

基于主成分分析和聚类分析的海沃德猕猴桃品质指标综合评价

傅隆生¹, 宋思哲¹, 邵玉玲¹, 李平平², 王海峰¹, 崔永杰^{1,*}

(1.西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2.青岛中科昊泰新材料科技有限公司, 山东 青岛 266326)

摘 要: 为更准确评价猕猴桃品质, 选取陕西省眉县的157个海沃德猕猴桃, 对果实的单果质量、长轴、短轴、厚度、体积、果皮颜色和糖度、酸度、硬度9个分级指标进行了描述统计和相关分析, 采用主成分分析法建立综合得分数学模型, 对综合得分进一步做K-means聚类分析, 最后利用Fisher判别分析法对样品重新进行聚类以验证K-means聚类分析方法的可靠性。结果表明, 除体积与单果质量间差异不明显外, 其余各分级指标之间均存在显著差异; 按综合得分将样品聚为3类: 优为0.10~1.39, 中为-0.44~0.09, 差为-1.27~-0.46; 判别分析对聚类结果的正确率达到98.72%, 所以两者具有较高的一致性。

关键词: 猕猴桃; 质量评价; 主成分分析; 聚类分析; 判别分析

Comprehensive Evaluation of Kiwifruit Quality Based on Principal Component and Cluster Analysis

FU Long-sheng¹, SONG Si-zhe¹, SHAO Yu-ling¹, LI Ping-ping², WANG Hai-feng¹, CUI Yong-jie^{1,*}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Qingdao Zhong Ke Hao Tai New Material Science & Technology Co. Ltd., Qingdao 266326, China)

Abstract: In this study, 157 kiwifruits from Meixian county, Shaanxi were selected and investigated for accurate evaluation of kiwifruit quality. Nine indices including weight, long axis, short axis, thickness, volume, color, sugar content, acidity, and firmness were measured and analyzed by descriptive statistics and correlation analysis. Principal component analysis was employed to build a composite score mathematical model, and then the composite scores were analyzed by K-means cluster. Fisher discriminate analysis was applied to re-cluster fruits for evaluating the reliability of K-means cluster analysis. Results showed that all other grading indices except weight and volume presented significant differences. The 157 samples were classified into three clusters according to their composite scores: good, 0.10-1.39; moderate, -0.44-0.09; and bad, -1.27-0.46. The correct discrimination rate reached 98.72% when compared with the clustering analysis, suggesting that there is a good consistency.

Key words: kiwifruits; quality evaluation; principal component analysis; cluster analysis; discriminant analysis

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)19-0006-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201419002

水果等农产品的分级自动化已经成为未来的重点发展趋势^[1], 然而, 目前国内猕猴桃分级评价仍然主要靠人工完成, 而且分级标准、分级作业均未与国际接轨, 直接影响了猕猴桃国内外的市场^[2-3]。猕猴桃果实分级是其商品化重要的一环, 因此进行猕猴桃分级标准的基础性研究具有深远意义和重大价值。鉴于此, 为了提高猕猴桃分级、分类评价的客观性、公正性以及科学性, 建立一种科学合理的评价方法具有重要的现实意义。针对

现有形势下, 猕猴桃分级标准不明确, 缺乏量化和多元化等特点, 本实验试图探索一种以量化形式表征猕猴桃果实的综合质量的模型, 从而建立一种较为科学、准确、合理的猕猴桃果实质量评价方法, 同时也期待实现为猕猴桃分类、分级评价体系的完善和猕猴桃等级划分自动化的实现提供理论参考依据的目的。

从国内水果果实等级评价方法来看, 目前主要包括感官评价方法和利用仪器对分级评价指标进行量化, 但

收稿日期: 2014-05-27

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61175099); 西北农林科技大学博士科研启动基金项目(2012BSJJ027);

陕西省资助引进人才经费项目(Z111021303)

作者简介: 傅隆生(1984—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为果实省力化采收和智能化分选。E-mail: fulsh@nwsuaf.edu.cn

