

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240914006

引用格式: 邓波, 马颖清, 陈柔含, 等. 上海地产猪肉品质主要评价指标的筛选及分级标准的建立[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(3): 184–194.

DENG B, MA YQ, CHEN RH, *et al.* Screening of main evaluation indexes and establishment of grading standards for pork quality in Shanghai [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(3): 184–194. (in Chinese with English abstract).

# 上海地产猪肉品质主要评价指标的筛选及 分级标准的建立

邓波<sup>1</sup>, 马颖清<sup>1</sup>, 陈柔含<sup>1</sup>, 白寅霜<sup>2</sup>, 张岩<sup>2</sup>, 杨晓君<sup>1</sup>,  
李柚<sup>2</sup>, 王金斌<sup>2\*</sup>, 沈秀平<sup>1\*</sup>

(1. 上海市农产品质量安全中心, 上海 201708; 2. 上海市农业科学院生物技术研究所, 上海 201106)

**摘要: 目的** 对猪肉分等分级和优质优价构建合理的猪肉品质评价体系。**方法** 本研究以市面常见杜长大三元杂交猪为对照, 采集中国上海地产7种猪背最长肌进行肉质外观、质构、营养、风味物质等各项指标测定, 并确定地产猪肉品质的13项主要评价指标。为进一步构建上海地产猪肉品质分级标准, 应用因子分析、聚类分析、层次分析建立综合评价体系。**结果** 通过因子分析, 在选定的13项指标中确定7项指标(水分含量、电导率、剪切力、铁、脂肪、肌苷酸和天冬氨酸)作为主因子, 其方差贡献率高达83.829%。利用聚类分析及层析分析, 按照所得的7个品质指标建立3个不同等级的评分标准。**结论** 本研究建立上海地区完整的猪肉品质评价模型和分级评分标准, 实现了上海地区猪肉品质的精准把控, 也为地方猪肉品质评价提供了借鉴。

**关键词:** 猪肉; 聚类分析; 层次分析; 品质评价模型; 分级评分标准

## Screening of main evaluation indexes and establishment of grading standards for pork quality in Shanghai

DENG Bo<sup>1</sup>, MA Ying-Qing<sup>1</sup>, CHEN Rou-Han<sup>1</sup>, BAI Yin-Shuang<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>2</sup>,  
YANG Xiao-Jun<sup>1</sup>, LI You<sup>2</sup>, WANG Jin-Bin<sup>2\*</sup>, SHEN Xiu-Ping<sup>1\*</sup>

(1. Shanghai Agricultural Products Quality and Safety Center, Shanghai 201708, China;  
2. Biotechnology Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China)

**ABSTRACT: Objective** To construct a reasonable pork quality evaluation system for pork grading and high quality and high price. **Methods** In this study, the common Dugong three-dimensional hybrid pigs were used as the control, and the longest back muscles of 7 kinds of pigs from Shanghai were collected for the determination of

收稿日期: 2024-09-14

基金项目: 上海市农业科技创新项目(沪农科(12024004))

第一作者: 邓波(1982—), 男, 硕士, 高级兽医师, 主要研究方向为农产品质量安全预测预警和风险评估, 农产品营养品质研究。E-mail: dengbo.25@163.com

\*通信作者: 王金斌(1982—), 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品品质因子精准识别与速测。E-mail: wangjinbin2013@126.com

沈秀平(1980—), 硕士, 正高级畜牧师, 主要研究方向为农产品质量安全的监测检测、畜牧科技创新和现代农业产业发展。

E-mail: sxp@shac.gov.cn

various indexes such as meat appearance, texture, nutrition and flavor substances, and 13 main evaluation indexes of pork quality in the real estate were determined. In order to further construct the grading standard of Shanghai real estate pork quality, factor analysis, cluster analysis and hierarchical analysis were applied to establish a comprehensive evaluation system. **Results** Through factor analysis, 7 indicators (moisture content, electrical conductivity, shear force, iron, fat, inosinic acid and aspartic acid) were identified as the main factors among the selected 13 indicators, and their variance contribution rate was as high as 83.829%. Using cluster analysis and chromatographic analysis, 3 different grades of scoring criteria were established according to 7 quality indicators obtained. **Conclusion** This study establishes a complete pork quality evaluation model and grading criteria in Shanghai, realizes the accurate control of pork quality in Shanghai, and also provides a reference for local pork quality evaluation.

**KEY WORDS:** pork; cluster analysis; hierarchical analysis; quality evaluation model; grading and scoring criteria

## 0 引言

随着我国居民生活水平的提高,我国猪肉市场呈现出供需两旺的态势,生猪养殖的生产水平也在不断提高。2022年,中国居民家庭人均猪肉消费量为26.9公斤,是国民餐桌的重要肉类食物来源,而上海地区能繁母猪正常保有量为8.5万头,生猪出栏量大于90万头。结合上海当前的市场背景,生产出优质、健康、美味的猪肉已成为养殖行业关注的重点<sup>[1]</sup>。猪肉品质的检测与评价是现阶段猪肉制品行业面临的重要任务。

猪肉的品质评价较为系统,包含多方面重要指标,外观作为评价肉质的最直观指标,与肉品的生物、化学、微生物变化等息息相关<sup>[2]</sup>;质构是评价肉口感的重要指标,质构多面剖析法可客观地评价肉品的食用品质,包括嫩度、风味和多汁性,从而弥补感官评价的缺陷<sup>[3]</sup>;营养指标包含宏量营养素、微量元素、氨基酸等几大类,能够评价肉品蛋白质营养价值,对健康平衡具有重要意义;风味是反映猪肉品质的主要属性之一,包括挥发性物质刺激产生的嗅觉香味感和非挥发性物质刺激产生的味觉滋味感,主要来自氨基酸类和核苷酸类<sup>[4-5]</sup>,这些指标可为猪肉品质的优劣评价提供有效依据。

