

不同产地红富士苹果品质的灰色关联度分析

王 轩, 毕金峰*, 刘 璇, 吕 健, 杨爱金

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘 要: 应用灰色关联度分析法, 对来自全国9个不同产地的红富士苹果的8个品质指标进行了综合评价。结果表明: 与等权关联度排序相比, 加权关联度的排序更接近果实品质的实际情况; 构造“理想品种”与赋予不同品质性状不同的权重是灰色关联分析的关键环节。新疆、甘肃、辽宁红富士苹果品质较优, 陕西、山东、河南居中, 河北、山西、江苏次之。

关键词: 红富士; 品质评价; 灰色关联度

Application of Grey Correlation Analysis for Evaluating the Overall Quality of Fuji Apples from Different Growing Areas

WANG Xuan, BI Jin-feng*, LIU Xuan, LÜ Jian, YANG Ai-jin

(Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: This study aims to apply grey correlation analysis for mathematical modeling of the overall quality of Fuji apples from 9 different growing areas in China as a function of 8 quality parameters. Our results in this study suggested that weighted relevance values were more accurate than equal-weighted relevance values in the assessment of applied quality and that developing the reference variety and providing different quality traits with weighting values were the critical steps in the grey correlation analysis. On the basis of our results, Fuji apples from Xinjiang, Gansu and Liaoning revealed excellent quality, followed by those from Shaanxi, Shandong and Henan, and those from Hebei, Shanxi and Jiangsu were poor.

Key words: Fuji apple; quality evaluation; grey relevance degree

中图分类号: F407.82

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)23-0088-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201323019

富士苹果现是日本和我国等国家苹果栽培面积最大的品种。果形扁圆形或短圆形, 顶端微显果棱。果体积中型和大型, 单果质量170~220g。成熟时底色近淡黄色, 片状或条纹状着鲜红色。果肉淡黄色, 细脆汁多, 风味浓甜或略带酸味, 具有芳香, 品质极上^[1]。

目前关于红富士苹果品质评价的研究多集中于和其他品种的比较上^[2-6], 而关于产地间的品质评价报道不多。果实品质的综合评价是果品优选的重要环节, 当前关于果品品质综合评价的方法主要有聚类分析法^[7]、主成分分析法^[8]、合理满意度和多维价值理论方法^[9]、模糊矩阵法^[10], 但这些方法单一的使用在果品上, 都不能全面的分析果实的各方面品质。

自20世纪80年代以来, 灰色关联分析法在作物新品种的评价上取得了良好效果^[11-14]。灰色关联度分析法是一

种针对灰色系统来决定因素主次及其关联程度的评价方法^[15]。目前在果品品质的综合评价上也得到了广泛应用^[16-19]。本研究采用灰色关联度分析法, 对不同产地红富士苹果的果实品质进行综合评估, 旨在为红富士苹果的选育及品质评价研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

红富士苹果采自于全国9个富士主产地, 分别为新疆阿克苏市(80°29'E, 41°15'N)、山东栖霞市(120°83'E, 37°8'N)、河南灵宝市(110°85'E, 34°52'N)、陕西洛川县(109°42'E, 35°76'N)、河北衡水市(115°72'E, 37°71'N)、山西太谷县(122°53'E, 37°42'N)、辽宁营口

收稿日期: 2012-08-05

基金项目: 2009年国家公益性行业(农业)科研专项(200903043); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B03);

“十二五”农村领域国家科技计划项目(2012BAD31B06)

作者简介: 王轩(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为果蔬干燥加工技术及品质评价。E-mail: wangxuan19870902@163.com

*通信作者: 毕金峰(1970—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为果蔬精深加工与综合利用技术。E-mail: bijinfeng2010@163.com

(122°13'E, 40°39'N)、江苏丰县(116°57'E, 34°79'N)、甘肃静宁县(105°73'E, 35°51'N)。

10月20日开始采收, 30日采收结束, 实验品种均为长富2号, 成熟度均为九成熟, 果园栽培管理水平较一致, 在每个产地果园选择树龄均为15a且具有代表性的10棵果树, 在每棵树南侧上中下3个部位取大小外观一致的苹果, 每个产地各取100个, 采回后立即放入冷库统一贮藏, 贮藏条件为4℃, 采用塑料泡沫包装, 指标测定与感官评价于2011年11月进行。