*通信作者: 崔永杰(1971—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果蔬生产自动化。E-mail: cuiyongjie@nwsuaf.edu.cn

这种仪器测定方法仍然只是起到辅助果实感官评级的作用,而且利用仪器实现量化的多为单一级别评价指标。近年来,主成分分析法与聚类分析相结合等综合性评价分析方法在食品质量评价方面成为了热点。丁筑红等^[4]通过主成分分析方法对不同包装条件下干辣椒的主要风味化合物进行了统计分析评价,发现包装材料对风味品质影响显著;符勇等^[5]通过对33个品种荔枝干的11个品质指标进行主成分分析和聚类分析,建立了荔枝加工品质评价体系模型,并优选出品质较好的加工品种;王沛等^[6]采用主成分分析方法对苹果脆片品质进行客观评价,得出了不同品种苹果脆片品质的综合得分并排名;白沙沙等^[7]用此方法对44个苹果品种的12个品质指标进行了分析,结果表明第1主成分主要代表果实大小信息,第2主成分主要代表果皮颜色信息,第3主成分主要代表密度、果形指数和果心大小;王益民等^[8]对10个枸杞品种的10项指标进行聚类分析和基于主成分分析的枸杞综合品质评价,发现10个品种可聚为4类,10项品质简化为4个主成分;潘学军等^[9]基于同样的方法对核桃品质进行了分析,结果显示核桃品质及营养成分的分布存在了一定程度的遗传差别。

本实验以陕西省猕猴桃主产区之一眉县境内的海沃德猕猴桃作为实验材料,首先参考现有的分级标准确定猕猴桃果实进行主成分分析的分级指标,进行相关分析测量所选取的猕猴桃样品的各项指标值,获得数据;其次,对指标数据进行统计学分析,计算特征值矩阵,进行主成分分析,确定主成分个数及其表达式,并计算每个样品在各个主成分上的得分;然后,利用得分进行聚类分析将样品进行类别化分;最后,采用判别分析法对样品重新进行类别化分,并比较两组基于不同思想的归类结果,对所构建的模型进行评价。

1 材料与方法

1.1 分级标准的指标选取

在对果实等级标准进行聚类分析与判别分析之前,需要研究并确定其分级的指标^[10-13]。我国深圳市2006年实施的深圳市农业地方标准DB440300T 25.7—2006《预包装鲜食猕猴桃购销要求》^[14]中选取了果径、单果质量、色泽、风味、硬度、可溶性固形物、果实表面缺陷等分级指标,但是该标准中仅对单果质量、果径、可溶性固形物这3个指标进行了量化评定,而对其它分级指标仅为作为感官指标进行了简单的描述性界定。我国农业行业标准于2010年实施的NYT 1794—2009《猕猴桃等级规格》^[15]中将猕猴桃划分为3个等级,但对各等级的评价、界定只是基于感官可感知特征的简单的语言性描述。四川省成都市猕猴桃协会制定的《海沃德猕猴桃鲜

果分级标准》^[16]采用了果肉、果心、单果质量、果皮颜色、平均VC含量、可溶性固形物、果形、农残指标、外观指标、环境及管理技术要求共计10个分级指标,但对这10个指标的等级多为描述性界定,比如该分级标准中针对猕猴桃外观指标的分级为:一级果(无疤痕、无软果、无新伤、无病虫斑、无黑头、无污染、着色均匀、未使用膨大剂、完全套袋果);二级果的评价界定与一级果的描述性界定完全一样;三级果(基本符合以上标准)。彭永宏^[17]提出的猕猴桃果实性状记载项目及分级标准的探讨一文中提将猕猴桃按照外观、单果质量、内含物、果肉性状、种子共5个指标进行等级分类,但经过进一步调查发现消费者对猕猴桃果实中含有的种子数量以多少为宜的评定仍存在很大争议。为了在较为充分考虑消费者心理的基础上选取合适的猕猴桃分级指标,在杨凌周边范围内以问卷形式进行了一定调查。调查表明,关于猕猴桃果实品质,人们一般比较关注的是果实的尺寸大小和风味(滋味、气味等)。据此,参考以上现有的猕猴桃分级标准以及调查结果,本实验共选取了9项分级指标,包括6项外部指标(单果质量、长轴、短轴、厚度、体积、果皮颜色)和3项内部指标(糖度、酸度、硬度),其测量过程和方法如图1所示。

