

中国冻梨加工品质评价体系构建

王阳, 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 王志华, 杜艳民

(中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100)

摘要: 【目的】对 56 个冻梨品种的 18 项冻梨品质指标进行测定, 构建冻梨的品质评价体系。【方法】通过主成分分析筛选核心指标, 采用频数分布对核心指标进行分级, 在此基础上运用层次分析法确定品质评价指标权重以及评分标准, 最后采用 K 类中心聚类分析和判别分析建立冻梨品质判别函数。【结果】不同冻梨各品种间品质离散程度有差异, 变异系数在 9.97%—360.37%; 通过主成分分析筛选出可溶性固形物含量(TSS)、可滴定酸含量(TA)、固酸比(TSS/TA)、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量 7 项指标为冻梨品质评价核心指标; 综合考虑 7 项指标对冻梨品质的影响程度并进行分级, 通过层次分析法确定 7 项指标的权重系数分别为 0.1176、0.0477、0.2900、0.0166、0.0498、0.1101、0.3683, 由此建立冻梨评分标准; 确定了冻梨品质判别函数, 建模样本和检验样本正确判别率分别达到 97.37% 和 100%, 说明该判别函数具有极高的准确性, 适用于冻梨品质的定性判别。【结论】不同冻梨品种品质可用 TSS、TA 含量、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量 7 项指标进行综合评价, 其中以红南果梨、尖把梨、南果梨、软儿梨、砂糖梨、秋白梨、黄麻槎冻梨品质为优, 可作为冻梨的优选品种。

关键词: 冻梨品质; 评价体系; 主成分分析; 层次分析; 判别函数

Quality Evaluation System Established for Pear Processed by Freezing in China

WANG Yang, JIA XiaoHui, WANG WenHui, TONG Wei, WANG ZhiHua, DU YanMin

(Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning)

Abstract: 【Objective】The aim of this study was to establish a scientific evaluation system capable of assessing frozen pear quality. Eighteen parameters of frozen pear quality were determined. 【Method】Evaluation indices of frozen pear quality were screened by principal component analysis and graded by frequency distribution, and their weight and scoring standard were decided by using an analytic hierarchy process. Discrimination functions were established for frozen pear quality by K-means cluster and discriminant analysis. 【Result】The results showed that parameters of frozen pear quality dispersed with the coefficient of variation from 9.97% to 360.37%. From the 19 parameters, 7 parameters were chosen to evaluate frozen pear quality, including total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA, peel L^* , peel C^* , flesh h and stone cell content. The grading standard and the scoring standard of the 7 parameters were established, and five discrimination functions were developed to determine frozen pear quality, which had satisfactory recognition accuracy up to 97.37% (modeling samples) and 100% (test samples). The discrimination functions were very effective in discriminating frozen pear quality. 【Conclusion】The quality of different frozen pear varieties could be comprehensively evaluated using 7 parameters: TSS, TA, TSS/TA, peel L^* , peel C^* , flesh h and stone cell content. The results of this study indicated that Hongnanguo, Jianbali, Nanguoli, Ranerli, Shatangli, Qiubaili and Huangmacha were the most suitable cultivars to undergo frozen processing.

Key words: frozen pear quality; evaluation system; principal component analysis; analytic hierarchy process; discriminant analysis

收稿日期: 2019-10-31; 接受日期: 2019-02-27

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-29-19)、中国农业科学院科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2015-RIP-06)

联系方式: 王阳, Tel: 0429-3598655; E-mail: wangyang@caas.cn。通信作者王文辉, Tel: 0429-3598188; E-mail: wangwenhui@caas.cn

0 引言

【研究意义】中国作为世界上梨最大的生产国,种植面积和产量均占世界的 70%以上^[1]。但中国的果品加工总量仅占总产量的 10%,远远低于世界水果平均加工量(20%)^[2]。冻梨是一种加工手段简单、营养丰富的加工产品,相对于深加工营养损失更少,且具有清热利咽、止咳降噪、醒酒解腻、促进食欲、帮助消化等功效^[3],但由于目前对冻梨品质缺乏有效的评价体系,研究建立冻梨的品质评价体系,将为今后冻梨工艺优选、营养品质研究及规模化生产提供科学依据。【前人研究进展】近年来,对冻梨的研究主要集中在冻梨基本信息介绍。张文利等^[4]对甘肃地区的冻梨品种进行了阐述,其中多为秋子梨品种;王文辉等^[3]对我国冻梨生产历史、产业现状进行了分析,概述了冻梨的历史文化、品种以及食用方法,提出目前冻梨产业问题较多,如:缺乏统一的产品标准、工艺混乱等;张忠等^[5]对软儿梨冻梨解冻方式进行了研究,得出空气解冻较水浴解冻能更好保持果实品质;王阳等^[6]对冻梨的适宜品种进行了筛选,得出秋子梨品种更适宜做冻梨。

【本研究切入点】目前对冻梨的研究还不够深入,缺乏科学性和准确性的冻梨品质评价体系。【拟解决的关键问题】本研究在对 56 个冻梨品种 18 项品质指标检测基础上,通过主成分分析筛选冻梨品质评价指标,基于频数分布建立冻梨品质评价指标分级标准,通过层次分析法确定冻梨各品质评价指标的权重以及评分标准,利用 K 类中心聚类分析和判别分析建立冻梨品质判别函数。旨在构建冻梨品质评价体系,以期对冻梨品质的科学评价奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