1.2 仪器与设备

Volsan Profiler VSP 3000045食品体积自动测定仪、TA-XT2i质构仪 英国Stable Micro System公司; D25LT可见光光度计 美国Hunterlab公司; HH.SY11-Ni4电热恒温水浴锅 北京精科华瑞仪器有限公司; Kieltec Analysister凯氏定氮仪 瑞典Foss公司; CPA-1245万分之一电子天平 德国Sartorius公司; MASTER-α NO.2311折光仪 日本Atago公司; HS-G120果汁榨汁机 上海双碟厨具有限公司。

1.3 方法

1.3.1 指标测定

9个产地的红富士苹果品质指标测定于中国农业科学院农产品加工研究所果蔬加工与质量控制实验室进行。

单果体积采用英国Stable Micro System Volsan Profiler食品体积自动测定仪测定。

果皮、果肉颜色采用美国HunterLab-D25LT色差计测定L、a、b值, 分别将果皮、果肉置于测量容器内, 以完全遮盖透光孔为标准, 铺盖底层有机玻璃板, 盖上黑色容器盖, 使白色标线对准测定指示点开始读取数据, 分别读3次。

淀粉含量参照GB/T 20378—2006《原淀粉 淀粉含量的测定 旋光法》; 可滴定酸参照GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》; 可溶性固形物含量参照GB/T 12295—1990《水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定》; 蛋白质参考GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》。

果实硬度采用英国Stable Micro System Ta.XT2i/50型质构分析仪测定, 选取9个具有代表性的苹果, 在果实阴阳面和两侧面4个位置进行测定, 9个苹果的平均值即为该果实的果实硬度。

出汁率的计算方法为果汁质量/鲜果质量; 固酸比的计算方法为可溶性固形物/可滴定酸。

1.3.2 感官评分

在所内选择20位专业人员组成感官评价小组, 本研究参考《苹果种植资源描述规范和数据标准》确定各感官品

质的描述词以及不同的描述词对应的感官分值。从果体积大小、果面颜色、果肉质地、风味、汁液、香气6个方面进行感官评价, 评分标准见表1, 感官评分公式为 $Y = \text{果体积大小} + \text{果面颜色} + \text{果肉质地} + \text{风味} + \text{汁液} + \text{香气}$ 。

表1 感官评分表
Table 1 Sensory evaluation ratings

果体积	分值	果面颜色	分值	果肉质地	分值	风味	分值	汁液	分值	香气	分值
特大	2	鲜红	3	硬脆	3	酸甜适度	4	多	2	浓	1
大	1.5	粉红	3	松脆	2.5	酸甜	4	中	1	淡	0.5
中	1	浓红	3	硬	2	甜酸	3.5	少	0	无	0
小	0.5	75%红	2.5	疏松	1.5	甘甜	3				
特小	0	50%红	2	绵软	1.5	甜	2.5				
		25%红	1.5	松软	1	淡甜	2				
		绿色	1			酸	1.5				
		绿色果锈	0.5			微酸	1				

1.4 统计分析

用于统计分析的数据为2011年11月收集的平均值, 对所有数据采用Excel 2010和SPSS12.0软件进行处理。苹果品质评价指标的权重赋予运用层次分析法中的判断矩阵与一致性检验^[20]。

苹果品质的综合评价参考晏孝皋^[21]的灰色关联分析法, 把9个参试品种作为一个灰色系统, 每一个品种即是系统中的一个因素, 根据曲线几何形状的相似程度来判断关联度。参考优质品质果实及相关文献和专家意见, 通过设定所筛选出的指标数值来构建一个“理想品种”, 设“理想品种”各项指标构成的数列为参考数列 X_0 , 供试品种各项品质指标构成的数列 $X_i(i=1, 2, \dots, n, n$ 为供试品种数目), 由下列公式计算各参试品种与“理想品种”的关联度。