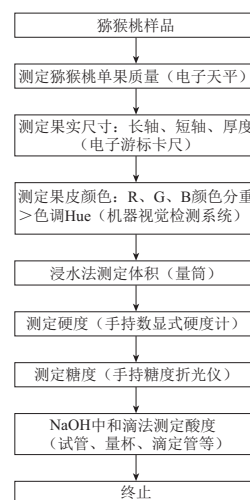


图1 各项分级指标的测定和方法

Fig.1 Measurement of nine grading indices

1.2 指标的无量纲化处理

由于9个指标的量纲不统一,在进行数据分析之前,进行了数据无量纲化处理^[18]。本实验采用如下所示方法进行数据转换处理:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - m_j}{s_j} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第*i*个样本在第*j*个指标的原始值, y_{ij} 为第*i*个样本在第*j*个指标的变换后值, m_j 为第*j*个指标的平均值, s_j 为第*j*个指标的标准差。

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - m_j)^2} \quad (3)$$

经过标准化处理后,就得到由原始数据转换而来的没有量纲的指标测评值,因此所有指标的值均处于同一数量级别上,即可用于进行数理统计分析。

1.3 猕猴桃分级标准评价模型的建立

实验材料取自2013年陕西省眉县陕西齐峰果业有限公司库存的猕猴桃,从中随机挑选了157个表面干净且无损伤的海沃德猕猴桃。首先测量每个果实的9个品质指标,进行数据无量纲化处理后,构成主成分分析的相关矩阵,依据主成分分析^[19]后确定的不同主分量的线性组合得到157个样品各个主成分因子的得分,进一步根据各个样品的主成分因子得分进行K-means聚类分析^[20],聚为3类。同时基于各主成分因子得分构建Fisher判别函数,通过Fisher判别函数^[21]对猕猴桃样品进行归类,对比聚类分析结果,进行评判。

2 结果与分析

2.1 猕猴桃分级评价指标总体状况

表1 猕猴桃果实分级评价指标的描述性统计 (n=157)

Table 1 Statistics of kiwifruit grading indices (n = 157)

分级指标	单果质量/g	体积/mL	长轴/cm	短轴/cm	厚度/cm	颜色/°	糖度/%	酸度/(g/mL)	硬度/N
极小值	68.60	70.00	58.94	45.01	40.41	20.00	11.80	0.18	15.60
极大值	126.90	129.00	74.93	60.64	53.89	358.00	16.20	0.46	131.20
均值	96.90	96.32	66.58	52.16	47.47	162.17	13.78	0.28	64.24
标准差	13.89	13.66	3.93	3.01	2.65	39.06	0.99	0.04	21.83
变异系数	0.14	0.14	0.06	0.06	0.06	0.24	0.07	0.14	0.34
偏度	0.08	0.12	0.03	0.14	-0.15	0.72	0.12	0.51	0.42
峰度	0.77	-0.83	-0.87	-0.61	-0.34	9.94	-0.77	2.42	-0.32

猕猴桃果实品质各评价指标状况如表1所示。单果质量在68.60~126.90 g之间,均值为96.90 g,波动较大,分布曲线呈平阔正偏峰。体积与单果质量的分布情况基本相同,波动范围不大,具有相同的变异系数0.14。这也体现于体积和重量的具体构成参数上长轴、短轴、厚度,虽然长轴和短轴的分布曲线呈平阔正偏峰,厚度分布曲线呈平阔负偏峰,但波动比较小,都只有0.06左右。果皮颜色分量R、G、B的分布曲线各不相同,R为尖峭正偏峰、G为平阔正偏峰、B为平阔负偏峰,分布范围依次为60~108、70~107、63~103,转换为Hue颜色^[22]后为20°至358°,均值为162°,虽然波动较大,变异系数达到了0.24,但呈尖峭正偏峰分布,峰度达到9.94,表示取值较为密集地分布在众数的周围。波动最大的是硬度,在均值为64.24 N的基础上,标准差却达到了21.83 N,较大的变异系数也反应了变化范围比较大;同时分布曲线呈平阔正偏峰,呈现比较大的偏度,符合猕