56 个供试梨品种分别于 2016 年 8—10 月手工采摘自国家种质兴城梨资源圃和农户,采摘后立即运往中国农业科学院果树研究所果品贮藏冷库,0℃贮藏待用。选取大小均一、无机械损伤和病虫害的果实。梨品种名称及编号见表 1。

1.2 主要仪器

CR-400 色差仪,日本 Konica minolta 公司;PR-101α 糖量仪,日本 ATAGO(爱宕)公司;Metrohm 808 Titrando 全自动电位滴定仪,瑞士万通公司;

JYZ-E16 榨汁机,九阳股份有限公司;PHS-4CT 微型 pH 计,上海康仪仪器有限公司;GC-2010 Tubro Matrix 40 气相色谱仪,岛津(日本)公司;JA2603B 电子天平,上海精科仪器有限公司;基本型分析研磨机,德国 IKA(爱卡)公司;BC/BD-318HD 冰箱,海尔集团有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验处理 待果实于最佳食用期时(后熟品种需常温(20±1)℃下后熟至硬度 1.5 kg/0.5 cm²左右)置于-20℃冰箱内,冻藏 20 d 后置于 0℃ 24 h,再置于-20℃冰箱内冻藏 150 d 后测定品质指标。

1.3.2 冻梨品质指标测定 果皮、果肉色差值(L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h)采用 CR-400 手持色差仪通过反射法测定。随机选取 10 个大小均匀的果实,擦拭无水后以果皮上两个互相对称的点为测定点,测定果皮色差值;将果皮上两个互相对称的点去皮,测定果肉色差值。

可溶性固形物含量(TSS)采用 PR-101α 糖度计测定。随机选取 10 个大小均匀的果实,去核后于研磨机内捣碎成匀浆,过滤,蒸馏水调零后将滤液滴于糖度计上读数即可,重复 3 次。

可滴定酸(TA)含量采用瑞士 Metrohm 808 Titrando 电位滴定仪测定。称取上述过滤后的果汁 3 g,用蒸馏水定容至 30 mL,用标定过的 NaOH 溶液滴定,重复 3 次。

出汁率测定。随机选取 10 个果实,用榨汁机制取果汁。根据出汁率(%)=果汁质量/果肉质量×100 计算出汁率,重复 3 次。

石细胞含量测定^[7]。石细胞含量(%)=石细胞质量/果肉质量×100,重复 3 次。

乙醇含量采用 GC-2010 Tubro Matrix 40 气相色谱仪测定。称取 1.335—1.350 g NaCl 置于 20 mL 的色谱瓶内,加 1 mL 去离子水,再吸取 5 mL 果汁,封盖,摇匀后置于进样器转盘上,根据峰面积记录乙醇浓度,计算出乙醇含量,重复 3 次。

汁液流失率测定^[8]。汁液流失率(%)=原冻结重量-解冻后重量/原冻结重量×100,重复 3 次。

单果重测定。随机称取 20 个果实称重,重复 3 次。

1.4 数据分析

用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 进行主成分分析、频数分布分析、层次分析、K 类中心聚类分析、判别分析等统计分析。

表 1 冻梨供试品种

Table 1 Tested cultivars of frozen pear

品种			品种			品种		
Cultivar			Cultivar			Cultivar		
Origin			Origin			Origin		
秋子梨 <i>Ussurian</i> pear	八里香	辽宁	秋白梨	河北	鲁沙	云南		
	Balixiang	Liaoning		Qiubaili		Yunan		
	白八里香	辽宁		崇化大梨		浙江		
	Baiba Lixiang	Liaoning		Chonghua Dali		Zhejiang		
	大香水	辽宁		海城慈梨		日本		
	Daxiangshui	Liaoning		Haicheng Cili		Japan		
	红南果	辽宁		海棠酥		日本		
	Hongnanguo	Liaoning		Haitangsu		Japan		
	花盖	辽宁		黄麻槎		日本		
	Huagai	Liaoning		Huangmacha		Japan		
	尖把梨	辽宁		济南小白		韩国		
	Jianbali	Liaoning		Jinan Xiaobai		Korea		
	京白梨	北京		龙灯早		日本		
	Jingbaili	Beijing		Longdengzao		Japan		
	南果梨	辽宁		苹果梨		韩国		
	Nanguoli	Liaoning		Pingguoli		Korea		
	热梨	河北, 辽宁		栖霞大香水		四川		
	Reli	Hebei, Liaoning		Qixia Daxiangshui		Sichuan		
	热秋子	辽宁		石门水冬瓜		朝鲜		
	Requizi	Liaoning		Shimen Shuidonggua		North Korea		
	软儿梨	甘肃		酥木梨		韩国		
	Ruan'erli	Gansu		Sumuli		Korea		
	砂糖梨	辽宁		无籽黄		日本		
	Shatangli	Liaoning		Wuzihuang		Japan		
	小香水	辽宁		雪花梨		美国		
	Xiaoxiangshui	Liaoning		Xuehuali		United States		
	早蜜梨	辽宁		鸭梨		法国		
	Zaomili	Liaoning		Yali		France		
白梨 White pear	黄金对麻	辽宁	早茬梨	四川	新疆梨	新疆		
	Huangjin Duima	Liaoning		Zaochili		Xinjiang		
	早梨	江西		丰水		新疆		
	Zaoli	Jiangxi		Housui		Xinjiang		
	沙河雪	河北		华山		山西		
	Shahexue	Hebei		Whasan		Shanxi		
	短把鸡腿	四川		黄冠		新疆		
	Duanba Jitui	Sichuan		Huangguan		Xinjiang		
	金花梨	四川		黄花				
	Jinhuali	Sichuan		Huanghua				
西洋梨 Common pear			Common pear		Common pear	Bartlee-Max Red		
						United States		
						法国		
						France		
						Guyot		
						新疆		
						Xinjiang		
						Xinjiang		
						山西		
						Xinjiang		
杂交梨 Hybrid pear			Hybrid pear		Hybrid pear	Shanxi		
						Xinjiang		
						Xinjiang		

