果 树 学 报 2018，35（7）：889-897
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20180008

冰糖橙果实品质综合评价量化模型的建立及应用

唐 帅[1]，易自力[1]，李 娜[2,3]，谢一顾[2]，邓子牛[2,3]，李大志[2,3*]

（[1]湖南农业大学生物科学技术学院，长沙 410128；[2]湖南农业大学园艺园林学院，长沙 410128；[3]湖南农业大学国家柑橘改良中心长沙分中心，长沙 410128）

摘 要：【目的】通过对湖南省柑橘各主产区冰糖橙及其优系连续3 a（年）的果实品质跟踪，建立果实品质综合评价的量化模型——标准化值加权法。**【方法】**该量化模型包括4个步骤：1、品质指标的趋向性调整；2、调整后的指标进行标准化值处理；3、根据各指标在专业上的重要性赋予权重；4、各指标标准化值与权重相乘后累积加分，得到果实品质的总分，进行排名。**【结果】**建立了标准化值加权法的量化模型。该模型能够客观准确对来自不同产地的30个冰糖橙品系进行品质排名，而非模糊判断；从产地来看，永兴县冰糖橙的品质整体为优；区域试验证明，冰糖橙优系‘农大2号’品质较‘农大1号’为优；麻阳纯甜系冰糖橙是可以大力推广的冰糖橙优良品系。**【结论】**该量化模型能够对冰糖橙果实品质进行准确的综合评价。从专业角度微调后，该量化模型亦适用于其他果树品种果实品质的综合评判，可以辅助育种。

关键词：冰糖橙；量化模型；标准化值加权法；综合评价

中图分类号：S666.4 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9980（2018）07-0889-09

A quantitative model for the comprehensive evaluation of the fruit quality of the Bingtang sweet orange

TANG Shuai[1], YI Zili[1], LI Na[2,3], XIE Yigu[2], DENG Ziniu[2,3], LI Dazhi[2,3*]

([1]College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; [2]College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; [3]National Center of Citrus Improvement, Changsha Subcenter, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract:【Objective】In order to ensure that the results of citrus fruit quality analysis can be compared directly and accurately, we selected the Bingtang sweet orange for this study. The standardized value weighting method for a comprehensive evaluation of citrus quality, which is a standardized value weighting method, is implemented for 3 consecutive years by tracking the quality of the Bingtang sweet orange and its fine series product from the major producing areas in Hunan province. The primary intent of this research is to transform the indicators of different units into standardized values, which feature retaining the order of the original observed values and erasing the indicator units and turning them into pure numeric values.【Methods】This research collects 30 samples of Bingtang sweet oranges and their fine series products from different producing areas in Hunan province for 3 consecutive years with each sample containing 30 fruits. 5 fruits are selected randomly in each test to be measured and the process is repeated 3 times. The indicators of the fruits being measured include soluble solid content, titrable acid content, ratio of soluble solid content to titrable acid content, vitamin C content, single fruit mass, length of the fruit, thickness of the pericarp, edible rate and juice yield and the average of these indicators is also determined. The quantitative model utilized in this research includes 4 steps. The first step is the trend adjustment of the quality indicator. There are three types of trend indicators, which are the trend indicator for higher value, medium value and lower value respectively while the latter two

收稿日期：2018-01-17 接受日期：2018-04-11

基金项目：国家现代农业柑橘产业技术体系（CARS-26）

作者简介：唐帅，男，在读硕士研究生，研究方向为植物遗传学。Tel：14789933518，E-mail：416948350@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel：18973147749，E-mail：ldazhi@163.com

need to be adjusted according to their relevant formulas. The second step is to standardize the adjusted indicators, which will transform the observed value of the indicator into a pure numeric value. The third step is to give weight to all the indicators based on their professional importance and the distribution of weight is calculated through an expert's assessment. The quality indicator for the fruits of the Bingtang sweet orange totals 100 points, while the appearance indicator accounts for 30 points, among which the weight of a single fruit is 10 points, the fruit shape indicator is 10 points and the thickness of the fruit is 10 points. The quality indicator accounts for 70 points, among which the soluble solids are 15 points, the titrable acid is 10 points, the soluble solids to acidity ratio is 15 points, the vitamin c is 10 points, the edible rate is 10 points and the juice yield is 10 points. The fourth step is to add the points in an accumulative way after multiplying the standardized values of all indicators and weights for determining the total points of the fruit quality and then ranking the grades.【Results】The following results are achieved by establishing the quantitative model of the standardized value weighting. First, this model is able to conduct comprehensive ranking for the quality of 30 Bingtang sweet oranges from different origins in an accurate way, which also matches the reality and can fully compare the fruit quality in a visualized way instead of offering a blurry judgment. Second, in terms of origins, 2 of the top 3 selected samples are from Yongxing while 7 of the top 15 are also from Yongxing. This shows that the quality of the Bingtang sweet orange from the Yongxing district of Hunan province is better than those from other areas. Third, in terms of the regional experience of 'Nongda 1' and 'Nongda 2' of the fine series of Bingtang sweet oranges, the comprehensive grades of 'Nongda 2' are better than those of 'Nongda 1' whether in Hongjiang, Mayan or Jishou. So this demonstrates that the fruit quality of 'Nongda 2' is better than 'Nongda 1.' Fourth, the 'Chuntian Bingtang sweet orange' found in Mayang is in stable condition and the comprehensive grades of three consecutive generations from the maternal line to the subsystems all rank at the top. So this establishes the fact that Mayang's Chuntian Bingtang sweet orange and its offsprings are a fine breed.【Conclusion】This research processes the data from analyzing fruit quality through standardized value weighting and transforms the indicators of different units into pure numeric values so as to directly add the evaluated values of the same breed but with different indicators. Therefore, a comprehensive evaluated grade is determined, which can reflect fruit quality in a visualized way. The standardized value weighting established in this research is able to offer a comprehensive evaluation of the fruit quality in a scientific and objective way, which also offers a reliable new method for the comprehensive evaluation of fruit quality in the future.