猴桃果实的特点,即果实采后硬度变化比较大。酸度的标准差为0.04 g/mL,且均在0.18~0.46 g/mL范围内,分布曲线呈尖峭正偏峰,变异系数为0.14。糖度的波段比较小,分布曲线呈平阔正偏峰,比较接近正态分布,说明猕猴桃采收虽然硬度发生比较大的变化,但基本上糖度变化不大。

2.2 相关分析

对猕猴桃果实品质各评价指标进行简单相关分析,结果见表2。单果质量和体积与尺寸(长轴、短轴、厚度)间相关性均达到1%极显著水平,单果质量与体积相关系数最大,达到0.984,说明体积越大,单果质量越大,体现出果实的密度比较均匀。长轴、短轴、和厚度3个指标共同反映猕猴桃的尺寸及椭圆度,结果显示这3个指标两两相关性均达到极显著水平,其中与单果质量和体积相关性最高的是短轴长度,分别达到了0.851和0.860,与李平平^[23]的研究结果一致。而颜色、糖度、酸度和硬度与重量和尺寸指标间却为负相关,尤其是酸度,与各项重量和尺寸指标间负相关性均达到1%的极显著水平,说明随着果实的重量和体积的增大,其酸度却在降低;此外,硬度与酸度间相关性的比较高(0.401),达到极显著水平,可见猕猴桃随着果实硬度的降低,其酸度也在降低,与丁捷等^[24]的研究成果相符。

表2 指标间的相关关系

Table 2 Correlation coefficient among grading indices

指标	单果质量	体积	长轴	短轴	厚度	颜色	糖度	酸度	硬度
单果质量	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
体积	0.984**	1.000	-	-	-	-	-	-	-
长轴长度	0.848**	0.838**	1.000	-	-	-	-	-	-
短轴长度	0.851**	0.860**	0.622**	1.000	-	-	-	-	-
厚度	0.766**	0.745**	0.518**	0.556**	1.000	-	-	-	-
颜色	-0.161*	-0.159*	-0.124	-0.145	-0.098	1.000	-	-	-
糖度	-0.059	-0.066	-0.181*	-0.148	0.108	0.173*	1.000	-	-
酸度	-0.302**	-0.298**	-0.273**	-0.227**	-0.280**	0.071	-0.165*	1.000	-
硬度	-0.138	-0.139	-0.082	-0.158*	-0.163*	0.064	0.048	0.401**	1.000

注: **. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, *. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, - . 数据已有, 不再重复。

2.3 主成分分析

2.3.1 主成分分析适宜性判定

KMO和Bartlett的检验^[25]。KMO的检验值为0.783,已经达到“适合”的标准。Bartlett的球形度检验值为1 240.019,在自由度为36时,已达显著水平,可以拒绝零假设,且 $P < 0.05$,表示各变量间不独立,因此原数据适宜主成分分析。

2.3.2 主成分提取

以157个样本的9个指标构成 9×157 的矩阵,利用SPSS 18.0统计软件进行主成分分析,然后得出指标因子的特征值、贡献率(表3)及因子载荷矩阵(表4)。提取累计贡献率大于85%的因子,由表3可知前5个主因子

所构成的信息占总信息量的91.055%，基本上保留了原变量的信息。

表3 果实品质指标的特征值及贡献率
Table 3 Factor eigenvalues and contribution rate of grading indices

成分	初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.267	47.417	47.417
2	1.332	14.799	62.216
3	1.160	12.892	75.108
4	0.859	9.543	84.651
5	0.576	6.404	91.055
6	0.396	4.401	95.455
7	0.351	3.897	99.353
8	0.044	0.485	99.838
9	0.015	0.162	100.00