2 结果

2.1 冻梨品质指标水平分析

冻梨 18 项品质指标的变幅、平均数、变异系数见表 2。由表 2 可知，品种间果皮 L^* 值差异较小，变异系数 (CV) 仅为 9.97%；各品种间果皮 a^* 值差异很大 (CV=112.33%)，其中 2 个品种 (玉露香、新梨 7 号) 为负值，其余均为正值；品种间果皮 b^* 、 C^* 值差

异较大，CV 分别为 33.31%、36.51%；品种间果皮 h 值差异很小，CV 仅为 6.54%，分布在黄色区域；品种间果肉 L^* 值 CV 仅为 11.96%，颜色较果皮浅；果肉 a^* 值、 b^* 值均为正值，果肉均呈黄绿色；品种间果肉 C^* 值变异系数较大 (CV=30.74%)；品种间果肉 h 值差异较小，CV 仅为 10.32%；大多数品种 TSS 在 10% 以上，占 76.79%；品种间 TA 含量差异很大 (CV=77.40%)，TA 含量最低仅为 0.04%，最高达

表 2 冻梨 18 项品质指标的变异情况
Table 2 Variation of 18 indices for frozen pear

指标 Index		变幅 Range	平均值 Mean	变异系数 CV (%)
果皮 Peel	L^*	23.75—36.61	29.92	9.97
	a^*	-0.39—15.04	2.01	112.33
	b^*	0.75—19.97	10.04	33.31
	C^*	5.11—23.21	10.34	36.51
	h	69.61—89.49	80.51	6.54
果肉 Flesh	L^*	35.70—58.33	46.49	11.96
	a^*	0.47—5.98	4.04	33.20
	b^*	7.57—26.79	13.41	33.77
	C^*	8.70—26.93	14.13	30.74
	h	58.95—88.79	71.73	10.32
TSS (%)		7.77—16.67	11.17	17.50
TA (%)		0.040—0.770	0.23	77.40
TSS/TA		21.14—266.74	80.48	71.40
出汁率 Juice yield (%)		40.69—82.07	66.63	14.70
石细胞含量 Stone cell content (g/100 g)		0.25—74.68	2.73	360.37
乙醇含量 Alcohol content (mg·L ⁻¹)		31.89—8098.15	770.47	253.77
汁液流失率 Juice leakage rate (%)		0.02—20.64	1.10	253.77
单果重 Single fruit weight (g)		33.92—380.25	176.20	48.31

0.77%；品种间固酸比差异很大，CV 为 71.40%；品种间出汁率差异不大，CV 为 14.70%；品种间石细胞含量、乙醇含量、汁液流失率、单果重差异很大，CV 分别为 360.37%、253.77%、253.77%和 48.31%。由于涵盖了白梨、秋子梨、砂梨、西洋梨等梨品种，鲜果品种间品质差异较大，因此整体呈现出较大的差异。

2.2 冻梨品质评价指标的确定

对 18 项冻梨品质指标进行主成分分析，各因子系数、特征值及方差贡献率见表 3，以特征值大于 1 的原则提取出 4 个主成分，累积贡献率为 82.05%，包含了原始数据的大部分信息^[9]。其中，第 1 主成分包含了原始信息的 28.20%，主要由 TSS、TA、TSS/TA 决定，反应了冻梨酸甜程度，命名为口味因子；第 2 主成分包含了原始信息的 23.75%，主要由果皮 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h 值决定，反应了冻梨果皮颜色，命名为果皮色泽因子；第 3 主成分包含了原始信息的 17.73%，主要由果肉 a^* 、 h 值决定，反应了冻梨果肉颜色，命名为果肉色泽因子；第 4 主成分包含了原始信息的 12.37%，主要由石细胞含量决定，反应了冻梨果肉粗糙程度，命名为粗糙度因子。其中，在果皮色泽因子

指标中， C^* 值的因子权重最大（以绝对值论，下同），且 C^* 值、 h 值均可由 a^* 、 b^* 导出，故选择果皮 L^* 、 C^* 值代表果皮色泽因子；同理在果肉色泽因子指标中，果肉 h 值因子权重大于果肉 a^* 值，故选择果肉 h 值代表果肉色泽因子。

基于上述分析，确定 TSS、TA 含量、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量 7 项指标为冻梨品质评价指标，其中，TSS、TA 含量、TSS/TA 为味觉品质指标，果皮 L^* 、果皮 C^* 值为果皮色泽品质指标，果肉 h 值为果肉色泽品质指标，石细胞含量为口感品质指标。

2.3 冻梨品质评价指标分级标准的建立

利用 SPSS 数据处理软件对 TSS、TA、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量进行频数分布分析，划分成 5 级（极低、低、中、高和极高）^[10]，同时利用单个样本 K-S 进行检验，以概率值大于 0.05 表示分级呈正态分布^[11]。冻梨 7 项品质评价指标的分级标准及各级的样品分布见表 4，每组中的数据含这组起止范围的最低值，不含最高值。由表 4 可知，除石细胞含量去掉一个拖尾（黄金对麻）后符合正态分布外，其他 7 项指标均符合正态分布。从样

