8
7	0.7180	湖北兴山	0.5137	湖南桑植	7→5
8	0.7039	重庆彭水	0.5123	云南罗平	8→9
9	0.6840	广东五华	0.5064	重庆彭水	9→10
10	0.6647	福建将乐	0.5059	广东五华	10→11
11	0.6425	贵州湄潭	0.5043	福建将乐	11→12
12	0.6325	云南华宁	0.5036	贵州湄潭	12→13
13	0.6244	湖北宣恩	0.5031	云南华宁	13→6

表8 数据线性转换与未转换绝对灰色绝对关联度比较

关联序	数据转换		数据未转换		关联序差异
	绝对关联度	产区排序	绝对关联度	产区排序	
1	0.9585	云南宜良	0.9891	湖南桑植	1→2
2	0.9571	广东南雄	0.9844	云南宜良	2→4
3	0.7635	湖南桂阳	0.9413	云南永德	3→5
4	0.7603	云南永德	0.9225	广东南雄	4→3
5	0.6415	湖北兴山	0.7405	湖南桂阳	5→6
6	0.5852	湖北宣恩	0.6351	湖北兴山	6→7
7	0.5137	湖南桑植	0.6187	湖北宣恩	7→1
8	0.5123	云南罗平	0.5926	云南罗平	-
9	0.5064	重庆彭水	0.5804	广东五华	9→11
10	0.5059	广东五华	0.5503	贵州湄潭	10→9
11	0.5043	福建将乐	0.5431	重庆彭水	11→12
12	0.5036	贵州湄潭	0.5410	福建将乐	12→10
13	0.5031	云南华宁	0.5337	云南华宁	-

关联度越大,负相关越强,关联度越小,认为两种因素间关联度越大关系越密切,只是反映了正相关的情况^[19]。正、负相关与关联度大小的关系对于评价烤烟产区上部叶化学成分的接近程度来说没有影响,因为关联度越大,两烤烟产区化学成分越接近;关联度越小,负相关越强,也说明两烤烟产区化学成分差异越大。

4 小结

因子分析法可以解决烤烟化学成分评价指标的多重共线性问题,对于不同烤烟产区化学成分相似性的综合评价问题,广义灰色关联分析法(全等关联)要优于狭义灰色关联分析法(点关联),灰色绝对关联要优于灰色相对关联。正、负相关与关联度大小的关系对于评价烤烟产区化学成分的接近程度来说没有影响,但负的原始数据需进行转换。

灰色绝对关联分析结果表明,与福建邵武产区烤烟上部叶化学成分最接近的地区为云南宜良,其次是广东南雄,化学成分差异最大的是云南华宁。以灰色绝对关联度为依据,结合烤烟感官质量评定可以对不同烤烟产区化学成分的相似性做出综合评价。依据关联序的次序进行感官质量评吸,可以缩小评吸范围并减少感官评吸工作量,增加感官评吸的针对性,有助于增加等级替代、分组加工的合理性。

参考文献

- [1] 于录,阮晓明,卢在雨,等.叶组配方分组加工模块设计[J].烟草科技,2006(7): 11-13.
- [2] 刘建福,尹宾,陈刚,等.卷烟的分组加工[J].烟草科技,2006(11): 5-9.
- [3] 武怡,曾晓鹰,番绍军,等.卷烟叶组配方分组研究[J].烟草科技,2005(11): 3-6.
- [4] 殷凤生,林国平,唐经祥,等.用灰色关联度分析烤烟主要

农艺性状间的相关性及其对经济指标的影响[J].烟草科技,2001(1): 38-40.

- [5] 卢秀萍,许美玲. 10个引进烤烟品种和灰色关联度分析[J].热带农业科学,1999(1): 36-43.
- [6] 谢小丹,陈顺辉,巫升鑫,等.烤烟新品种的模糊综合评判和灰色关联度分析[J].福建农林大学学报(自然科学版),2002,31(2): 160-163.
- [7] 董中强,张永民,段雪梅,等.河南烟区与云南优质烟区气候生态系统的灰色关联分析[J].河南气象,2000(2): 21-22.
- [8] 烟叶主要化学成分分析数据库[EB/OL]. <http://sjk.ztri.com.cn:8080/yyef/fx.htm>.
- [9] 傅立.灰色系统理论及其应用[M].北京:中国科学技术文献出版社,1992.
- [10] 雷铁栓,郭瑞林,王新海,等.灰色系统理论在农业上的应用[M].郑州:河南科学技术出版社,1996.
- [11] 刘思峰,史开泉.灰色系统学术论文集[M].郑州:河南大学出版社,1993.
- [12] 刘思峰,郭天榜.灰色系统理论及其应用[M].郑州:河南大学出版社,1991.
- [13] 张歧山,高相斌,姜元章,等.应用灰色方法的误区[J].大庆石油学院院报,1995,19(3): 108-110.
- [14] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [15] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [16] 余建英,何旭宏.数据统计分析与SPSS应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.
- [17] 郭志刚.社会统计分析方法-SPSS软件应用[M].北京:中国人民大学出版社,1999.
- [18] 王旭升,葛龙进.广义关联分析-兼论灰色关联的本质[J].系统工程理论与实践,1999(12): 90-95.
- [19] 庄恒扬.灰色系统关联分析统计检验方法[J].农业系统科学与综合研究,1996,12(3): 168-171.