表4 分级指标成分因子的载荷矩阵
Table 4 Component matrix of principal component analysis of grading indices

分级指标	成分1	成分2	成分3	成分4	成分5
单果质量 (x_1)	0.982	0.081	0.111	-0.005	0.017
体积 (x_2)	0.978	0.087	0.104	0.004	0.016
长轴长度 (x_3)	0.847	0.172	0.028	0.105	-0.254
短轴长度 (x_4)	0.861	0.138	0.011	0.084	0.090
厚度 (x_5)	0.784	-0.131	0.209	-0.130	0.284
颜色 (x_6)	-0.208	-0.217	0.601	0.738	-0.039
糖度 (x_7)	-0.091	-0.603	0.400	-0.436	0.114
酸度 (x_8)	-0.407	0.696	0.227	0.039	0.510
硬度 (x_9)	-0.240	0.597	0.565	-0.296	-0.385

从表3、4可知，成分1由单果质量、体积和尺寸指标（长轴、短轴、厚度）所决定，这5个指标在成分1中有较大的正载荷值，反映了果实的体积和尺寸越大，其质量越大，符合现成的实际人工分级标准，其贡献率为47.417%；糖度、酸度和硬度在成分2中有较大的正载荷值，成分2主要解释了这3个指标，贡献率为14.799%，其值越大，果实的口感越好，经济效益越高，更受消费者的欢迎；成分3主要由颜色和硬度指标决定，表示果实的外观和手感，贡献率达到了12.892%，其值越大，表示果实的外观越好，且手感不错；成分4也主要解释颜色的外观指标，贡献率为9.543%；成分5的贡献率为6.404%，主要解释酸度指标。

设提取的成分1、2、3、4、5得分依次为 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 ，根据表4计算可得各成分得分数学模型如下：

$$\text{模型1: } F_1 = 0.982x_1 + 0.978x_2 + 0.847x_3 + 0.861x_4 + 0.784x_5 - 0.208x_6 - 0.091x_7 - 0.407x_8 - 0.240x_9 \quad (4)$$

$$\text{模型2: } F_2 = 0.081x_1 + 0.087x_2 + 0.172x_3 + 0.138x_4 - 0.131x_5 - 0.217x_6 - 0.603x_7 + 0.696x_8 - 0.597x_9 \quad (5)$$

$$\text{模型3: } F_3 = 0.111x_1 + 0.104x_2 + 0.028x_3 + 0.011x_4 + 0.209x_5 + 0.601x_6 + 0.400x_7 + 0.227x_8 + 0.565x_9 \quad (6)$$

$$\text{模型4: } F_4 = -0.005x_1 + 0.004x_2 + 0.105x_3 + 0.084x_4 - 0.130x_5 + 0.738x_6 - 0.436x_7 + 0.039x_8 - 0.296x_9 \quad (7)$$

$$\text{模型5: } F_5 = 0.017x_1 + 0.016x_2 - 0.254x_3 + 0.090x_4 + 0.284x_5 - 0.039x_6 + 0.114x_7 + 0.510x_8 - 0.385x_9 \quad (8)$$

主成分因子的权重 = 因子贡献率/入选因子的累积贡献率，由表3计算的主成分因子1、2、3、4、5的权重依次为0.565，0.141，0.126，0.107，0.061，从而建立综合得分数学模型，即模型：

$$Q = 0.565F_1 + 0.141F_2 + 0.126F_3 + 0.107F_4 + 0.061F_5 \quad (9)$$

其中， F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 为提取的5个主成分得分。

将猕猴桃果实品质指标原始数据标准化处理后，代入综合得分数学模型，求得157个猕猴桃样品的综合评价得分。其中样品122的综合得分值 Q 最高，样品101的综合得分值 Q 最低，综合得分越高，表明该样品的果实品质越好，等级越高。