Key words: Bingtang sweet orange; Quantitative model; Standardized value weighting method; Comprehensive evaluation

柑橘是世界第一大水果[1]，主要有柑、橘、橙、柚等。柑橘种质创新和品种改良是产业持续发展的基础[2]，柑橘果实品质分析是良种选育的重要环节，根据品质分析的结果客观、准确地进行综合评价始终是一个难题，主要的原因在于组成果实品质的指标较多，各个指标单位不同，而且数值差异大，因此建立一个能够量化的数学模型进行柑橘果实的综合评判极为重要。广大研究人员对权重分配和果实综合评价不断进行改善与创新。陈文涛等[3]运用因子分析法对鲜食枣主要品质性状进行综合评价，分析结果与感官评价一致。确定特征客观权重的方法主要有最大离差法、类间标准差法、CRITIC法、熵值法和主成分分析法等[4-5]。张红涛等[6]认为主成分分析法在确定权重提取其主要成分过程中，损失了很多信息，限制了它的应用范围。梁樑等[7]研究认为，专家权重确定时，主要应该考虑专家个体可信度权重和专家群体可信度权重2个方面，通过比较各专家判断矩阵之间的相似程度，得到各专家判断的群组一致程度，确定其群体可信度权值，最终确定专家客观权重。目前，关于果实品质综合评价的方法已有报道，但大多为模糊判断。冰糖橙果实品质评价的指标较多，无法直接比较不同样品之间的优劣。本研

究的核心是将单位不同的指标转换为标准化值，标准化值有2个特点：一是不改变原观测值大小的位序[8]；二是将指标的单位消除，变成纯数值。因此，笔者对来自湖南不同产区的30个冰糖橙品系进行了3 a（年）的品质跟踪，建立了果实品质综合评价的量化模型，为果实品质综合评价提供了一个科学有效的新方法。

1　材料和方法

1.1　材料

材料取自湖南省麻阳县、永兴县、石门县、洪江市、吉首市等柑橘主产县市，样品名称及编号见表1。

表1　试验所用冰糖橙品种（品系）和产地

Table 1 Varieties and producing area of Bingtang sweet orange used in the experiment

样品编号 Code	样品名称 Sample name	产地 Place
1	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	麻阳县 Mayang county
2	纯甜冰糖橙 Chuntian Bingtang sweet orange	麻阳县 Mayang county
3	冰糖脐橙 Bingtang Navel orange	麻阳县 Mayang county
4	农大1号 Nongda 1	麻阳县 Mayang county
5	农大2号 Nongda 2	麻阳县 Mayang county
6	纯甜系冰糖橙子二代（枳砧） The second generation of Chuntian Bingtang sweet orange (*Poncirus trifoliata* rootstock)	麻阳县 Mayang county
7	纯甜系冰糖橙子三代（椪柑高接） The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange (Ponkan top grafting)	麻阳县 Mayang county
8	纯甜系冰糖橙子一代（椪柑高接） The first generation of Chuntian Bingtang sweet orange (Ponkan top grafting)	麻阳县 Mayang county
9	纯甜系冰糖橙子三代 The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange	麻阳县 Mayang county
10	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	永兴县 Yongxing county
11	冰糖橙粗皮大果 Thick skin and large fruit of Bingtang sweet orange	永兴县 Yongxing county
12	冰糖橙小果变异 Small variation of Bingtang sweet orange	永兴县 Yongxing county
13	永兴大果冰糖橙1号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1	永兴县 Yongxing county
14	永兴冰糖橙1号 Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1	永兴县 Yongxing county
15	永兴大果冰糖橙2号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 2	永兴县 Yongxing county
16	永兴大果冰糖橙3号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 3	永兴县 Yongxing county
17	永兴大果冰糖橙4号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 4	永兴县 Yongxing county
18	永兴小果冰糖橙 Small fruit of Bingtang sweet orange	永兴县 Yongxing county
19	大果冰糖橙 Large fruit Bingtang sweet orange	永兴县 Yongxing county
20	农大1号 Nongda 1	洪江市 Hongjiang city
21	农大2号 Nongda 2	洪江市 Hongjiang city
22	黔阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Qianyang	洪江市 Hongjiang city
23	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	洪江市 Hongjiang city
24	农大1号 Nongda 1	吉首市 Jishou city
25	农大2号 Nongda 2	吉首市 Jishou city
26	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	石门县 Shimen county
27	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	石门县/三圣乡 Shimen county/Sansheng township
28	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	桂阳县/江四清园 Guiyang county/Jiang Siqing orchard
29	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	江永县 Jiangyong county
30	普通冰糖橙 Bingtang sweet orange	安仁县 Anren county