表 3 冻梨 18 项品质指标主成分分析结果

Table 3 Factor analysis of 18 indices for frozen pear

指标 Index	因子权重 Component weight			
	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
果皮 L^* Peel L^*	0.059	0.748	0.191	-0.019
果皮 a^* Peel a^*	0.024	0.890	-0.057	0.103
果皮 b^* Peel b^*	-0.014	0.944	0.142	-0.088
果皮 C^* Peel C^*	-0.022	0.974	0.097	-0.045
果皮 h Peel h	-0.167	-0.771	-0.006	-0.038
果肉 L^* Flesh L^*	0.680	0.054	-0.357	0.400
果肉 a^* Flesh a^*	0.329	-0.013	-0.859	-0.028
果肉 b^* Flesh b^*	0.649	0.147	0.558	0.394
果肉 C^* Flesh C^*	0.675	0.149	0.498	0.408
果肉 h Flesh h	0.228	0.087	0.927	0.124
TSS	0.723	-0.102	-0.139	0.176
TA	0.942	0.042	-0.052	0.152
TSS/TA	-0.743	-0.155	-0.014	-0.074
出汁率 Juice yield	-0.415	-0.123	0.172	-0.674
石细胞含量 Stone cell content	-0.047	-0.105	0.290	0.834
乙醇含量 Alcohol content	0.514	0.079	0.149	0.341
汁液流失率 Juice leakage rate	-0.020	0.315	0.416	-0.0364
单果重 Single fruit weight	-0.648	-0.023	-0.278	-0.224
特征值 Eigenvalue	5.686	3.927	2.487	1.048
贡献率 Percent of variance (%)	28.02	23.75	17.73	12.37

表 4 冻梨 7 项品质评价指标的分级标准

Table 4 Grading of 7 evaluation indices for frozen pear

指标 Index	样本量 Sample size	等级 Grade	极低 Lower	低 Low	中 Medium	高 High	极高 Higher	概率值 Probit
果皮 L^* Peel L^*	56	标准 Standard	<26.32	26.32—28.89	28.89—31.45	31.45—34.02	>34.02	0.593
		样品分布 Distribution (%)	7.14	35.71	32.14	12.50	12.50	
果皮 C^* Peel C^*	56	标准 Standard	<8.73	8.73—12.35	12.35—15.97	15.97—19.59	>19.59	0.405
		样品分布 Distribution (%)	35.71	44.64	10.71	5.36	3.57	
果肉 h Flesh h	56	标准 Standard	<64.91	64.91—70.88	70.88—76.85	76.85—82.82	>82.82	0.735
		样品分布 Distribution (%)	16.07	33.93	30.36	8.93	10.71	
TSS	56	标准 Standard	<9.70	9.70—11.62	11.62—13.55	13.55—15.47	>15.47	0.641
		样品分布 Distribution (%)	17.86	44.64	28.57	5.36	3.57	
TA	56	标准 Standard	<0.186	0.186—0.332	0.332—0.478	0.478—0.624	>0.624	0.155
		样品分布 Distribution (%)	53.57	23.21	12.50	5.36	5.36	
TSS/TA	56	标准 Standard	<70.26	70.26—119.38	119.38—168.50	168.50—217.62	>217.62	0.059
		样品分布 Distribution (%)	57.14	17.86	16.07	7.14	1.79	
石细胞含量 Stone cell content	55	标准 Standard	<0.92	0.92—1.60	1.60—2.27	2.27—2.95	>2.95	0.466
		样品分布 Distribution (%)	34.55	30.91	21.82	3.64	9.09	

品分布上看,果皮 L^* 、 C^* 、 h 值、TSS多集中在低等级;TA含量、TSS/TA极低的样品超过1/2;石细胞含量极低的样品约占34.55%,其次是低等级的样品(30.91%),高等级样品仅占3.64%。

2.4 冻梨品质评价指标评分标准的建立

采用1—9标度法^[12],结合专家经验,构造出层次结构关系(表5)以及判断矩阵(表6)。各判别矩阵的CI、CR值均满足 $CI<0.1$, $CR<0.1$,说明建立的判断矩阵具有满意的一致性,接受层次总排序结果^[13],得到TSS、TA含量、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量7项指标的权重分别为0.1176、0.0477、0.2900、0.0166、0.0498、0.1101、0.3683。可见,石细胞含量和TSS/TA对冻梨品质贡献最大,

其次是TSS和果肉 h 值,TA含量和果皮 C^* 对冻梨品质的影响较小,以果皮 L^* 值对冻梨品质的影响最小。

分别利用冻梨7项指标的权重值乘以100作为该指标的满分值,各评价指标满分之之和为100分,以各评价指标满分值的10%为级差,确定各指标分级的得分^[14]。正向指标(果皮C值、SSC、TA)以最高等级为满分,其前各等级得分以10%的级差递减;负向指标(果皮 L^* 值、果肉 h 值、石细胞含量)以最低等级为满分,其后各等级得分以10%的级差递减;中性指标(TSS/TA)以中等级为满分,由于中国人喜甜,TSS/TA由中向极低,得分以满分值的20%为级差;TSS/TA由中向极高,得分以满分值的10%为级差。各指标的评分标准见表7。

表5 7项冻梨品质评价指标的层次结构
Table 5 Hierarchical structure of 7 evaluation indices for frozen pear