2.4 聚类分析

根据表4的各主成分得分系数矩阵以及2.3节所建立的猕猴桃果实品质评价模型，计算不同猕猴桃样品在5个主成分上的得分，再对各个猕猴桃样品5个主成分的得分进行K-means非阶层式聚类分析，根据现有标准中一般分为3类，本研究中设置聚为3类，聚类分析结果如表5所示。对比每个猕猴桃样品的综合得分，进一步对聚类分析后所得的3个类别的猕猴桃等级进行判定，结果表明：第Ⅰ类，一级果，共有68个猕猴桃样品，占总样品的43%；第Ⅱ类，二级果，共有49个猕猴桃样品，占总样品的31%；第Ⅲ类，三级果，共有40个猕猴桃样品，占总样品的26%。

2.5 判别分析

依据各个猕猴桃样品5个主成分因子的得分和聚类结果，计算Fisher判别函数系数，建立判别模型，如下所示：

第1组的Fisher判别函数：

$$S_1 = 1.344F_1 - 0.017F_2 - 1.473F_3 - 0.932F_4 + 0.106F_5 - 2.050 \quad (10)$$

第2组的Fisher判别函数：

$$S_2 = -1.013F_1 + 0.896F_2 + 0.478F_3 - 0.250F_4 + 1.610F_5 - 2.250 \quad (11)$$

第3组的Fisher判别函数：

$$S_3 = -1.044F_1 - 1.068F_2 + 1.919F_3 + 1.891F_4 - 2.153F_5 - 3.649 \quad (12)$$

基于判别规则：对于任一个待判别猕猴桃样品，利用公式(10)~(12)进行计算，如果 S_i ($i=1, 2, 3$)值最大，就判该样品归属于第*i*类。采用基于Fisher准则的判别函数，利用逐步判别法对157个猕猴桃样品进行判别分析，依次确定聚类分析结果的有效性、可靠性。判别结果如表5所示，原来聚类分析所得第Ⅰ类的68个猕猴桃样品，据判别分析重新分类后有68个仍被分为第Ⅰ类（一级果）；原来聚类分析所得第Ⅱ类的49个猕猴桃样品，据判别分析重新分类后有48个仍被分为第Ⅱ类（二级果），但有1个被分为第Ⅰ类（一级果）；原来聚类分析所得第Ⅲ类的40个猕猴桃样品，据判别分析重新分类

表 5 猕猴桃聚类分析和判别分析的结果及其比较
Table 5 Cluster analysis in comparison with discriminant analysis of fruit samples

类别 I	类别 II	类别 III
2、4、11、13、15、19、20、21、22、24、25、28、29、 32、33、34、35、39、40、42、43、44、45、46、47、48、 49、52、72、77、79、80、88、90、91、94、95、97、98、 99、100、101、102、103、104、106、107、108、109、 111、112、113、114、116、119、120、122、124、125、 127、128、129、130、131、140、148、150、154	8	—
类别 II	—	3
类别 III	—	—

后有39个仍被分为第Ⅲ类（三级果），但有1个被分为第Ⅱ类（二级果）。

由表5可知，判别分析将原来聚类分析归为第Ⅱ类的样品8分为第Ⅰ类，原来聚类分析归为第Ⅲ类的样品3分为第Ⅱ类，其他样品分类结果一致，聚类分析与判别分析的分类结果一致率达到98.72%。结果表明，聚类分析和判别分析两种方法对于本实验所提取的猕猴桃品质得分的分类有非常好的一致性。

3 结 论

本实验针对陕西省境内主要猕猴桃品种海沃德进行了果实分级标准评价方法的研究，获得以下主要结论：1）进行了描述性统计及相关分析。除体积与单果质量间差异不明显外，其余各分级指标之间均存在显著差异；果皮颜色、硬度、糖度和酸度与单果质量、体积、长轴、短轴及厚度均呈负相关；长轴、短轴和厚度3个指标共同反映猕猴桃的长宽比及椭球比，结果显示这3个指标两两相关关系均达到极显著水平。2）确定了基于主成分分析及聚类分析综合评价思想的猕猴桃分级标准评价模型，选取了5个主成分。分析结果表明第1主成分的大小主要由单果质量、长轴、短轴、厚度、体积决定；第2主成分的大小主要由硬度、酸度决定；第3主成分的大小主要由果皮颜色、糖度决定；第4成分的大小主要由果皮颜色、硬度、糖度决定；第5主成分的大小主要由酸度决定。3）进行了基于主成分分析的主成分得分的K-means聚类分析。对157个猕猴桃样品进行聚类分析，结果分为3类：优，0.1~1.39；中，-0.44~0.09；差，-1.27~-0.46。对比各样本的综合得分，结果显示157个猕猴桃样品的品质和样品数目分别为：优，68个；中，49个；差，40个。4）利用Fisher判别分析法对样品重新进行聚类以验证K-means聚类分析方法的可靠