国内猪肉品质评价体系主要包括感官评定指标(如肉色、pH、嫩度、系水力、风味等),不少学者引入了风味评价指标体系,包括非挥发性滋味和挥发性香味物质的评定<sup>[6]</sup>,同时加入了绿色供应链评价,注重优质、安全猪肉的生产和供应链管理。国外猪肉品质评价体系同样也重视感官评定,包括肉色、嫩度、风味等,同时强调科学化、标准化的评价方法,例如采用近红外光谱分析技术实现肉品食用品质的评价,在肉质风味物质评定中更加重视,为肉质风味评定提供理论支撑<sup>[7-9]</sup>。目前,猪肉品质的评价逐渐由定性、单指标转变为定量、多指标综合评价<sup>[10]</sup>。聚类分析在品质测定方面应用广泛,在不限定分类的数目和结构的情

况下,可以将分类对象按照一定规则分为若干类别,以验证类别之间的差异性,为猪肉评价指标的确立提供确切依据<sup>[11]</sup>。层次分析则可以赋予评价指标合理科学的权重<sup>[12]</sup>,聚类分析和层次分析的结合可以对猪肉品质的评价做出合理的综合评价。为建立上海地区完整科学的猪肉评价体系,本研究基于上述两种方法通过多指标测定,构建了上海地区猪肉品质评价模型和分级评分标准,以期为地方猪肉品质评价方法和思路提供借鉴与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

从中国上海不同地区采集地产猪肉品种(浦东白猪、嘉定梅山猪、松林托佩克、崇明沙乌头、五丰上食、上海白猪、金山枫泾猪)背最长肌,均取自公猪,出栏时间一般在6~8月之间,其中浦东白猪、嘉定梅山猪、崇明沙乌头、上海白猪和金山枫泾猪等地方猪种一般待宰活猪重量在80~95 kg,松林托佩克和五丰上食的洋三元猪种则为(105±5) kg,采样数量见表1。按照NY/T 821—2019《猪肉品质测定技术规程》要求,在宰猪后40 min内按标准操作步骤进行采样,采集倒数第3~4胸椎向后至胸腰椎结合处背最长肌样本,样本存放于4℃保存。共采集95批次样本,并针对猪肉背长肌外观、质构、营养及风味等方面开展电导率、水分、硬度、回弹性、剪切力、脂肪、蛋白质、微量元素、氨基酸、呈味核苷酸等5500余项次品质指标测定。

### 1.2 试剂

钙、铁、锌、铜、硒、镁、钾标准溶液(浓度≥1000 μg/mL,美国Inorganic Ventures公司);缬氨酸、赖氨酸、苏氨酸等18种氨基酸混合标准物(浓度为2.5 mmol/mL,美国Sigma公司);胞苷酸、鸟苷酸、尿苷酸、肌苷酸、腺苷酸(纯度≥95%,德国Dr.Ehrenstorfer GmbH公司)。

表 1 上海地产猪肉品种及采样信息  
Table 1 Varieties and sampling information of Shanghai real estate pork

猪肉品种	宰前体重/kg	样本数量/份	猪肉品种	宰前体重/kg	样本数量/份
浦东白猪	85±5	11	崇明沙乌头	90±5	10
嘉定梅山猪	85±5	20	五丰上食	105±5	10
松林托佩克	105±5	24	上海白猪	85±5	10
金山枫泾猪	85±5	10	总计		95

盐酸、磷酸氢二钾( $K_2HPO_4$ )、磷酸二氢钾( $KH_2PO_4$ )、氢氧化钠(NaOH)(分析纯, 德国 Merck 公司); 乙醚、石油醚、甲醇(优级纯, 美国 Sigma 公司); 高氯酸、磷酸(分析纯, 国药化学试剂有限公司); 实验用水为超纯水。

### 1.3 仪器

MEMMERT UF260 高温烘箱(德国 MEMMERT 公司); PB-10 pH 计[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; 梅特勒 ML204 万分之一天平(美国 Mettler 公司); TA.new plus 质构仪(法国 Isenso Group 公司); WSC-S 型色差计(上海仪电物理光学仪器有限公司); Foss 全自动凯氏定氮仪、Foss 脂肪测定仪(丹麦福斯分析仪器公司); S-433Dsp 氨基酸分析仪[德国 SYKAM(赛卡姆)公司]; PE 350X ICP-MS[铂金埃尔默仪器(上海)有限公司]; Agilent 1260 高效液相色谱仪(配紫外检测器, 美国 Agilent 公司); Thermo Heraeus X1R 高速冷冻离心机(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); Milli-Q 超纯水仪(美国 Millipore 公司); VM-B 涡旋混合器[中国信钰仪器(北京)有限公司]; T18 均质仪(德国 IKA 艾卡集团)。

### 1.4 品质指标的测定

质构指标通过质构仪进行全质构测试(texture profile analysis, TPA), 可测定包括硬度、黏性、弹性、咀嚼性、胶着性、黏聚性、回复性和脆度等, 测定样品规格为  $2\text{ cm}^3$  方块, 每头猪进行 3 次重复测定, 质构仪测定条件: TA/0.5 圆柱形探头, 测试前速度  $5\text{ mm/s}$ , 测试速度  $2\text{ mm/s}$ , 测试后速度  $5\text{ mm/s}$ , 两次下压间隔时间  $5\text{ s}$ , 触发应力  $5\text{ g}$ , 下压距离  $40\%$ ; 剪切力测定参照 NY/T 1180—2006《肉嫩度

的测定 剪切力测定法》; 电导率、水分等外观指标测定参考 NY/T 821—2019, 氨基酸含量测定参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》; 脂肪、蛋白质营养指标分别参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》及 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》; 微量元素测定参考 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》; 呈味核苷酸测定参考陈柔含等<sup>[13]</sup>方法。

### 1.5 猪肉主要品质评价因子的筛选

为确定上海地产猪肉的主要品质指标, 对 13 项品质指标数据进行标准化后, 开展因子分析。通过对品质指标原始数据进行因子分析, 筛选出权重较大的主要品质指标, 进行频次分布分析建立分级标准, 具体的技术路线流程图 1 所示。