冻梨品质 (A) Frozen pear quality						
味觉品质 (B1) Taste quality			果皮色泽品质 (B2) Peel color quality		果肉色泽品质 (B3) Flesh color quality	口感品质 (B4) Mouthfeel quality
TSS (C1)	TA (C2)	TSS/TA (C3)	果皮 L^* (C4)	果皮 C^* (C5)	果肉 h (C6)	石细胞含量 (C7)

表6 判别矩阵及其一致性检验
Table 6 Discriminant matrix and its consistency

A	B1	B2	B3	B4	B1	C1	C2	C3	B2	C5	C6	B3	C7	B4	C8
B1	1	7	5	1	C1	1	3	1/3	C5	1	1/3	C7	1	C8	1
B2		1	1/3	1/3	C2		1	1/5	C6		1				
B3			1	1/5	C3			1							
B4				1											
CI=0.083						CI=0.019				CI=0.00		CI=0.00		CI=0.00	
CR=0.092						CR=0.033				CR=0.00		CR=0.00		CR=0.00	

表7 冻梨7项品质评价指标的评分标准
Table 7 Score of 7 evaluation indices for frozen pear

指标 Index	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score
果皮 L^* Peel L^*	<26.32	1.66	26.32—28.89	1.49	28.89—31.45	1.33	31.45—34.02	1.16	>34.02	1.00
果皮 C^* Peel C^*	<8.73	2.99	8.73—12.35	3.49	12.35—15.97	3.98	15.97—19.59	4.48	>19.59	4.98
果肉 h Flesh h	<64.91	11.01	64.91—70.88	9.91	70.88—76.85	8.81	76.85—82.82	7.71	>82.82	6.61
TSS	<9.70	7.06	9.70—11.62	8.23	11.62—13.55	9.41	13.55—15.47	10.58	>15.47	11.76
TA	<0.186	2.86	0.186—0.332	3.34	0.332—0.478	3.82	0.478—0.624	4.29	>0.624	4.77
TSS/TA	<70.26	17.40	70.26—119.38	23.20	119.38—168.50	29.00	168.50—217.62	26.10	>217.62	23.20
石细胞含量 Stone cell content	<0.92	36.83	0.92—1.60	33.15	1.60—2.27	29.46	2.27—2.95	25.78	>2.95	22.10

2.5 冻梨品质判别函数的建立

用冻梨的 7 项品质评价指标权重乘以对应品质指标得分经标准化后的数值,计算出 56 个样品的综合得分,用 K 类中心聚类分析将 56 个样品依综合得分划分为 5 类,其品质依次为优、良、中、差和极差^[15]。从 5 类样品中各抽取 38 个样品(2/3 样品)作为建模样本用于建立判别函数,余下 18 个样品(1/3 样品)作为检验样本用于检验判别函数的准确性。分别得到 5 个 Fisher 判别函数^[16]:

$$y_1=-215.937.89x_1-2.25x_2+0.628x_3+5.86x_4+143.53x_5+0.95x_6-6.12x_7$$
$$y_2=-192.35+7.01x_1-2.575x_2+0.92x_3+7.14x_4+99.51x_5+0.70x_6-5.04x_7$$
$$y_3=-4085.51-4.38x_1-2.53x_2+0.74x_3+11.30x_4-479.37x_5-0.83x_6+111.05x_7$$
$$y_4=-359.551+10.32x_1-3.02x_2+0.29x_3+5.16x_4+260.19x_5+1.57x_6-7.81x_7$$
$$y_5=-408.99+10.22x_1+0.52x_2+3.52x_3+309.73x_4+1.80$$

$x_5-8.31x_6-408.99x_7$

式中, x_1 — x_7 分别代表果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、SSC、TA 含量、SSC/TA、石细胞含量 7 项冻梨品质评价指标的得分, y_1 — y_5 分别代表优、良、中、差和极差。

将 TSS、TA 含量、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量的得分分别代入上述函数,计算函数值,第几个判别函数值最大,则该冻梨品质就属于第几类。由表 7 可知,在研究的 56 个品种中,南果梨、红南果、尖把梨等 7 个品种冻梨品质为优,酥木梨、无籽黄、丰水等 10 个品种的冻梨品质为差,以黄金对麻冻梨品质最差(石细胞含量太高)。用上述判别函数对建模样本(38 个品种)进行判别,有 1 个第 3 类样品(品质中)误判为了第 2 类样品(品质良),判对的概率为 97.37%。用上述判别函数对检验样本(18 个品种)进行判别,判对的概率为 100%。可见,所建立的判别函数正确判别率极高,完全适用于冻梨品质综合判别。