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \zeta_i(k) (r_i \text{ 为等权关联度}) \quad (2)$$

$$r_i^* = \sum_{k=1}^N w_k \zeta_i(k) \quad (3)$$

式中: $\zeta_i(k)$ 为关联系数, ρ 为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$, 一般取0.5; $\Delta_i(k) = |X_i(k) - X_0(k)|$, 表示 X_i 数列与 X_0 数列在 k 点的绝对差值, 其中 $\min \Delta_i(k)$ 和 $\max \Delta_i(k)$ 称为一级最小差值和一级最大差值, 表示找 X_i 数列与 X_0 数列对应点的差值中的最小值和最大值; $\min_i \min_k \Delta_i(k)$ 和 $\max_i \max_k \Delta_i(k)$ 称为二级最小差值和二级最大差值, 表示在第1级最小差和最大差的基础上再找出其中的最小差和最大差; r_i 为被比较数列 X_i 对参考数列 X_0 的等权关联度; r_i^* 为被比较数列 X_i 对参考数列 X_0 的加权关联度; w_k 表示各性状的权重系数。

2 结果与分析

2.1 苹果果实性状及感官评分

表2 不同产地红富士苹果性状及感官评分
Table 2 Characteristics and sensory evaluation scores of red Fuji apples from different growing regions

Y	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	感官评分
1	318.22	13.40	0.35	0.47	57.52	48.11	273.71	0.30	2.11
2	227.22	14.10	0.09	0.65	73.47	64.71	252.86	0.46	1.63
3	240.33	11.10	0.17	0.59	64.13	76.05	273.05	0.37	1.85
4	319.33	17.23	0.06	0.66	68.46	48.39	248.93	0.27	1.69
5	224.67	13.37	0.13	0.74	62.49	52.31	275.93	0.31	1.76
6	275.67	9.89	-0.20	0.99	67.22	55.26	247.04	0.38	1.87
7	289.44	12.97	0.29	0.48	59.93	42.96	247.04	0.45	1.82
8	305.56	10.83	0.25	0.99	67.25	49.17	226.14	0.35	1.58
9	288.22	16.45	-0.11	0.43	62.55	38.33	269.13	0.56	1.95

注: C1~C8. 单果体积(mL)、果皮颜色b值、果肉颜色a值、淀粉含量(%), 出汁率(%), 固酸比、果实硬度(g)、蛋白质含量(g/100g); Y1~Y9. 产地编号分别表示新疆、山西、陕西、河北、河南、甘肃、山东、江苏、辽宁。下同。

2.2 评价指标的权重赋予——判断矩阵和一致性检验

参考仁果类品质因子权重^[22]和园艺专家意见对影响苹果果实品质各因素之间重要性的定性评价, 运用1~9比例标度法建立判断矩阵(表3), 根据判断矩阵计算各指标权重 w_i 。检验判断矩阵一致性, 综合一致指标 $CI=(\lambda_{\max}-8)/(8-1)=0.046$, 查随机一致性标准值 $n=8$ 时高阶平均随机一致性指标 $RI=1.41$, 相容比 $CR=CI/RI=0.031$, $CR<0.1$ 说明判断矩阵具有满意的一致性。

表3 判断矩阵0-C及一致性检验
Table 3 Judgment matrix 0-C and consistency test

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	w_i
C1	1	1/2	1/2	1/2	2	1/2	1/2	1	0.08
C2	2	1	1	1	5	1	1	3	0.16
C3	2	1	1	1	5	1	1	3	0.16
C4	2	1	1	1	4	1	1/4	1	0.16
C5	1/2	1/5	1/5	1/4	1	1/4	1/4	1	0.04
C6	2	1	1	1	4	1	1	2	0.16
C7	2	1	1	4	4	1	1	2	0.16
C8	1	1/3	1/3	1	1	1/2	1/2	1	0.08

$\lambda_{\max}=8.304$ $CI=0.043$ $RI=1.41$ $CR=0.031<0.1$

2.3 “理想品种”构造

表4 供试品种与“理想品种”主要性状指标平均值
Table 4 The average index of 8 major characteristics of apples from the reference and tested varieties tested varieties and ideal species