1.2　方法

1.2.1　果实品质指标的测定　2013年12月至2015年12月，连续3 a收集了30份来自湖南省不同产区的冰糖橙及其优系的果实样品，每份样品采集30个果实，每次随机选取5个果实测量，3次重复。测定其可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、维生素C含量、单果质量、果实纵径、果皮厚度、可食率、出汁率等指标[9]，统计其平均数。用SPSS 17.0软件

进行描述性统计分析，用Excel 2007进行其他数据处理。

1.2.2 果实品质指标趋向性的确定与调整 (1)指标趋向性的确定。综合分析冰糖橙的固有特性，把果实品质指标分为趋大指标和趋中指标，趋大指标有可溶性固形物含量、固酸比、维生素C含量、出汁率和可食率，而趋中指标包括单果质量、果皮厚度、果型指数、可滴定酸含量。

(2)趋中指标最优值的确定。需要根据冰糖橙果实品质特征[9]和描述性统计分析结果确定这4个指标的最优值。算术平均数是误差最小的总体代表值[8]，在无法确定最优值的情况下，可用平均值代表最优值。

指标趋向性的调整。通过比较观测值与最优值之间的距离确定指标的优劣。观测值与最优值之间的差距越大，则观测值的品质越劣；若观测值与最优值之间的差距越小，则观测值的品质越优。趋中指标转换为趋大指标时，首先计算观测值X_i减去最优值a后的绝对值，获得观测值与最优值之间的距离，然后用-1乘以其绝对值，将所有数值调整为以0为最大值的负数。计算公式为：$y_i=-1\times|X_i-a|$。式中：y为调整趋向性后的值，y_i为第i个样本调整趋向性后的值，X为观测值，X_i为第i个样本指标观测值，本研究一共有30组冰糖橙样本，即i=1，2，3，……，30。a为最优值。

1.2.3 果实品质指标观测值的标准化处理 标准化[10-11]是经常用来衡量资料相对位置(relative position)的指标数据，这种相对位置指标数据为标准化值(standardized score)[12]。标准化值代表意义有3个：(1)Z值为一个纯数值(单位已消除)；(2)因为标准差与原始资料一致，这个纯数值Z所代表的意义为观测值X在整体中的位置，即标准化值不改变原标志值大小的位序(若$X_i>X_j$，则$Z_i>Z_j$)；(3)标准化值的平均数为0[8]，在数学上即表明了标准化值是以0为中心。因此，可以将不同单位的指标均转换为以0为中心的纯数值，以方便后续之处理。趋大指标标准化计算公式如下：$Z=\frac{x_i-\bar{x}}{\sigma}$。式中：$Z$为标准化值，$X_i$为第$i$个样本相关指标观测值，本研究一共有30组冰糖橙样本，即i=1，2，3，……，30。$\bar{X}$为观测值的平均数，σ为指标的标准差。

趋中指标标准化公式为$Z=\frac{y_i-\bar{y}}{\sigma}$。

式中：Z为标准化值，y_i为第i个样本指标调整趋向性后的值，本研究一共有30组冰糖橙样本，即i=1，2，3，……，30。$\bar{y}$为指标调整趋向性后的平均数，σ为指标的标准差。

1.2.4 果实品质指标权重的分配 利用专家评定法[13]对各项指标进行权重的分配。冰糖橙果实品质指标共100分。外观指标占30分，其中单果质量10分、果形指数10分和果皮厚度10分；内质指标占70分，其中可溶性固形物含量15分、可滴定酸含量10分、固酸比15分、维生素C含量10分、可食率10分和出汁率10分。

1.2.5 果实品质的综合评判 将各指标的标准化值乘以相应权重，得到该指标的评分；然后将所有指标的评分累加，获得各样品总分，通过比较总分获得综合排名。单个样本总分=单果质量×权重+果形指数×权重+果皮厚度×权重+可溶性固形物含量×权重+可滴定酸含量×权重+固酸比×权重+维生素C含量×权重+可食率×权重+出汁率×权重。

2 结果与分析

2.1 果实品质分析

30种冰糖橙样品连续3 a测量的平均观测值如表2所示。

2.2 果实品质分析的综合评判

2.2.1 趋中指标最优值的确定 冰糖橙属于“高糖低酸”型品种，适当的酸含量可以增加冰糖橙果实的风味，结合生产实际确定0.25%为最优值；冰糖橙果实近圆形，果型指数以1为最优值[9]。果皮厚度和单果质量最优值的确定结合了《中国果树志柑橘卷》和描述性分析结果(表3)。果实过大、过小都不好，单果质量以140 g为最优值；果皮厚度过大会影响可食率，厚度过低不利于贮藏与运输，果皮厚度以4 mm为最优值。