### 1.6 品质评价指标分级标准的建立

分级依据参照 GB/T 42069—2022《瘦肉型猪肉质量分级》和 NY/T 3380—2018《猪肉分级》, 基于 7 个主要品质指标的概率分布将上海地产猪肉每个品质指标均分为 3 个等级。7 个主要品质指标基于各自的概率分布, 采用聚类分析将样本猪肉划分为 3 级, 分别为一级、二级和三级。

### 1.7 数据处理

利用 Excel 2021 软件进行数据汇总及整理; 采用 SPSS 26 软件进行方差分析、因子分析及聚类分析, 并利用 Origin 2022 软件进行图片绘制。

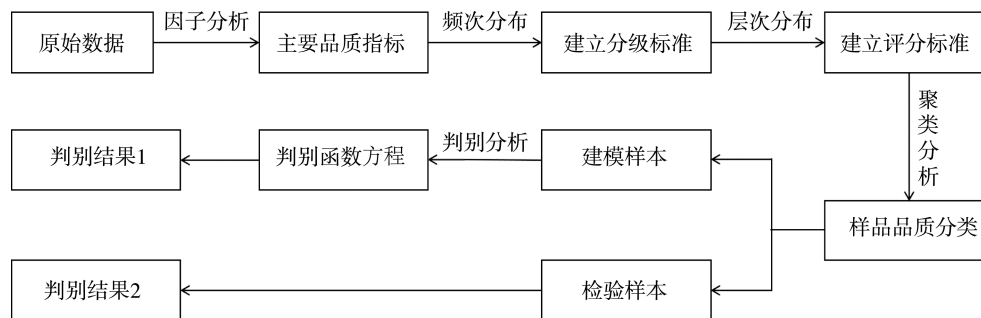


图 1 体系构建技术路线图

Fig.1 System construction technology roadmap

## 2 结果与分析

### 2.1 猪肉品质指标测定结果

猪肉品质指标的选择将外观及理化、质构、营养、风味 4 个维度进行选择, 外观、理化和质构是常认为的食用品质(肉质性状), 包括肉色、pH、大理石纹、肌肉脂肪、滴水损失、嫩度、弹性、水分等; 营养指标则包括蛋白质、氨基酸、脂肪、微量元素、维生素类, 此类检测方法可采用国标方法进行测定, 也可用代谢组学方法进行测定, 便于筛选不同猪肉特征性品质指标; 风味指标包括呈味核苷酸、脂肪酸、鲜味氨基酸, 同样可选用国标方法、电子鼻或代谢组学、风味组学方法进行测定。因此, 可根据不同猪肉品种特性选择合适的指标进行评价。从表 2~5 可以看出, 嘉定梅山猪钙含量较高, 金山枫泾猪和上海白猪钙含量较低; 崇明沙乌头在铁、锌、铜、镁、钾上含量较高, 尤其是崇明沙乌头在腺苷酸上远高于其他猪种, 同时天冬氨酸、鸟苷酸也表现为高于其他猪种; 金山枫泾猪的水分含量和电导率表现较

优秀; 松林托佩克在硒上含量较高; 上海白猪的脂肪含量较低, 但 7 个品种基本没有显著性差异; 蛋白质上, 崇明沙乌头猪较低, 上海白猪含量较高, 其他品种大部分没有显著性差异; 上海白猪在谷氨酸和胞苷酸上表现为含量较高。

### 2.2 猪肉主要品质评价因子的筛选结果

上海地产猪肉的主要品质因子分析结果见表 6, 其中累积方差解释率, 即方差贡献率, 表示每个因子解释的方差占总方差的比例。由因子分析结果可知前 7 个因子方差贡献率达 83.829%, 包含了 13 项品质指标的大部分信息, 为主因子。第 1 因子代表性指标为天冬氨酸、脂肪和电导率, 方差贡献率为 24.460%, 脂肪可定义为营养因子I, 天冬氨酸可定义为风味因子I, 电导率可定义为理化外观因子I; 第 2 因子代表性指标为镁和钾, 可定义为营养因子II, 方差贡献率为 13.990%; 第 3 因子代表性指标为肌苷酸和硬度, 可将肌苷酸定义为风味因子II, 硬度定义为质构因子II, 方差贡献率为 13.347%; 第 4 因子代表性指标为水分和回弹性, 前者可定义为外观营养因子III, 后者可定义为

表 2 上海地区地产猪肉外观及理化指标检测结果  
Table 2 Test results of appearance and physicochemical of pork in Shanghai

项目	浦东白猪	嘉定梅山猪	崇明沙乌头	金山枫泾猪	上海白猪	松林托佩克	五丰上食	总变异系数/%	杜长大*
肉色 $L^*$	45.6±6.16 <sup>ab</sup>	44.24±4.74 <sup>ab</sup>	50.21±6.87 <sup>a</sup>	6.47±4.73 <sup>d</sup>	48.44±6.56 <sup>ab</sup>	46.47±3.05 <sup>ab</sup>	15.48±4.20 <sup>c</sup>	15.58	43.88
肉色 $a^*$	4.34±2.50 <sup>c</sup>	4.08±1.68 <sup>c</sup>	8.35±2.64 <sup>b</sup>	12.9±2.59 <sup>a</sup>	6.98±3.38 <sup>bc</sup>	1.22±0.68 <sup>d</sup>	11.00±1.52 <sup>ab</sup>	4.40	2.14
肉色 $b^*$	9.97±2.33 <sup>a</sup>	9.41±1.27 <sup>ab</sup>	9.37±2.67 <sup>ab</sup>	5.63±1.45 <sup>c</sup>	10.67±1.04 <sup>a</sup>	8.41±1.41 <sup>b</sup>	6.20±1.71 <sup>c</sup>	2.26	10.21
肌肉脂肪/%	5.63±1.31 <sup>b</sup>	5.24±1.33 <sup>b</sup>	4.74±1.06 <sup>b</sup>	1.49±0.08 <sup>d</sup>	4.42±2.29 <sup>b</sup>	8.75±3.92 <sup>a</sup>	3.22±0.77 <sup>c</sup>	3.21	6.01
pH	5.50±0.22 <sup>c</sup>	6.36±0.32 <sup>a</sup>	5.61±0.29 <sup>bc</sup>	6.29±0.14 <sup>ab</sup>	5.63±0.26 <sup>bc</sup>	5.96±0.27 <sup>b</sup>	5.78±0.30 <sup>bc</sup>	0.41	6.00
水分/%	68.27±2.37 <sup>b</sup>	71.20±5.70 <sup>ab</sup>	65.68±6.28 <sup>c</sup>	72.63±2.40 <sup>a</sup>	67.5±2.06 <sup>bc</sup>	69.39±2.14 <sup>b</sup>	69.08±1.47 <sup>b</sup>	4.13	70.00
24 h 滴水损失/%	3.50±1.07 <sup>c</sup>	3.05±1.09 <sup>ab</sup>	5.93±0.26 <sup>a</sup>	1.72±0.55 <sup>c</sup>	4.66±1.79 <sup>b</sup>	2.56±0.66 <sup>d</sup>	4.76±1.73 <sup>b</sup>	1.64	3.08
电导率/(S/m)	5.46±3.77 <sup>ab</sup>	2.66±1.48 <sup>bc</sup>	1.31±0.27 <sup>c</sup>	5.93±2.43 <sup>a</sup>	1.76±2.01 <sup>bc</sup>	3.74±1.52 <sup>b</sup>	1.27±0.07 <sup>c</sup>	2.45	3.70