表 8 冻梨品质情况
Table 8 The quality of frozen pear

品种 Cultivar	冻梨品质 Quality of frozen pear	品种 Cultivar	冻梨品质 Quality of frozen pear	品种 Cultivar	冻梨品质 Quality of frozen pear
八里香 Balixiang	良 Good	秋白梨 Qiubaili	优 Excellent	鲁沙 Lusha	中 Medium
白八里香 Baibalixiang	良 Good	崇化大梨 Chonghua Dali	中 Medium	蒲瓜梨 Puguali	良 Good
大香水 Daxiangshui	差 Inferior	海城慈梨 Haicheng Cili	中 Medium	石井早生 Lshiiwase	差 Inferior
红南果 Hongnanguo	优 Excellent	海棠酥 Haitangsu	良 Good	土佐锦 Tosanishiki	差 Inferior
花盖 Huagai	中 Medium	黄麻糕 Huangmacha	优 Excellent	晚三吉 Okusankichi	中 Medium
尖把梨 Jianbali	优 Excellent	济南小白 Jinan Xiaobai	中 Medium	晚秀 Mansoo	中 Medium
京白梨 Jingbaili	中 Medium	龙灯早 Longdengzao	中 Medium	万寿 Manju	中 Medium
南果梨 Nanguoli	优 Excellent	苹果梨 Pingguoli	良 Good	秀黄 Shuwhang	差 Inferior
热梨 Reli	中 Medium	栖霞大香水 Qixia Daxiangshui	中 Medium	香麻 Xiangma	良 Good
热秋子 Reqiuzi	中 Medium	石门水冬瓜 Shimen Shuidonggua	良 Good	延边碾子 Yanbian Guanzi	中 Medium
软儿梨 Ruanerli	优 Excellent	酥木梨 Sumuli	差 Inferior	圆黄 Wonhwang	中 Medium
砂糖梨 Shatangli	优 Excellent	无籽黄 Wuzihuang	差 Inferior	早生赤 Waseaka	差 Inferior
小香水 Xiaoxiangshui	中 Medium	雪花梨 Xuehuali	良 Good	红巴梨 Bartlee-Max Red	良 Good
早蜜梨 Zaomili	良 Good	鸭梨 Yali	中 Medium	三季梨 Docteur Jules Guyot	差 Inferior
黄金对麻 Huangjin Duima	极差 Terrible	早茬梨 Zaochili	中 Medium	黄酥霉 Huangsumeimei	中 Medium
早梨 Zaoli	中 Medium	丰水 Housui	差 Inferior	库尔勒香梨 Korla pear	差 Inferior
沙河雪 Shahexue	中 Medium	华山 Whasan	良 Good	玉露香 Yuluxiang	良 Good
短把鸡腿 Duanba Jitui	中 Medium	黄冠 Huanggan	中 Medium	新梨 7 号 Xinli No.7	中 Medium
金花梨 Jinhuali	中 Medium	黄花 Huanghua	中 Medium		

3 讨论

3.1 冻梨评价指标的确定

与鲜果相比, 冻梨最大的变化是果皮颜色呈黑褐色, 这是由于梨果经反复冻融后细胞破裂, 非酶促褐变和酶促褐变同时发生, 并且梨果皮的酚类物质显著高于果肉所造成, 更加说明了表皮褐变程度较果肉严重的多^[16-17]。据在长春、延边、甘肃等地区调研发现, 冻梨表皮越黑越受人们喜爱, 食用方法多为解冻后直接剥皮食用, 黑褐色的表皮已成为冻梨的最基本特征, 果皮、果肉的色差值 (L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h) 可以全面评价颜色的变化, 色差计早已在梨汁、苹果汁、南果梨褐变等方面得到广泛应用; 糖酸含量是梨果的主要营养及风味物质, 通常以固酸比来综合评价果实的风味变化; 不同梨品种果实石细胞含量存在很大差异, 这是鉴别梨果肉品质的重要依据之一。

本研究通过主成分分析以降维的方式将 18 项冻梨品质指标转化成几个综合指标, 根据特点对其分类命名, 达到简化数据和揭示变量间关系的目的^[18-19], 利用主成分分析法筛选关键指标的分析方法在华红苹果^[20]、番茄^[21]等品质研究中早已应用。在冻梨品质评价体系, 得到了 TSS、TA 含量、TSS/TA、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量 7 项指标为冻梨品质评价指标, 这与冻梨品质的变化最为密切, 充分体现了冻梨的品质特点。

3.2 评价指标的分级及判别函数的确定

频数分布可将统计数据分成若干组别, 明确各样品的分布情况, 通常以划分成 5 级 (极低、低、中、高和极高) 居多, 能够更加准确的反映目标样品的等级分布, 再结合层次分析法确定各指标的评分标准, 且层次分析是对一些较为复杂、模糊的问题做出决策的简易方法^[11], 此法广泛应用于苹果汁^[22]、油桃汁^[12]和宣木瓜果脯^[23]等品质评价研究, 可科学、准确地确定指标权重, 但在进行 K-S 检验时发现, 因黄金对麻的石细胞含量高达 74.68 g/100 g, 影响了石细胞含量的正态分布, 将其舍去后符合正态分布, 分析得出黄金对麻果实品质下降 (石细胞含量高) 与资源圃管理及当年天气密切相关。

判别函数可以用一些函数来表示和鉴别某个特征数值属于哪个类别, 该方法在香榧籽^[24]、甜瓜^[25]、红茶^[26]、葡萄酒香气鉴别^[27]、猕猴桃和柚子分类及指纹图谱鉴别^[28]等方面得到了应用。本研究针对极差、差、中、良和优 5 类冻梨, 建立了冻梨品质判别函数, 建

模样本和检验样本正确判别率分别达到 97.37% 和 100%, 显示了极高的判别准确性。因此, 这些判别函数完全可用于冻梨品质优劣的判别与分类, 成为评价冻梨品质的重要技术手段。

冻梨是一种传统的加工食品, 经常在北方春节前后食用, 但对于从未接触过冻梨的人们来说, 由于对冻梨的认识不够, 将冻梨误认为烂果, 同时因加工技术手段落后, 外包装差, 外观品质一般, 严重制约了冻梨产业的发展。通过对冻梨品质评价体系研究不仅可以确定评价冻梨的关键指标, 而且可以筛选出优异的冻梨品种。拟选南果梨、尖把梨等优异冻梨品种, 以后熟硬度、解冻次数等因素筛选最佳工艺, 通过筛选出的最佳工艺参数系统的评价冻梨色、香、味及质地的变化, 进一步推动冻梨产业的标准化、规模化生产, 为冻梨的产业及技术推广奠定基础。