2.2.2 指标趋向性的调整 冰糖橙9个指标中，可滴定酸含量、果形指数、单果质量和果皮厚度这4个指标通过公式$y_i=-1\times|X_i-a|$将趋向性调整为趋大(公式解析见1.2.2)，如表4所示。

2.2.3 数据标准化的处理 趋大指标和趋中指标根据对应的公式(参考1.2.3)，将各指标进行标准化处理转换为以0为中心的标准化值(纯数值)，如表5所示。

表2　30种冰糖橙样品果实品质的观测值

Table 2 The measured values of each character for 30 Bingtang sweet orange

编号 Code	样品名称 Sample	单果质量 Single fruit mass/g	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Peel thickness/mm	ω(可溶性固形物) Soluble solid content/%	ω(可滴定酸) Titratable acid content/%	固酸比 The ratio of soluble solid content to titratable acid content	ρ(维生素C) Vitamin C content/(mg•100 mL^{-1})	可食率 Edible rate/%	出汁率 Juice yield/%
1	麻阳普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Mayang	140.50	0.95	5.03	10.20	0.89	11.48	73.45	67.26	38.43
2	麻阳纯甜冰糖橙 Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	114.00	0.91	3.41	10.80	0.51	21.18	70.80	50.90	45.60
3	麻阳冰糖脐橙 Bingtang Navel orange of Mayang	184.00	0.99	4.78	9.20	0.97	9.48	64.70	48.90	32.60
4	麻阳农大1号 Nongda 1 of Mayang	166.00	0.92	4.25	11.00	0.67	16.42	76.90	49.40	40.90
5	麻阳农大2号 Nongda 2 of Mayang	128.00	0.94	4.63	11.00	0.59	18.64	75.30	54.70	37.50
6	纯甜系冰糖橙子二代(枳砧) The second generation of Chuntian Bingtang sweet orange (*Poncirus trifoliata* rootstock)	148.00	0.90	4.60	12.10	0.14	86.43	44.57	58.11	44.59
7	麻阳纯甜系冰糖橙子三代(椪柑高接) The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	134.00	0.89	3.31	11.60	0.08	145.00	45.16	64.18	37.31
8	麻阳纯甜系冰糖橙子一代(椪柑高接) The first generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	140.00	0.90	3.42	12.80	0.16	80.00	50.12	65.71	30.00
9	麻阳纯甜系冰糖橙子三代 The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	162.50	0.92	4.88	13.20	0.18	73.33	36.01	64.62	40.00
10	永兴普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Yongxing	132.20	1.02	4.81	13.80	0.64	21.56	47.96	80.64	37.37
11	永兴冰糖橙粗皮大果 Thick skin and large fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	149.80	1.00	4.95	14.54	0.69	21.07	58.55	66.22	38.32
12	永兴冰糖橙小果变异 Small variation of Bingtang sweet orange	72.00	0.95	3.15	14.88	0.30	50.27	58.37	77.50	34.44
13	永兴大果冰糖橙1号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	172.40	0.94	4.58	11.86	0.46	25.77	64.20	71.23	44.08
14	永兴冰糖橙1号 Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	131.60	1.12	3.50	12.66	0.39	32.20	55.33	78.27	47.87
15	永兴大果冰糖橙2号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 2 of Yongxing	221.80	1.23	5.08	12.14	0.59	20.67	58.93	66.82	37.96
16	永兴大果冰糖橙3号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 3 of Yongxing	197.80	0.92	4.39	11.50	0.42	27.26	62.29	74.82	45.50
17	永兴大果冰糖橙4号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 4 of Yongxing	138.80	0.96	3.86	13.12	0.53	24.88	71.55	89.34	44.67
18	永兴小果冰糖橙 Small fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	82.00	0.94	2.45	15.08	0.23	66.59	76.46	74.39	41.22
19	永兴大果冰糖橙 Large fruit Bingtang sweet orange	112.00	0.90	4.84	14.58	0.58	25.03	58.01	69.64	38.75
20	洪江农大1号 Nongda 1 of Hongjiang	130.00	0.88	4.28	13.00	1.13	11.50	79.52	69.04	35.29
21	洪江农大2号 Nongda 2 of Hongjiang	152.00	0.92	3.71	13.40	0.23	58.26	48.12	64.47	53.95
22	黔阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Qianyang	136.20	0.94	4.29	14.18	0.52	27.06	53.08	69.60	39.06
23	洪江普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Hongjiang	126.30	0.90	5.37	12.12	0.58	20.90	57.46	69.05	45.83
24	吉首农大1号 Nongda 1 of Jishou	172.00	0.93	4.67	10.80	0.33	32.73	65.03	63.37	40.70
25	吉首农大2号 Nongda 2 of Jishou	144.00	0.95	4.56	11.90	0.29	41.03	15.02	61.11	47.22
26	石门冰糖橙 Bingtang sweet orange of Shimen	130.00	1.02	3.11	10.70	0.74	14.46	55.86	72.31	44.62
27	石门三圣冰糖橙 Bingtang sweet orange of Sansheng Shimen	96.00	0.92	3.69	13.40	0.54	24.81	63.79	56.25	39.58
28	桂阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Guiyang	122.00	0.93	4.90	14.10	0.38	37.11	36.40	67.21	37.70
29	江永冰糖橙 Bingtang sweet orange of Jiangyong	114.00	0.95	3.45	12.60	0.55	22.91	59.05	56.14	49.12
30	安仁冰糖橙 Bingtang sweet orange of Anren	104.00	0.92	3.32	13.00	0.39	33.33	58.01	65.38	46.15