注: 1. 表中同一行数据后不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。2. 杜长大\*: 数据来源于参考值源自《中国食物成分表(标准版)》第 6 版。-表示书中未涉及相关参数数值。表 3~5 同。

表 3 上海地区地产猪肉质构指标检测结果  
Table 3 Test results of texture of pork in Shanghai

项目	浦东白猪	嘉定梅山猪	崇明沙乌头	金山枫泾猪	上海白猪	松林托佩克	五丰上食	总变异系数/%	杜长大*
硬度 /gf	7250.39±132.41 <sup>c</sup>	7278.05±826.04 <sup>c</sup>	7811.35±2131.51 <sup>c</sup>	6015.34±289.66 <sup>d</sup>	6854.37±321.89 <sup>d</sup>	10096.44±1515.59 <sup>a</sup>	7126.38±358.97 <sup>c</sup>	1773.53	-
断裂性 /gf	6510.84±224.88 <sup>c</sup>	6047.91±1673.69 <sup>c</sup>	7625.05±1759.38 <sup>b</sup>	6321.95±452.37 <sup>c</sup>	5536.91±412.31 <sup>d</sup>	9759.04±1432.55 <sup>a</sup>	4632.59±386.54 <sup>c</sup>	2142.16	-
黏附性 /(gf*sec)	354.61±37.45 <sup>b</sup>	252.11±108.55 <sup>c</sup>	328.64±137.92 <sup>bc</sup>	314.81±48.69 <sup>bc</sup>	381.29±49.68 <sup>b</sup>	504.69±354.48 <sup>a</sup>	344.71±68.39 <sup>bc</sup>	212.42	0.55
弹性 /mm	0.70±0.08 <sup>c</sup>	0.79±0.05 <sup>b</sup>	0.76±0.13 <sup>a</sup>	0.99±0.07 <sup>a</sup>	0.81±0.05 <sup>b</sup>	0.80±0.06 <sup>b</sup>	0.69±0.06 <sup>a</sup>	0.11	0.80
咀嚼性 /gf	2578.92±241.01 <sup>c</sup>	3473.80±549.95 <sup>b</sup>	4297.98±2714.84 <sup>a</sup>	2854.37±198.66 <sup>c</sup>	3569.29±222.35 <sup>b</sup>	4450.96±957.66 <sup>a</sup>	4156.37±298.64 <sup>a</sup>	1206.42	4377.00
胶黏性 /gf	3096.62±327.26 <sup>c</sup>	5017.31±912.37 <sup>b</sup>	5475.1±2502.97 <sup>a</sup>	4445.83±392.27 <sup>c</sup>	4234.94±360.18 <sup>d</sup>	5482.81±796.06 <sup>a</sup>	4098.08±371.09 <sup>c</sup>	1248.59	-
内聚性 /gf	0.69±0.12 <sup>a</sup>	0.64±0.09 <sup>a</sup>	0.71±0.30 <sup>a</sup>	0.65±0.05 <sup>a</sup>	0.64±0.07 <sup>a</sup>	0.55±0.05 <sup>b</sup>	0.66±0.06 <sup>a</sup>	0.13	-
回弹性 /ratio	0.08±0.02 <sup>a</sup>	0.11±0.05 <sup>a</sup>	0.10±0.01 <sup>a</sup>	0.11±0.02 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.08±0.02 <sup>a</sup>	0.03	0.09
剪切力/N	2.45±0.49 <sup>d</sup>	2.66±0.40 <sup>d</sup>	4.79±2.13 <sup>b</sup>	6.73±4.17 <sup>a</sup>	3.65±0.42 <sup>c</sup>	2.90±0.61 <sup>d</sup>	3.35±0.74 <sup>c</sup>	2.01	3.11

注: -表示无此项, 下同。

表 4 上海地区地产猪肉营养物质检测结果  
Table 4 Test results of nutrition substances of pork in Shanghai