Y	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	320.00	12.00	-0.20	0.40	58.00	55.00	273.71	0.56
1	318.22	13.40	0.35	0.47	57.52	48.11	273.71	0.30
2	227.22	14.10	0.09	0.65	73.47	64.71	252.86	0.46
3	240.33	11.10	0.17	0.59	64.13	76.05	273.05	0.37
4	319.33	17.23	0.06	0.66	68.46	48.39	248.93	0.27
5	224.67	13.37	0.13	0.74	62.49	52.31	275.93	0.31
6	275.67	9.89	-0.20	0.99	67.22	55.26	247.04	0.38
7	289.44	12.97	0.29	0.48	59.93	42.96	247.04	0.45
8	305.56	10.83	0.25	0.99	67.25	49.17	226.14	0.35
9	288.22	16.45	-0.11	0.43	62.55	38.33	269.13	0.56

供试品种和理想品种主要性状指标的平均值见表4, 其中理想品种 Y_0 的8个品质指标值根据实际情况、GB 10651—2008《鲜苹果》指标要求及园艺专家意见制定。

2.4 无量纲化处理

将表数据进行纲化处理, 为消除不同量纲和数量级对品质评价的影响, 对8个品质指标进行初始化, 初始化方法为各品质指标值与理想值间距离的绝对值, 如式(4)所示。

$$x'_i = \left| 1 - \frac{x_i}{x_0} \right| \quad (4)$$

式中: x'_i 为各指标的初始化值; x_i 为各指标实测值; x_0 为理想指标值。

品质指标经过初始化后的规律为: 原始指标值越接近理想值, 其初始化后值越小, 其中 $x'_i \geq 0$ 。经过初始化的各品质指标值范围为 $x'_i \geq 0$, 原始指标值越接近理想值, 其初始化后值越小, 为方便综合评价需要对其正向化处理, 同时为避免不同数量级对综合评价的影响, 需要对其进行归一化。正向化和归一化方法为式(5)所示。

$$x_i = 1 - \frac{x'_i}{x'_{i\max}} \quad (5)$$

式中: x_i 为各指标标准化后结果; x'_i 为各指标的初始化值; $x'_{i\max}$ 为各指标初始化值的最大值。

品质指标正向化和归一化后的规律为: 原始指标值从正负两个方向越接近理想值其正向化和归一化后越接近1, 其中 $0 \leq x_i \leq 1$ 。量纲化后处理结果见表5。

表5 无量纲化处理结果
Table 5 Dimensionless processing results

Y	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.9813	0.7323	0	0.8898	0.9689	0.6727	0.5617	0.1017
2	0.0267	0.5985	0.4782	0.5847	0	0.5387	0.9861	0.6441
3	0.1643	0.8279	0.3273	0.6779	0.6037	0	0.4791	0.3389
4	0.9929	0	0.5218	0.5593	0.3239	0.6859	0.9533	0
5	0	0.7381	0.4000	0.4322	0.7098	0.8722	0.4394	0.1356
6	0.5349	0.5966	1	0	0.404	0.9876	0.4394	0.3729
7	0.6794	0.8145	0.1091	0.8729	0.8752	0.4280	0	0.6102
8	0.8485	0.7763	0.1818	0	0.4021	0.7230	0.9037	0.2712
9	0.6666	0.1491	0.8364	0.9576	0.7059	0.2081	1	0.9831

2.5 求关联系数

首先求出 $Y_0 \sim Y_9$ 各对应点的绝对差值: 即计算 $\Delta Y(k) = |Y_0(k) - Y_i(k)|$ ($i=1, 2, \dots, 9; k=1, 2, \dots, 9$), 然后求出两个层次差, 结果列于表5。看出二级最小差 $\min_j \Delta_i(k)=0$, 二级最大差 $\max_j \Delta_i(k)=1$, 则关联系数 $\zeta_i(k)=0.5/(\Delta_i(k)+0.5)$ 将表中个数列相应的 $\Delta_i(k)$ 数值代入上式, 即可求出 Y_0 对各 Y_i 各性状的关联系数 $\zeta_i(k)$, 结果见表6。