4 结论

冻梨品质评价指标可用可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、果皮 L^* 值、果皮 C^* 值、果肉 h 值、石细胞含量 7 项品质指标来评价; 建立了评价指标分级及标准, 为冻梨的品质评价提供了依据; 同时, 建立的冻梨品质判别函数具有极高的判别准确性, 可用于冻梨品质定性判别。

References

- [1] 张武超. 中国梨出口增长影响因素分析 (1992~2015 年). 绿色科技, 2008(14): 260-264.
ZHANG C W. Analysis of the factor affecting the growth of China's pear (1992-2015). *Journal of Green Science and Technology*, 2008(14): 260-264. (in Chinese)
- [2] 邱静, 邹礼根, 赵芸, 陈飞东, 刘军波. 梨汁加工工艺关键技术研究进展. 农产品加工(学刊), 2012(3): 80-83.
QIU J, ZOU L G, ZHAO Y, CHEN F D, LIU J B. Advances of key technologies in pear juice processing. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2012(3): 80-83. (in Chinese)
- [3] 王文辉, 佟伟, 贾晓辉. 我国冻梨生产历史、产业现状与问题分析. 保鲜与加工, 2015, 15(6): 1-6, 12.
WANG W H, TONG W, JIA X H. Investigation and analyses of the frozen pear production history present situation and the industrial problems. *Storage and Process*, 2015, 15(6): 1-6, 12. (in Chinese)
- [4] 张文利, 魏永波, 罗健毅, 马浩轩, 王筱姝, 方彩霞, 吴步梅. 甘肃兰州的冻梨主要品种. 林业科技通讯, DOI: 10. 13456/j.cnki.lykt. 2018.07.17.0003.

- ZHANG W L, WEI Y B, LUO J Y, MA H X, WANG X S, FANG C X, WU B M. The main varieties of frozen pears in Lanzhou, Gansu province. *Forest Science and Technology*. DOI: 10.13456/j.cnki.lykt.2018.07.17.0003. (in Chinese)
- [5] 张忠, 马朝玲, 丁若珺, 毕阳, 王毅, 魏永波. 不同解冻方式对软儿梨果实品质与抗氧化物质含量的影响. *食品科学*, 2018, 39(3): 236-244.
- ZHANG Z, MA Z L, DING R J, BI Y, WANG Y, WEI Y B. Effects of different thawing methods on fruit quality and antioxidant compound contents of 'Ruan'er'. *Food Science*, 2018, 39(3): 236-244.
- [6] 王阳, 王文辉, 贾晓辉, 佟伟, 王志华, 杨晓龙. 梨不同品种果实冻藏品质性状分析与适宜品种筛选. *中国农业科学*, 2017, 50(17): 3400-3412.
- WANG Y, WANG W H, JIA X H, TONG W, WANG Z H, YANG X L. Evaluation of frozen fruit quality of different pear cultivars. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(17): 3400-3412. (in Chinese)
- [7] 聂继云, 李静, 杨振锋, 张红军, 李明强. 冷冻法测定梨的石细胞含量. *果树学报*, 2006, 23(1): 133-135.
- NIE J Y, LI J, YANG Z F, ZHANG H J, LI M Q. Study on the conditions for measuring stone cell content in pear flesh by freezing method. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(1): 133-135. (in Chinese)
- [8] AOAC. *Official Method of Analysis*. 16th ed. Washington DC: Association of the Official Analytical Chemists, 1995.
- [9] 李伟, 郅海燕, 陈杭君, 吴伟杰, 房祥军. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价. *中国食品学报*, 2017, 17(6): 161-171.
- LI W, GAO H Y, CHEN H J, WU W J, FANG X J. Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(6): 161-171. (in Chinese)
- [10] 蒋际谋, 姜帆, 陈秀萍, 胡文舜, 邓朝军, 郑少泉. 枇杷主要品质评价指标研究. *园艺学报*, 2013, 40(12): 2382-2390.
- JIANG J M, JIANG F, CHEN X P, HU W S, DENG Z J, ZHEN S Q. Studies on several quality evaluation indices from loquat germplasm resources. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(12): 2382-2390. (in Chinese)
- [11] 陈平雁. SPSS 统计软件应用教程. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 68-72.
- CHEN P Y. *Application of SPSS*. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 68-72. (in Chinese)
- [12] 焦艺, 刘璇, 毕金峰, 陈芹芹, 吴昕烨, 阮卫红. 基于灰色关联度和层次分析法的油桃果汁品质评价. *中国食品学报*, 2013, 14(12): 154-163.
- JIAO Y, LIU X, BI J F, CHEN Q Q, WU X Y, RUAN W H. Quality evaluation of nectarine juice based on grey interconnect degree analysis and analytic hierarchy process. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 14(12): 154-163. (in Chinese)
- [13] 赵建华, 述小英, 李浩霞, 郑慧文, 尹跃, 安巍, 王亚军. 不同果色枸杞鲜果品质性状分析及综合评价. *中国农业科学*, 2017, 50(12): 2338-2348.
- ZHAO J H, SHU X Y, LI H X, ZHENG H W, YIN Y, AN W, WANG Y J. Analysis and comprehensive evaluation of the quality of wolfberry (*Lycium* L.) fresh fruits with different fruit colors. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(12): 2338-2348. (in Chinese)
- [14] 聂继云, 毋永龙, 李海飞, 王昆, 徐国锋, 闫震, 吴锡. 苹果鲜榨汁品质评价体系构建. *中国农业科学*, 2013, 46(8): 1657-1667.
- NIE J Y, WU Y L, LI H F, WANG K, XU G F, YAN Z, WU X. Evaluation system established for fresh apple juice quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(8): 1657-1667. (in Chinese)
- [15] 吕健, 刘璇, 毕金峰, 周林燕, 吴昕烨. 桃变温压差膨化脆片品质评价研究. *中国农业科学*, 2016, 49(4): 802-812.
- LÜ J, LIU X, BI J F, ZHOU L Y, WU X Y. Research on the quality evaluation for peach and nectarine chips by explosion puffing drying. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(4): 802-812. (in Chinese)
- [16] BILLAUD C, MARASCHIN C, NICOLAS J. Inhibition of polyphenol oxidase from apple by Maillard reaction products prepared from glucose or fructose with L-cysteine under various conditions of pH and temperature. *LWT-Food Science and Technology*, 2004, 37: 69-78.
- [17] 曾少敏. 梨果实主要酚类物质含量及抗氧化活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- ZENG S M. Study on the major phenolic contents and antioxidant activities in pear fruits [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013. (in Chinese)
- [18] 聂继云, 毋永龙, 李海飞, 王昆, 李静, 李志霞, 徐国锋. 苹果品种用于加工鲜榨汁的适宜性评价. *农业工程学报*, 2013, 29(17): 271-278.
- NIE J Y, WU Y L, LI H F, WANG K, LI J, LI Z X, XU G F. Suitability evaluation of apple cultivars for fresh juice-processing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(17): 271-278. (in Chinese)
- [19] MORIGUCHI T, ISHIZAWA Y, SANADA T. Differences in sugar composition in *Prunus persica* fruit and the classification by the principal component analysis. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1990, 59(2): 307-312.
- [20] 杨玲, 张彩霞, 康国栋, 田义, 丛佩华. '华红'苹果果肉的流变特性及其主成分分析. *中国农业科学*, 2015, 48(12): 2417-2427.