性。结果表明判别分析与聚类分析的猕猴桃样品分类一致率达到98.72%，所以二者具有很好的一致性。

参考文献：

[1] 钱永忠, 汤晓艳. 农产品质量分级要素及评价技术[J]. 农业质量标准, 2006(1): 30-33.
[2] 邵和鸿, 郑万挺, 彭加寅. 基于计算机视觉技术的猕猴桃分级方法[J]. 北京生物医学工程, 2009, 28(5): 531-533.
[3] 崔永杰, 李平平, 丁宪, 等. 猕猴桃分级果实表面缺陷的检测方法[J]. 农机化研究, 2012, 34(10): 139-142.
[4] 丁筑红, 王知松, 郑文字, 等. 不同包装条件下干辣椒风味化合物的主成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 285-292.
[5] 符勇, 陶菲, 邵海燕, 等. 荔枝干品质评价指标体系的建立[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 158-164.
[6] 王沛, 刘璇, 毕金峰, 等. 基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J]. 中国食品学报, 2012, 12(6): 204-211.
[7] 白沙沙, 毕金峰, 王沛, 等. 不同品种苹果果实品质分析[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 68-72.
[8] 王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.
[9] 潘学军, 张文娥, 李琴琴, 等. 核桃感官和营养品质的主成分及聚类分析[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 195-198.
[10] 张雪波, 肖世青, 杜先锋, 等. 基于主成分分析法的安溪铁观音香气质量评价模型的构建[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 225-230.
[11] 卓春宣, 陈登云. 用主成分分析法选择金柑果实品质的评价因素[J]. 亚热带农业研究, 2011, 7(2): 132-135.
[12] 张家义. 基于猕猴桃采后生理的主成分分析及其与电学指标相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18767-18770.
[13] 倪志华, 郭娟华, 辜青青, 等. 南丰蜜橘品质评价指标的聚类分析[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(4): 670-673.
[14] 深圳市质量技术监督局. DB440300T 25.7—2006预包装猕猴桃购销要求[S]. 2006-03-01.
[15] 中华人民共和国农业部. NYT 1794—2009猕猴桃等级规格[S]. 北京: 中国农业出版社, 2009-12-22.
[16] 成都市猕猴桃协会. 海沃德猕猴桃鲜果分级标准[S]. 2010-06.
[17] 彭永宏. 猕猴桃果实性状记载项目及分级标准的探讨[J]. 四川果树, 1994(1): 15-16.
[18] KAVDIR I, GUYER D E. Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99: 211-219.
[19] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件——兼与刘玉玫, 卢纹岱等同志商榷[J]. 统计研究, 2005, 22(3): 65-69.
[20] 赵瑞蕊, 何结望, 王海明, 等. 基于主成分和聚类分析的湖北烤烟物理质量指标综合评价[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 90-94.
[21] 陈希镇, 曹慧珍. 判别分析和SPSS的使用[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(13): 3567-3571.
[22] RAFAEL C G, Richard E W. Digital image processing[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
[23] 李平平, 邵玉玲, 张发年, 等. 基于统计分析猕猴桃外观指标分级方法的研究[J]. 农机化研究, 2014, 36(4): 167-170.
[24] 丁捷, 刘书香, 宋会会, 等. 猕猴桃果实实生长发育规律[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 473-476.
[25] 杜强, 贾丽艳. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.