表3 冰糖橙果实单果质量与果皮厚度的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of weight of single fruit and thickness of the pericarp

指标 Index	样本数 Sample quantity	平均值 Mean value
单果质量 Single fruit mass	30	137.296 7
果皮厚度 Peel thickness	30	4.175 7

注：算术平均数是误差最小的总体代表值[8]，在无法确定最优值的情况下，可用平均值代表最优值。

Note: The arithmetic mean is the total value of the minimum error[8], and the average value can be used to represent the optimal value when the optimal value cannot be determined.

2.2.4 冰糖橙果实品质的综合评分 综合评分等于标准化值乘以权重。通过该量化模型的综合评价得知（表6）：（1）在参评样本中，综合排名前3名有2个来自于永兴，综合排名前15名有7个来自于永兴。这表明湖南永兴地区冰糖橙品质整体上优于其他产区；（2）从冰糖橙优系‘农大1号’与‘农大2号’的区域试验来看，无论布置在洪江、麻阳还是吉首，‘农大2号’的综合评分均优于‘农大1号’；（3）麻阳发现的纯甜系冰糖橙性状稳定，母系与子系连续3代的综合评分均居前列，这表明麻阳纯甜系冰糖橙及其后

表4 冰糖橙果实品质指标趋向性调整

Table 4 Tendency adjustment of fruit quality indexes of Bingtang sweet orange

编号 Code	样品名称 Sample name	可滴定酸含量 Titratable acid content	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Single fruit mass	果皮厚度 Peel thickness
1	麻阳普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Mayang	-0.64	0.00	-0.50	-1.03
2	麻阳纯甜冰糖橙 Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	-0.26	-0.04	-26.00	-0.59
3	麻阳冰糖脐橙 Bingtang Navel orange of Mayang	-0.72	-0.04	-44.00	-0.78
4	麻阳农大1号 Nongda 1 of Mayang	-0.34	-0.01	-12.00	-0.63
5	麻阳农大2号 Nongda 2 of Mayang	-0.42	-0.03	-26.00	-0.25
6	纯甜系冰糖橙子二代（枳砧）The second generation of Chuntian Bingtang sweet orange (*Poncirus trifoliata* rootstock)	-0.11	-0.05	-8.00	-0.60
7	麻阳纯甜系冰糖橙子三代（椪柑高接）The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	-0.17	-0.06	-6.00	-0.69
8	麻阳纯甜系冰糖橙子一代（椪柑高接）The first generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	-0.09	-0.05	0.00	-0.58
9	麻阳纯甜系冰糖橙子三代 The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	-0.07	-0.03	-22.50	-0.88
10	永兴普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Yongxing	-0.39	-0.07	-7.80	-0.81
11	永兴冰糖橙粗皮大果 Thick skin and large fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	-0.44	-0.05	-9.80	-0.95
12	永兴冰糖橙小果变异 Small variation of Bingtang sweet orange	-0.05	0.00	-68.00	-0.85
13	永兴大果冰糖橙1号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	-0.21	-0.01	-32.40	-0.58
14	永兴冰糖橙1号 Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	-0.14	-0.17	-8.40	-0.50
15	永兴大果冰糖橙2号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 2 of Yongxing	-0.34	-0.28	-81.80	-1.08
16	永兴大果冰糖橙3号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 3 of Yongxing	-0.17	-0.03	-57.80	-0.39
17	永兴大果冰糖橙4号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 4 of Yongxing	-0.28	-0.01	-1.20	-0.14
18	永兴小果冰糖橙 Small fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	-0.02	-0.01	-58.00	-1.55
19	永兴大果冰糖橙 Large fruit Bingtang sweet orange	-0.33	-0.05	-28.00	-0.84
20	洪江农大1号 Nongda 1 of Hongjiang	-0.88	-0.07	-10.00	-0.28
21	洪江农大2号 Nongda 2 of Hongjiang	-0.02	-0.03	-12.00	-0.29
22	黔阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Qianyang	-0.27	-0.01	-3.80	-0.29
23	洪江普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Hongjiang	-0.33	-0.05	-13.70	-1.37
24	吉首农大1号 Nongda 1 of Jishou	-0.08	-0.02	-32.00	-0.67
25	吉首农大2号 Nongda 2 of Jishou	-0.04	0.00	-4.00	-0.56
26	石门冰糖橙 Bingtang sweet orange of Shimen	-0.49	-0.07	-10.00	-0.89
27	石门三圣冰糖橙 Bingtang sweet orange of Sansheng Shimen	-0.29	-0.03	-44.00	-0.31
28	桂阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Guiyang	-0.13	-0.02	-18.00	-0.90
29	江永冰糖橙 Bingtang sweet orange of Jiangyong	-0.30	0.00	-26.00	-0.55
30	安仁冰糖橙 Bingtang sweet orange of Anren	-0.14	-0.03	-36.00	-0.68