- YANG L, ZHANG C X, KANG G D, TIAN Y, CONG P H. Rheologic properties of 'Huahong' apple pulp and their principal component analysis. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(12): 2417-2427. (in Chinese)
- [21] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究. *中国农业科学*, 2014, 47(2): 357-365.
- HAN Z Q, JIANG B. A Study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(2): 357-365. (in Chinese)
- [22] 邓健康, 刘璇, 吴昕烨, 毕金峰, 焦艺, 钟耀广. 基于层次分析和灰色关联度法的苹果(等外果)汁品质评价. *中国食品学报*, 2017, 17(4): 197-208.
- DENG J K, LIU X, WU X Y, BI J F, JIAO Y, ZHONG Y G. Quality evaluation of apple (Substandard) juice from different cultivars based on analytic hierarchy process and grey interconnect degree analysis. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(4): 197-208. (in Chinese)
- [23] 伍亚华, 姜绍通, 许晖, 石亚中, 吴姗姗, 钱时权. 基于层次分析法的宣木瓜果脯感官质量模糊综合评判研究. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 159-162.
- WU Y H, JIANG S T, XU H, SHI Y Z, WU S S, QIAN S Q. Study on sensory evaluation of preserved *Chaenomeles speciosa* S. Nakai based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(12): 159-162. (in Chinese)
- [24] 孙小红, 周瑾, 胡绍泉, 吕洪飞, 王国夫. 香榧籽的品质分级与综合评价研究. *果树学报*, 2018, 35(10): 1-17.
- SUN X H, ZHOU J, HU S Q, LÜ H F, WANG G F. Construction of quality comprehensive evaluation and grading system for *Torreya grandis* cv 'Merrilli'. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(10): 1-17. (in Chinese)
- [25] 张鲁刚, 王鸣. 甜瓜种质资源的判别分析. *园艺学报*, 1992, 19(1): 35-40.
- ZHANG L G, WANG M. Discriminant analysis of germplasm resources of *Cucumins melo* L. *Acta Horticulturae Sinica*, 1992, 19(1): 35-40. (in Chinese)
- [26] 谭超, 戴波, 刘华戎, 龚加顺, 戴臻, 杨翠娟. 不同品种红茶及茶膏的 Fisher 判别分析. *食品科学*, 2016, 37(7): 62-65.
- TAN C, DAI B, LIU H R, GONG J S, DAI Z, YANG C J. Application of Fisher's discriminant analysis to discriminate different varieties of black tea and dianhong tea cream produced by different methods. *Food Science*, 2016, 37(7): 62-65. (in Chinese)
- [27] 李兰晓, 李记明, 徐岩, 范文来, 唐柯, 于英, 沈志毅, 姜文广. 不同产地和烘烤程度橡木片对葡萄酒陈酿香气的影响. *食品科学*, 2015, 36(6): 192-197.
- LI L X, LI J M, XU Y, FAN W L, TANG K, YU Y, SHEN Z Y, JIANG W G. Effects of oak chips with different origins and degrees of toasting on the aroma of wine during aging. *Food Science*, 2015, 36(6): 192-197. (in Chinese)
- [28] SARBU C, NASCU-BRIV R D, KOFWASIK A, GORINSTEIN S, WASIK A, NAMIEŚNIK N. Classification and fingerprinting of kiwi and pomelo fruits by multivariate analysis of chromatographic and spectroscopic data. *Food Chemistry*, 2012, 130(4): 994-1002.
- (责任编辑 赵伶俐)