项目	浦东白猪	嘉定梅山猪	崇明沙乌头	金山枫泾猪	上海白猪	松林托佩克	五丰上食	总变异系数/%	杜长大*	
蛋白质(g/100 g)	22.45±0.31 <sup>bc</sup>	22.78±1.01 <sup>abc</sup>	21.34±1.47 <sup>d</sup>	21.98±1.26 <sup>cd</sup>	23.48±0.49 <sup>a</sup>	22.74±0.39 <sup>abc</sup>	22.97±0.92 <sup>ab</sup>	1.02	19.60	
脂肪(g/100 g)	7.46±0.30 <sup>a</sup>	4.23±1.41 <sup>b</sup>	3.98±1.57 <sup>b</sup>	3.65±2.27 <sup>b</sup>	1.54±0.58 <sup>c</sup>	7.55±1.67 <sup>a</sup>	3.53±1.09 <sup>b</sup>	2.50	6.40	
氨基酸 (mg/100 g)	缬氨酸	0.89±0.27 <sup>b</sup>	1.01±0.12 <sup>ab</sup>	1.02±0.07 <sup>ab</sup>	1.09±0.07 <sup>a</sup>	1.11±0.03 <sup>a</sup>	1.10±0.10 <sup>a</sup>	0.90±0.21 <sup>b</sup>	0.16	0.75
	赖氨酸	1.51±0.29 <sup>c</sup>	1.66±0.21 <sup>bc</sup>	1.74±0.12 <sup>b</sup>	1.80±0.11 <sup>ab</sup>	1.96±0.07 <sup>a</sup>	1.83±0.13 <sup>ab</sup>	1.53±0.34 <sup>c</sup>	0.24	1.58
	苏氨酸	0.85±0.06 <sup>a</sup>	0.89±0.13 <sup>ab</sup>	0.95±0.33 <sup>ab</sup>	0.87±0.05 <sup>a</sup>	0.84±0.06 <sup>a</sup>	0.98±0.09 <sup>a</sup>	0.88±0.12 <sup>a</sup>	0.14	0.84
	苯丙氨酸	0.74±0.09 <sup>bc</sup>	0.80±0.12 <sup>ab</sup>	0.84±0.06 <sup>ab</sup>	0.63±0.20 <sup>d</sup>	0.88±0.03 <sup>b</sup>	0.88±0.08 <sup>a</sup>	0.68±0.11 <sup>cd</sup>	0.13	0.77
	异亮氨酸	0.86±0.20 <sup>bc</sup>	0.93±0.11 <sup>bc</sup>	0.93±0.07 <sup>bc</sup>	0.97±0.05 <sup>ab</sup>	1.05±0.04 <sup>a</sup>	1.06±0.10 <sup>a</sup>	0.82±0.17 <sup>c</sup>	0.14	0.70
	亮氨酸	1.48±0.24 <sup>cd</sup>	1.60±0.22 <sup>bcd</sup>	1.63±0.12 <sup>abc</sup>	1.64±0.10 <sup>abc</sup>	1.79±0.06 <sup>a</sup>	1.75±0.15 <sup>ab</sup>	1.43±0.30 <sup>d</sup>	0.21	1.47
	蛋氨酸	0.50±0.30 <sup>a</sup>	0.49±0.12 <sup>ab</sup>	0.47±0.17 <sup>a</sup>	0.56±0.03 <sup>a</sup>	0.57±0.03 <sup>a</sup>	0.51±0.07 <sup>a</sup>	0.49±0.11 <sup>a</sup>	0.14	0.29
	必需氨基酸总量	6.83±0.88 <sup>b</sup>	7.38±1.00 <sup>ab</sup>	7.58±0.72 <sup>ab</sup>	7.55±0.46 <sup>ab</sup>	8.20±0.30 <sup>a</sup>	8.11±0.65 <sup>a</sup>	6.73±1.34 <sup>b</sup>	0.95	-
	天冬氨酸	1.76±0.12 <sup>d</sup>	2.06±0.45 <sup>bc</sup>	2.36±0.30 <sup>a</sup>	1.87±0.11 <sup>cd</sup>	1.98±0.08 <sup>cd</sup>	1.95±0.19 <sup>cd</sup>	2.29±0.04 <sup>b</sup>	0.31	1.75
	谷氨酸	2.88±0.15 <sup>b</sup>	2.97±0.37 <sup>b</sup>	3.10±0.49 <sup>ab</sup>	3.21±0.18 <sup>ab</sup>	3.40±0.16 <sup>a</sup>	3.08±0.28 <sup>ab</sup>	2.96±0.53 <sup>b</sup>	0.35	2.91
	组氨酸	0.87±0.10 <sup>bc</sup>	0.94±0.14 <sup>ab</sup>	0.73±0.14 <sup>d</sup>	0.98±0.07 <sup>ab</sup>	1.02±0.04 <sup>a</sup>	1.01±0.08 <sup>a</sup>	0.81±0.20 <sup>cd</sup>	0.14	0.65
	丝氨酸	0.63±0.06 <sup>cd</sup>	0.73±0.18 <sup>abc</sup>	0.83±0.16 <sup>a</sup>	0.73±0.05 <sup>abc</sup>	0.56±0.06 <sup>d</sup>	0.76±0.08 <sup>ab</sup>	0.66±0.10 <sup>bcd</sup>	0.16	0.75
	脯氨酸	0.69±0.05 <sup>b</sup>	0.61±0.10 <sup>b</sup>	0.42±0.12 <sup>c</sup>	0.51±0.06 <sup>c</sup>	0.66±0.02 <sup>b</sup>	0.80±0.08 <sup>a</sup>	0.43±0.13 <sup>c</sup>	0.11	0.78
	甘氨酸	0.78±0.05 <sup>bc</sup>	0.82±0.10 <sup>abc</sup>	0.80±0.09 <sup>bc</sup>	0.84±0.05 <sup>ab</sup>	0.87±0.04 <sup>ab</sup>	0.91±0.08 <sup>a</sup>	0.73±0.21 <sup>c</sup>	0.15	0.84
	丙氨酸	1.05±0.08 <sup>cd</sup>	1.10±0.14 <sup>bcd</sup>	1.12±0.08 <sup>bc</sup>	1.19±0.07 <sup>ab</sup>	1.28±0.03 <sup>a</sup>	1.21±0.12 <sup>ab</sup>	0.98±0.26 <sup>d</sup>	0.18	1.13
	酪氨酸	0.78±0.45 <sup>ab</sup>	0.74±0.15 <sup>ab</sup>	0.83±0.06 <sup>a</sup>	0.63±0.10 <sup>b</sup>	0.78±0.03 <sup>ab</sup>	0.75±0.06 <sup>ab</sup>	0.66±0.06 <sup>ab</sup>	0.15	0.77
精氨酸	1.20±0.28 <sup>a</sup>	1.24±0.21 <sup>a</sup>	1.28±0.10 <sup>a</sup>	1.27±0.08 <sup>a</sup>	1.40±0.05 <sup>a</sup>	1.37±0.11 <sup>a</sup>	1.40±0.82 <sup>a</sup>	0.30	1.22	
微量元素 (mg/kg)	钙	14.14±5.15 <sup>a</sup>	16.81±3.03 <sup>a</sup>	10.61±3.30 <sup>b</sup>	6.06±1.97 <sup>c</sup>	6.36±3.58 <sup>c</sup>	14.14±1.33 <sup>a</sup>	14.32±2.90 <sup>a</sup>	4.76	20.00
	铁	8.61±3.78 <sup>ab</sup>	5.31±1.32 <sup>cd</sup>	9.78±1.95 <sup>a</sup>	3.59±0.47 <sup>d</sup>	3.85±1.00 <sup>cd</sup>	4.46±2.20 <sup>cd</sup>	3.85±1.00 <sup>bc</sup>	2.80	9.00
	锌	19.13±5.69 <sup>b</sup>	16.17±3.00 <sup>bc</sup>	27.67±5.20 <sup>a</sup>	13.99±1.09 <sup>cd</sup>	12.54±2.38 <sup>de</sup>	15.34±2.75 <sup>cd</sup>	10.00±2.22 <sup>e</sup>	5.66	15.40
	铜	0.50±0.14 <sup>bc</sup>	0.52±0.13 <sup>b</sup>	0.82±0.40 <sup>a</sup>	0.33±0.06 <sup>d</sup>	0.44±0.11 <sup>bcd</sup>	0.39±0.08 <sup>bcd</sup>	0.34±0.06 <sup>cd</sup>	0.21	-
	硒	0.19±0.03 <sup>b</sup>	0.15±0.03 <sup>d</sup>	0.19±0.02 <sup>bc</sup>	0.16±0.02 <sup>cd</sup>	0.21±0.04 <sup>b</sup>	0.38±0.04 <sup>a</sup>	0.11±0.03 <sup>e</sup>	0.10	0.07
	镁	247.40±19.15 <sup>bcd</sup>	256.16±40.05 <sup>abc</sup>	282.00±16.87 <sup>a</sup>	265.87±10.59 <sup>ab</sup>	235.89±25.74 <sup>cd</sup>	241.38±10.6 <sup>bcd</sup>	224.02±47.86 <sup>b</sup>	31.11	170.00
	钾	3060.40±150.78 <sup>d</sup>	3627.38±810.73 <sup>bc</sup>	4306.39±267.44 <sup>a</sup>	4137.43±204.96 <sup>ab</sup>	3839.59±295.69 <sup>ab</sup>	3156.44±136.06 <sup>cd</sup>	3681.90±852.81 <sup>b</sup>	635.42	2220.00