表5　冰糖橙果实品质指标标准化值

Table 5 The transformed standard values of each character of Bingtang sweet orange

编号 Code	样品名称 Sample	单果质量 Single fruit mass	果形指数 Fruit shape index	果皮厚度 Peel thickness	可溶性固形物含量 Soluble solid content	可滴定酸含量 Titratable acid content	固酸比 The ratio of soluble solid content to titratable acid content	维生素C含量 Vitamin c content	可食率 Edible rate	出汁率 Juice yield
1	麻阳普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Mayang	1.08	0.79	-1.07	-1.56	-1.75	-0.87	1.10	0.11	-0.53
2	麻阳纯甜冰糖橙 Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	-0.11	0.07	0.29	-1.15	0.06	-0.54	0.92	-1.64	0.83
3	麻阳冰糖脐橙 Bingtang Navel orange of Mayang	-0.96	0.07	-0.30	-2.23	-2.13	-0.94	0.48	-1.86	-1.63
4	麻阳农大1号 Nongda 1 of Mayang	0.54	0.61	0.17	-1.02	-0.32	-0.62	1.24	-1.24	-0.70
5	麻阳农大2号 Nongda 2 of Mayang	-0.11	0.25	1.33	-1.02	-0.70	-0.70	1.35	-1.80	-0.06
6	纯甜系冰糖橙子二代（枳砧） The second generation of Chuntian Bingtang sweet orange (*Poncirus trifoliata* rootstock)	0.73	-0.11	0.26	-0.28	0.77	1.71	-0.96	-0.87	0.64
7	麻阳纯甜系冰糖橙子三代（椪柑高接） The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	0.82	-0.29	-0.02	-0.61	0.49	3.73	-0.92	-0.22	-0.74
8	麻阳纯甜系冰糖橙子一代（椪柑高接） The first generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	1.10	-0.11	0.32	0.20	0.87	1.49	-0.56	-0.05	-2.12
9	麻阳纯甜系冰糖橙子三代 The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	0.05	0.25	-0.60	0.47	0.96	1.26	-1.57	-0.17	-0.23
10	永兴普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Yongxing	0.74	-0.47	-0.39	0.87	-0.56	-0.52	-0.72	1.55	-0.73
11	永兴冰糖橙粗皮大果 Thick skin and large fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	0.65	-0.11	-0.82	1.37	-0.80	-0.54	0.04	0.00	-0.55
12	永兴冰糖橙小果变异 Small variation of Bingtang sweet orange	-2.08	0.79	-0.51	1.60	1.06	0.47	0.03	1.21	-1.28
13	永兴大果冰糖橙1号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	-0.41	0.61	0.32	-0.44	0.29	-0.38	0.44	0.54	0.54
14	永兴冰糖橙1号 Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	0.71	-2.26	0.57	0.10	0.63	-0.16	-0.19	1.29	1.26
15	永兴大果冰糖橙2号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 2 of Yongxing	-2.72	-4.24	-1.22	-0.25	-0.32	-0.55	0.07	0.06	-0.61
16	永兴大果冰糖橙3号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 3 of Yongxing	-1.60	0.25	0.90	-0.68	0.49	-0.33	0.31	0.92	0.81
17	永兴大果冰糖橙4号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 4 of Yongxing	1.05	0.61	1.67	0.41	-0.04	-0.41	0.97	2.48	0.65
18	永兴小果冰糖橙 Small fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	-1.61	0.61	-2.67	1.73	1.20	1.03	1.32	0.88	0.00
19	永兴大果冰糖橙 Large fruit Bingtang sweet orange	-0.21	-0.11	-0.48	1.40	-0.28	-0.40	0.00	0.37	-0.47
20	洪江农大1号 Nongda 1 of Hongjiang	0.64	-0.47	1.24	0.33	-2.89	-0.87	1.54	0.30	-1.12
21	洪江农大2号 Nongda 2 of Hongjiang	0.54	0.25	1.21	0.60	1.20	0.74	-0.71	-0.19	2.41
22	黔阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Qianyang	0.93	0.61	1.21	1.13	0.01	-0.33	-0.35	0.36	-0.41
23	洪江普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Hongjiang	0.46	-0.11	-2.11	-0.26	-0.28	-0.55	-0.04	0.30	0.87
24	吉首农大1号 Nongda 1 of Jishou	-0.39	0.43	0.04	-1.15	0.91	-0.14	0.50	-0.31	-0.10
25	吉首农大2号 Nongda 2 of Jishou	0.92	0.79	0.38	-0.41	1.10	0.15	-3.07	-0.55	1.14
26	石门冰糖橙 Bingtang sweet orange of Shimen	0.64	-0.47	-0.63	-1.22	-1.04	-0.77	-0.15	0.65	0.64
27	石门三圣冰糖橙 Bingtang sweet orange of Sansheng Shimen	-0.96	0.25	1.15	0.60	-0.09	-0.41	0.41	-1.07	-0.31
28	桂阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Guiyang	0.26	0.43	-0.67	1.07	0.68	0.01	-1.54	0.11	-0.66
29	江永冰糖橙 Bingtang sweet orange of Jiangyong	-0.11	0.79	0.41	0.06	-0.13	-0.48	0.08	-1.08	1.50
30	安仁冰糖橙 Bingtang sweet orange of Anren	-0.58	0.25	0.01	0.33	0.63	-0.12	0.00	-0.09	0.93