表6 各指标的两极差值
Table 6 Difference among indexes

Y	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
0	1	1	1	1	1	1	1	1
Δ_1	0.9813	0.7323	0	0.8898	0	0.6727	0	0.1017
Δ_2	0.0267	0.5985	0.4782	0.5847	0.3557	0.5387	0.4383	0.6441
Δ_3	0.1643	0.8279	0.3273	0.6779	0.6814	0	0.01387	0.3389
Δ_4	0.9929	0	0.5218	0.5593	0.8722	0.6859	0.5209	0
Δ_5	0	0.7381	0.4	0.4322	0.5124	0.8722	0.04667	0.1356
Δ_6	0.5349	0.5966	1	0	1	0.9876	0.5606	0.3729
Δ_7	0.6794	0.8145	0.1091	0.8729	0.2486	0.4280	0.5606	0.6102
Δ_8	0.8485	0.7763	0.1818	0	0.9969	0.7230	1	0.2712
Δ_9	0.6666	0.1491	0.8364	0.9576	0.5186	0.2081	0.0963	0.9831

2.6 关联分析

利用表中关联系数值 $\zeta_i(k)$ 与公式(2)和(3)分别计算不同产地红富士苹果品质的等权关联度 r_i 和加权关联度 r_i^* 。按关联分析原则,关联度大的数列与参考数列最为接近,即该品种越接近“理想品种”,关联度排序结果见表7,感官评价排序见表8。其中,新疆红富士苹果与“理想品种”最为接近($r_1^*=0.6887$),综合品质最好,其次是辽宁红富士苹果($r_9^*=0.6739$),江苏红富士苹果的关联度与“理想品种”相差最大($r_8^*=0.4930$),综合品质最差,其余产地红富士苹果综合品质居中。

由加权关联度和等权关联度得出的排序基本一致,两种关联度排序的秩相关系数达 $r_{(1,2)}=0.8830^{**}$,二者的排序部分优选产地略有出入,主要是由于各品质指标的重要程度不同所致。

表7 供试品种与“理想品种”的关联系数

ζ_i	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	r_i	r_i^*
ζ_1	0.964	0.6513	0.3333	0.8194	0.9416	0.6044	1	0.3576	0.7089	0.6887
ζ_2	0.3394	0.5546	0.4893	0.54623	0.3333	0.5201	0.5329	0.5842	0.4875	0.5101
ζ_3	0.3743	0.7439	0.4263	0.6082	0.5579	0.3333	0.9730	0.4307	0.5559	0.5803
ζ_4	0.9861	0.3333	0.5112	0.5315	0.4251	0.6142	0.4898	0.3333	0.5281	0.5194
ζ_5	0.3333	0.6562	0.4545	0.4683	0.6327	0.7964	0.9146	0.3665	0.5778	0.6077
ζ_6	0.5181	0.5534	1	0.3333	0.4562	0.9759	0.4714	0.4436	0.5940	0.6286
ζ_7	0.6093	0.7294	0.3595	0.7973	0.8003	0.4664	0.4714	0.5619	0.5994	0.5776
ζ_8	0.7675	0.6909	0.3793	0.3333	0.4554	0.6435	0.3333	0.4069	0.5013	0.4930
ζ_9	0.5999	0.3701	0.7535	0.9219	0.6296	0.3870	0.8385	0.9672	0.6835	0.6739
ω_i	0.0800	0.1600	0.1600	0.1600	0.0400	0.1600	0.1600	0.0800		

表8 关联度排序

Table 8 Ranking by grey relevance degree

关联度	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9
等权关联度(1)	1	2	4	6	3	5	7	9	8
加权关联度(2)	1	2	3	5	6	4	7	8	9
感官评价(3)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
秩相关系数	$r_{(1,2)}=0.8830^{**}$ $r_{(1,3)}=0.9000^{**}$ $r_{(2,3)}=0.9500^{**}$								