表 5 上海地区地产猪肉风味物质检测结果  
Table 5 Test results of flavor substances of pork in Shanghai

项目	浦东白猪	嘉定梅山猪	崇明沙乌头	金山枫泾猪	上海白猪	松林托佩克	五丰上食	总变异系数/%	杜长大*
胞苷酸(μg/g)	32.70±3.71 <sup>b</sup>	33.44±14.8 <sup>b</sup>	26.36±10.93 <sup>bc</sup>	27.15±5.48 <sup>bc</sup>	44.27±14.63 <sup>a</sup>	18.61±4.42 <sup>c</sup>	23.50±3.87 <sup>bc</sup>	12.19	-
尿苷酸(μg/g)	17.67±3.50 <sup>bc</sup>	16.88±4.12 <sup>bc</sup>	22.27±9.45 <sup>b</sup>	42.71±13.02 <sup>a</sup>	23.29±5.78 <sup>b</sup>	11.61±4.94 <sup>c</sup>	40.84±1.89 <sup>a</sup>	12.57	-
鸟苷酸(μg/g)	74.30±5.65 <sup>a</sup>	48.02±21.29 <sup>b</sup>	70.01±45.38 <sup>a</sup>	45.97±11.20 <sup>b</sup>	58.90±8.73 <sup>b</sup>	13.03±4.02 <sup>c</sup>	68.29±17.86 <sup>a</sup>	29.11	-
肌苷酸(mg/g)	2.28±0.51 <sup>a</sup>	1.02±0.36 <sup>a</sup>	0.67±0.23 <sup>b</sup>	2.10±0.86 <sup>a</sup>	0.94±0.19 <sup>b</sup>	0.82±0.15 <sup>b</sup>	2.14±0.19 <sup>a</sup>	0.73	-
腺苷酸(μg/g)	87.07±20.75 <sup>b</sup>	67.44±8.48 <sup>b</sup>	196.50±50.93 <sup>a</sup>	51.86±16.19 <sup>cd</sup>	39.24±14.62 <sup>de</sup>	29.42±7.29 <sup>c</sup>	63.92±2.11 <sup>c</sup>	5.10	-

质构因子III, 方差贡献率为 11.426%; 第 5 因子代表性指标为蛋白质和腺苷酸, 可将蛋白质定义为营养因子IV, 腺苷酸定义为风味因子III, 方差贡献率为 9.243%; 第 6 因子代表性指标为剪切力, 可定义为质构因子IV, 方差贡献率为 6.342%; 第 7 因子代表性指标为铁, 可定义为营养因子V, 方差贡献率为 5.022%。

水分和电导率是猪肉评价的品质指标, 电导率是第 1 因子的主要贡献成分, 水分是第 4 因子的主要成分, 对数据做相关性分析表明, 两者没有关联性, 建议 2 个指标都选择作为外观因子。剪切力、硬度、回弹性是猪肉评价的质构指标, 由于剪切力的因子权重最大(以绝对值论, 下同), 且与其他两个指标显著相关, 故选择剪切力代表质构