表6 30个冰糖橙样品的综合评分

Table 6 Composite evaluation of Bingtang sweet orange

编号 Code	样品名称 Sample	排名 Ranking	得分 Score
17	永兴大果冰糖橙4号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 4 of Yongxing	1	74.02
21	洪江农大2号 Nongda 2 of Hongjiang	2	67.35
18	永兴小果冰糖橙 Small fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	3	38.79
7	麻阳纯甜系冰糖橙子三代(椪柑高接) The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	4	38.07
22	黔阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Qianyang	5	35.53
6	纯甜系冰糖橙子二代(枳砧) The second generation of Chuntian Bingtang sweet orange (*Poncirus trifoliata* rootstock)	6	26.16
12	永兴冰糖橙小果变异 Small variation of Bingtang sweet orange	7	23.13
8	麻阳纯甜系冰糖橙子一代(椪柑高接) The first generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang (Ponkan top grafting)	8	19.75
14	永兴冰糖橙1号 Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	9	19.22
30	安仁冰糖橙 Bingtang sweet orange of Anren	10	14.77
9	麻阳纯甜系冰糖橙子三代 The third generation of Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	11	12.80
13	永兴大果冰糖橙1号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 1 of Yongxing	12	11.13
29	江永冰糖橙 Bingtang sweet orange of Jiangyong	13	8.24
16	永兴大果冰糖橙3号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 3 of Yongxing	14	5.70
19	永兴大果冰糖橙 Large fruit Bingtang sweet orange	15	3.23
25	吉首农大2号 Nongda 2 of Jishou	16	3.14
28	桂阳冰糖橙 Bingtang sweet orange of Guiyang	17	2.31
10	永兴普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Yongxing	18	-0.53
27	石门三圣冰糖橙 Bingtang sweet orange of Sansheng Shimen	19	-3.17
11	永兴冰糖橙粗皮大果 Thick skin and large fruit of Bingtang sweet orange of Yongxing	20	-3.42
24	吉首农大1号 Nongda 1 of Jishou	21	-8.42
20	洪江农大1号 Nongda 1 of Hongjiang	22	-15.67
23	洪江普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Hongjiang	23	-21.05
2	麻阳纯甜冰糖橙 Chuntian Bingtang sweet orange of Mayang	24	-21.26
5	麻阳农大2号 Nongda 2 of Mayang	25	-21.67
4	麻阳农大1号 Nongda 1 of Mayang	26	-23.19
26	石门冰糖橙 Bingtang sweet orange of Shimen	27	-33.39
1	麻阳普通冰糖橙 Bingtang sweet orange of Mayang	28	-38.96
15	永兴大果冰糖橙2号 Large fruit Bingtang sweet orange of Yongxing No. 2 of Yongxing	29	-101.91
3	麻阳冰糖脐橙 Bingtang Navel orange of Mayang	30	-110.74

代是优良品系。与实际情况一致。目前市场上受消费者喜爱的冰糖橙品种‘大果冰糖橙4号’‘农大2号’‘永兴小果冰糖橙’和‘麻阳纯甜系冰糖橙’等品种均在综合评价中排名靠前，证实了本模型评价结果的可靠性。

3 讨 论

本研究所建立的量化模型对果实品质进行综合评价，一方面对测量的每项果实品质指标进行权重分配，避免指标(信息)流失，更加全面、准确地对果实品质进行评价；另一方面，利用统计学综合指标[8]的处理方法对各项指标进行标准化值处理，使得相同指标的数据更加简化，而且在标准化值的过程中，将不同指标的单位消除，使所有指标的数据变成纯数值，极大的简化了数据的处理难度。

通过与主成分分析法比较，2种评价模型的结果大体上一致，但是也存在一些差异。作者认为造成差异的主要原因有2个方面：一方面，主成分分析法在确定权重提取其主要成分过程中损失了部分指标信息[6]，而本研究所建立的标准化值加权法使用了全部观测指标；另一方面，主成分分析法观测指标进行标准化处理时未考虑到指标趋向性等问题，本方法结合评价对象的品种特性，对相关指标的趋向性进行了合理调整。

该量化模型亦可应用于其他柑橘品种和其他水果品质的综合评判，但需要根据品种的固有特性对模型进行微调，尤其是对指标趋向性和指标权重的调整。例如：(1)原有指标的调整。冰糖橙的可滴定酸是趋中指标，但其他非低酸型柑橘品种的酸指标应为趋小指标，要根据公式$y_i = -1 \times X_i$调整为趋大后才能进行数据标准化；(2)特有指标的增添。如血橙果实的综合评判，由于血橙是柑橘中唯一含有花青素类色素(花色苷)的品种[14]，其评判指标应加入花色苷指标，并且其权重至少占整体权重的15%。