3 结论

3.1 应用灰色关联分析法得出的结论与感官评价的结果基本一致

对不同产地红富士苹果品质进行灰色关联度分析,综合品质表现优异的是新疆、辽宁、甘肃红富士苹果,河北、山西、江苏红富士苹果综合品质相对较差,这

一结论与感官评价结果基本一致,二者秩相关系数达 $r_{(2,3)}=0.9500^{**}(P<0.05)$ 。

3.2 灰色关联分析法用于果实综合品质评价简便易行、结论明确

本研究发现等权关联度与加权关联度排序、加权关联度与感官评价排序、等权关联度与感官评价排序的秩相关系数均达到显著相关,由此可见,灰色关联分析不仅具有可靠的统计学基础,而且充分利用了果实品质各性状全部信息,并通过构造“理想品种”,既体现了品质级优选目标的要求,又从现有红富士苹果的实际情况出发,因而排序更客观、合理。另外,加权关联度与感官评价排序的秩相关系数比等权关联度与感官评价排序的秩相关系数大,说明用加权关联度比用等权关联度能获得更合理的苹果品质评价结果。

3.3 赋予权重是品质综合评价的关键环节

使用加权关联度对果品品质进行综合评价时,权重赋予是非常重要的环节。以往的研究报道中,品质指标权重的赋予多由主观经验确定,本研究在主观经验的基础上使用层次分析法,通过创建判断矩阵,对各品质指标进行两两比较综合确定不同指标的权重值,较以往的权重赋予更为合理。

参考文献:

- [1] 张玉星. 果树栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 魏钦平, 程述汉, 唐芳, 等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 289-292.
- [3] 徐吉花, 赵郑阳, 王雷存, 等. 苹果果实品质评价因子的选择[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 269-274.
- [4] 魏钦平, 程述汉, 丁殿东. 苹果品质评价因素的选择[J]. 中国果树, 1997(4): 14-15.
- [5] 董月菊, 张玉刚, 梁美霞. 苹果果实品质主要评价指标的选择[J]. 华北农业学报, 2011, 26(增刊1): 74-79.
- [6] 梁俊, 郭燕, 刘玉莲. 不同品种苹果果实中糖酸组成与含量分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2011, 39(10): 163-170.
- [7] 聂继云, 张红军, 马智勇, 等. 聚类分析在我国果树研究中的应用及问题分析[J]. 果树科学, 2000(2): 128-130.
- [8] BAO J F, XIA R X, DENG X X, et al. The quality evaluation factors selection of newhall, orange by the principal component analysis[J]. Journal of Huazhong Agricultural, 2004, 23(6): 89-95.
- [9] 张海英, 韩涛, 王有年, 等. 桃果实品质评价因子的选择[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 235-239.
- [10] 汤卫东, 刘杰明, 陈吉红. 苹果品质的模糊综合评价[J]. 食品与药品, 2005, 7(9): 60-63.
- [11] 刘录祥, 孙其信, 王士芸. 灰色系统理论应用于作物品种综合评估初探[J]. 中国农业科学, 1989, 22(3): 22-27.
- [12] 张传珂. 灰色系统理论在甜瓜品种综合评估中的应用[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(7): 1214-1311.
- [13] 李艳艳, 丰震, 赵兰勇, 等. 玫瑰花产量灰色分析Kriging插值及选择指数研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1429-1435.
- [14] 黄振瑞, 潘方胤, 陈月桂, 等. 用灰色关联法对11个蔗新品系主要数量性状V状与产量关联度的分析[J]. 中国农学通报, 2007(12): 198-201.
- [15] LI X Y, WANG W. Estimation of apple storage quality properties with mechanical property based on grey system theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005(2): 80-86.
- [16] 弓成林, 郭爱民, 汪小伟, 等. 灰色关联度和层次分析法在葡萄品质评价上的应用[J]. 西南农业学报, 2002, 15(1): 79-82.
- [17] 陈永芳, 弓成林, 程昌凤. 18个桔类品种果实品质的灰色关联分析[J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(2): 157-159.
- [18] 张传珂. 灰色系统理论在甜瓜品种综合评估中的应用[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(7): 1214-1311.
- [19] 王轩, 毕金峰, 刘璇, 等. 不同产地苹果脆片品质的灰色关联度分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 51-54.
- [20] 刘遵春, 包东娥, 廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 38(8): 125-128.
- [21] 晏孝崇. 灰色关联法评价果蔬品质及其数据处理程序[J]. 四川轻工业学院学报, 1998, 3(4): 71-74.
- [22] 姚允聪, 齐小明, 郭平, 等. 仁果类核果类果树品质质量模糊综合评价研究[J]. 北京农学院学报, 1990, 5(2): 26-36.