因子。蛋白质、脂肪、镁元素、钾元素、铁元素是评价猪肉的营养指标, 铁元素含量是元素中因子权重最大的, 脂肪在第 1 因子中贡献突出, 因此选择铁元素和脂肪作为营养因子。腺苷酸、肌苷酸、天冬氨酸属于风味指标, 由于肌苷酸的因子权重最大, 通过相关性分析得到肌苷酸与腺苷酸、天冬氨酸没有相关性, 天冬氨酸与腺苷酸呈正相关, 且天冬氨酸因子权重大于腺苷酸, 故选择肌苷酸和天冬氨酸代表风味因子。基于上述分析, 确定水分、电导率、剪切力、铁元素、脂肪、肌苷酸和天冬氨酸 7 项指标作为上海地产猪肉品质评价指标, 水分和电导率为外观指标, 剪切力为质构指标, 铁元素和脂肪为营养指标, 肌苷酸和天冬氨酸为风味指标。

### 2.3 品质评价指标分级标准的建立

#### 2.3.1 水分含量

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数

为 19, 所占百分比为 15.050%; 聚类类别 2 的频数为 14, 所占百分比为 64.520%; 聚类类别 3 的频数为 60, 所占百分比为 20.430%, 详见表 7。结果表明对于变量水分含量(%), 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量水分含量(%)在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。GB 18394—2020《畜禽肉水分限量》中对猪肉水分限量( $\leq 76\%$ )进行规定, 因此本项目组将类别 2 的范围定为该限量值。

#### 2.3.2 电导率

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 39, 所占百分比为 10.750%; 聚类类别 2 的频数为 10, 所占百分比为 47.310%; 聚类类别 3 的频数为 44, 所占百分比为 41.950%, 详见表 8。结果表明对于变量电导率, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量电导率在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

表 6 因子载荷系数表  
Table 6 Table of factor load factors

名称	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7	共同度(公因子方差)
铁元素	-0.060	-0.021	0.048	-0.040	0.099	-0.006	0.976	0.970
镁元素	0.133	0.949	-0.048	-0.077	0.108	-0.006	0.015	0.937
钾元素	-0.330	0.817	0.161	0.142	0.147	0.229	-0.023	0.898
天冬氨酸	-0.753	0.114	-0.087	0.324	0.201	0.012	0.039	0.735
肌苷酸	0.287	-0.066	0.841	-0.068	-0.061	-0.185	0.076	0.843
腺苷酸	-0.332	0.297	0.117	-0.312	0.579	0.024	0.371	0.783
蛋白质	0.031	-0.107	0.071	-0.118	-0.918	-0.169	-0.045	0.905
水分	0.065	-0.149	0.147	0.846	-0.094	0.012	-0.145	0.795
脂肪	0.607	-0.364	-0.412	-0.065	0.281	-0.271	0.009	0.828
电导率	0.843	0.081	0.083	0.100	-0.049	0.158	-0.076	0.767
剪切力	0.098	0.111	0.057	0.065	0.163	0.928	-0.003	0.917
硬度	0.199	-0.141	-0.773	-0.115	-0.041	-0.336	-0.001	0.784
回弹性	-0.241	0.208	-0.116	0.761	0.154	0.100	0.087	0.735
特征根	3.180	1.819	1.735	1.485	1.202	0.824	0.653	-
方差解释率/%	24.460	13.990	13.347	11.426	9.243	6.342	5.022	-
累积方差解释率/%	24.460	38.450	51.797	63.222	72.465	78.807	83.829	-

表 7 水分含量数据聚类差异性分析  
Table 7 Cluster differentiation analysis of moisture content data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			F	P
	类别 3 (n=60)	类别 1 (n=19)	类别 2 (n=14)		
水分/%	69.373±1.346	64.153±3.026	76.08±3.652	115.97	0.000***
范围/%	73.0~76.0	<73.0	>76.0	-	-
比例/%	20.430	15.050	64.520	-	-

注: \*\*\*、\*\*、\*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平, 表 8~13 同。

表 8 电导率数据聚类差异性分析  
Table 8 Cluster differentiation analysis of conductivity data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			F	P
	类别 3 (n=44)	类别 1 (n=39)	类别 2 (n=10)		
电导率/(S/m)	3.547±0.755	1.293±0.242	7.38±1.921	239.059	0.000***
范围/(S/m)	1.2~4.8	<1.2	>4.8	-	-
比例/%	41.950	10.750	47.310	-	-

### 2.3.3 剪切力

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 82, 所占百分比为 88.170%; 聚类类别 2 的频数为 10, 所占百分比为 10.750%; 聚类类别 3 的频数为 1, 所占百分比为 1.080%, 详见表 9。结果表明对于变量剪切力, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量剪切力在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

### 2.3.4 铁元素

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 72, 所占百分比为 77.420%; 聚类类别 2 的频数为 1, 所占百分比为 1.070%; 聚类类别 3 的频数为 20, 所占百分比为 21.510%, 详见表 10。结果表明对于变量铁, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量铁在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

### 2.3.5 脂肪

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 36, 所占百分比为 38.710%; 聚类类别 2 的频数为 28, 所占百分比为 31.180%; 聚类类别 3 的频数为 29, 所占百

分比为 30.110%, 详见表 11。结果表明对于变量脂肪, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量脂肪在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

### 2.3.6 肌苷酸

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 55, 所占百分比为 59.140%; 聚类类别 2 的频数为 23, 所占百分比为 24.730%; 聚类类别 3 的频数为 15, 所占百分比为 16.130%, 详见表 12。结果表明对于变量肌苷酸, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量肌苷酸在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

### 2.3.7 天冬氨酸

基于数据特征将样本划分为 3 类, 聚类类别 1 的频数为 33, 所占百分比为 39.790%; 聚类类别 2 的频数为 23, 所占百分比为 24.730%; 聚类类别 3 的频数为 37, 所占百分比为 35.480%, 详见表 13。结果表明对于天冬氨酸, 显著性  $P$  为 0.000\*\*\*, 水平上呈现显著性, 拒绝原假设, 说明变量天冬氨酸在聚类分析划分的类别之间存在显著性差异。

表 9 剪切力数据聚类差异性分析  
Table 9 Cluster difference analysis of shear force data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			$F$	$P$
	类别 1 ( $n=82$ )	类别 2 ( $n=10$ )	类别 3 ( $n=1$ )		
剪切力/N	2.951±0.633	7.128±0.964	16.697±N.A.	364.002	0.000***
范围/N	<6.2	6.2~9.6	>9.6	-	-
比例/%	88.170	10.750	1.080	-	-