通过大量试验发现，当没有确立标准参照时，该量化模型适用于样品数量与指标数量较多的果实品质综合评判，样本数量较少(小于10)或指标数量较少(少于5)时，可用差异显著性测验[15]或直观判断，不需要用该量化模型。

4　结　论

通过标准化值加权法(量化模型)对果实品质分析的数据进行处理，将不同单位的指标数转换成纯数值，使同一品种不同指标的评价数值可以直接相加，获得综合评价总分，直观体现果实品质的优劣，而非模糊判断。本研究建立的标准化值加权法能够科学、客观地对果实品质进行综合评价。为今后果实品质综合评价提供了一个可靠的新方法。

参考文献 References：

[1] 邓秀新. 世界柑橘品种改良的进展[J]. 园艺学报，2005，32(6): 1140-1146.
DENG Xiuxin. Advances in world wide citrus breeding[J]. Acta Horticulturae Sinica，2005，32(6): 1140-1146.

[2] 邓子牛. 柑橘种质创新与品种改良策略[C]. 中国柑橘科技创新与产业发展战略论坛暨中国柑橘学会2007年年会论文集，2007.
DENG Ziniu. Strategies for germplasm innovation and variety improvement of *citrus*[C]. Proceedings of China Citrus Science and Technology Innovation and Industrial Development Strategy Forum and China Citrus Society Annual Conference in 2007，2007.

[3] 陈文涛，袁德义，张日清，韩志强，黄春元，段练. 鲜食枣品质的综合评价[J]. 湖南农业大学学报，2014，40(1): 32-36.
CHEN Wentao，YUAN Deyi，ZHANG Riqing，HAN Zhiqiang，HUANG Chunyuan，DUAN Lian. Factor analysis and comprehensive assessment on quality characters of fresh jujube cultivars[J]. Journal of Hunan Agricultural University，2014，40(1): 32-36.

[4] WU Z B，CHEN Y H. The maximizing deviation method for group multiple attribute decision making under linguistic environment[J]. Fuzzy Sets and Systems，2007，158(14)：1608-1617.

[5] ZOU Z H，YUN Y，SUN J N. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment[J]. Journal of Environmental Sciences，2006，18(5)：1020-1023.

[6] 张红涛，毛罕平. 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较[J]. 农业工程学报，2009，25(1): 132-136.
ZHANG Hongtao，MAO Hanping. Comparison of four methods for deciding objective weights of features for classifying stored-grain insects based on extension theory[J]. Transactions of the CSAE，2009，25(1)：132-136.

[7] 梁樑，熊立，王国华. 一种群决策中专家客观权重的确定方法[J]. 系统工程与电子技术，2005，27(4): 652-655.
LIANG Liang，XIONG Li，WANG Guohua. New method for determining the objective weight of decision makers in group decision[J]. Systems Engineering and Electronics，2005，27(4): 652-655.

[8] 徐国祥，刘汉良，孙允午，朱建中. 统计学[M]. 上海：上海财经大学出版社，2001：329-357.
XU Guoxiang，LIU Hanliang，SUN Yunwu，ZHU Jiangzhong. Statistics[M]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Press，2001：329-357.

[9] 周开隆，叶荫民. 中国果树志柑橘卷[M]. 北京：中国林业出版社，2009：262-263.
ZHOU Kailong，YE Yinmin. Flora of China fruits-citrus[M]. Beijing: China Forestry Press，2009：262-263.

[10] 赖国毅，陈超. SPSS 17.0中文版常用功能与应用实例精讲[M]. 北京：电子工业出版社，2010：81-108.
LAI Guoyi，CHEN Chao. SPSS 17.0 Chinese version commonly used functions and application examples[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry，2010：81-108.

[11] CAI Q H，LIU J K，LORENZ K. A comprehensie model for assessing lake eutrophication[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2002，13(12): 2178-2184.

[12] 吴冬友，杨玉坤. 统计学[M]. 北京：中国税务出版社，2005：45-62.
WU Dongyou，YANG Yukun. Statistics[M]. Beijing: China Taxation Publishing House，2005：45-62.

[13] 何超，李萌，李婷婷，彭雪，李婕，赵锦慧. 多目标综合评价中四种确定权重方法的比较与分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版)，2016，38(2): 172-178.
HE Chao，LI Meng，LI Tingting，PENG Xue，LI Jie，ZHAO Jinhui. Comparison and analysis of the four methods of determining weights in multi-objective comprehensive evaluation[J]. Journal of Hubei University (Natural Science)，2016，38(2): 172-178.

[14] 曹少谦，潘思轶. 血橙花色苷研究进展[J]. 食品科学，2006，27(9): 278-281.
CAO Shaoqian，PAN Siyi. Review of anthocyanins from blood orange[J]. Food Science，2006，27(9): 278-281.

[15] 罗伯特•约翰逊，帕特里夏•库贝. 基础统计学[M]. 北京：科学出版社，2003：679-691.
JOHNSON R，KUBY P. Elementary statistics[M]. Beijing: Science Press，2003：679-691.