注: N.A.表示暂无数据, 图 10 同。

表 10 铁元素含量数据聚类差异性分析  
Table 10 Cluster differentiation analysis of iron content data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			$F$	$P$
	类别 1 ( $n=72$ )	类别 3 ( $n=20$ )	类别 2 ( $n=1$ )		
铁元素/(mg/kg)	4.17±0.858	9.787±2.317	35.048±N.A.	397.747	0.000***
范围/(mg/kg)	<6.2	6.2~7.2	>7.2	-	-
比例/%	77.420	21.510	1.070	-	-

表 11 脂肪含量数据聚类差异性分析  
Table 11 Cluster differentiation analysis of fat content data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			$F$	$P$
	类别 1 ( $n=36$ )	类别 3 ( $n=29$ )	类别 2 ( $n=28$ )		
脂肪/(g/100 g)	2.329±0.831	5.228±0.591	8.039±1.027	372.564	0.000***
范围/(g/100 g)	<3.8	3.8~6.5	>6.5	-	-
比例/%	38.710	30.110	31.180	-	-

表 12 肌苷酸含量数据聚类差异性分析  
Table 12 Cluster differentiation analysis of inosinate content data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			$F$	$P$
	类别 1 ( $n=55$ )	类别 2 ( $n=23$ )	类别 3 ( $n=15$ )		
肌苷酸/(mg/kg)	0.794±0.176	2.452±0.338	1.394±0.246	399.216	0.000***
范围/(mg/kg)	<1.1	1.1~1.9	>1.9	-	-
比例/%	59.140	24.730	16.130	-	-

表 13 天冬氨酸数据聚类差异性分析  
Table 13 Cluster differentiation analysis of aspartic acid data

名称	聚类类别(平均值±标准偏差)			F	P
	类别 3 (n=37)	类别 1 (n=33)	类别 2 (n=23)		
天冬氨酸 (mg/100 g)	1.725±0.116	2.069±0.091	2.446±0.168	245.343	0.000***
范围/(mg/100 g)	<1.91	1.91~2.25	>2.25	-	-
比例/%	35.480	39.790	24.730	-	-

由上述聚类分析方式整合形成分级标准如表 14 所示。

表 14 上海地产猪肉 7 项品质评价指标的分级标准  
Table 14 Grading standards for 7 quality evaluation indicators of pork in Shanghai

指标	一级	二级	三级
水分/%	<73.0	73.0~76.0	>76.0
电导率/(S/m)	<2.6	2.6~4.8	>4.8
剪切力/N	<6.2	6.2~9.6	>9.6
铁元素/(mg/kg)	>7.2	6.2~7.2	<6.2
脂肪/(g/100 g)	3.8~6.5	>6.5	<3.8
肌苷酸/(mg/g)	>1.9	1.1~1.9	<1.1
天冬氨酸/(mg/100 g)	>2.25	1.91~2.25	<1.91

## 2.4 品质综合评价指标评分标准的建立

根据猪肉样品的 7 项品质指标贡献及其重要程度, 采用 1~9 标度法, 构造出优质猪肉品质指标的主观评价判断矩阵, 见表 15。标度从 1~9 表示为 1-同样重要, 3-稍微重要, 5-明显重要, 7-强烈重要, 9-极端重要。例如表 15 中第 1 行(水分)相较于第 2 列(电导率)的矩阵值为 1, 则表明水分含量相较于电导率同样重要; 第 1 行(水分)相较于第 4 列(铁元素)的矩阵为 7, 则表明水分相较于铁元素强烈重要,

表 15 主观评价判断矩阵  
Table 15 Subjective evaluation judgment matrix

指标	水分	电导率	剪切力	铁元素	脂肪	肌苷酸	天冬氨酸
水分	1.000	1.000	3.000	7.000	2.000	3.000	2.000
电导率	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	2.000	3.000
剪切力	0.333	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000
铁元素	0.143	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000
脂肪	0.500	0.333	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500
肌苷酸	0.333	0.500	0.500	1.000	2.000	1.000	2.000
天冬氨酸	0.500	0.333	0.500	1.000	2.000	0.500	1.000

表 18 优质猪肉 7 项品质评价指标的评分标准  
Table 18 Scoring criteria for 7 quality evaluation indicators of high-quality pork

指标	一级	得分	二级	得分	三级	得分
水分/%	<73.0	29	73.0~76.0	19	>76.0	10
电导率/(S/m)	<2.6	19	2.6~4.8	13	>4.8	6
剪切力/N	<6.2	14	6.2~9.6	10	>9.6	5
铁元素/(mg/kg)	>7.2	11	6.2~7.2	7	<6.2	4
脂肪/(g/100 g)	3.8~6.5	7	>6.5	4	<3.8	2
肌苷酸/(mg/g)	>1.9	11	1.1~1.9	7	<1.1	4
天冬氨酸/(mg/100 g)	>2.25	9	1.91~2.25	6	<1.91	3

相反地, 第 4 行(铁元素)相较于第 1 列(水分)为 0.143 分, 则表明铁元素相比于水分不太重要。

采用和积法对各个指标进行层次分析, 权重计算如表 16 所示。结果表明, 水分含量的权重为 29.040%, 电导率的权重为 19.208%, 剪切力的权重为 14.445%, 铁的权重为 11.060%, 脂肪的权重为 6.676%, 肌苷酸的权重为 10.682%, 天冬氨酸的权重为 8.889%, 最大特征根为 7.524。本研究通过一致性比率( $C_R$ )值进行一致性检验分析, 一致性比率( $C_R$ )等于一致性指标( $C_I$ )与随机一致性指标( $R_I$ )的比, 根据  $R_I$  表查到对应的  $R_I$  值为 1.341, 因此  $C_R=C_I/R_I=0.065<0.1$ , 通过一次性检验(如表 17 所示)。

表 16 层次分析结果  
Table 16 Results of analytic hierarchy process

项目	特征向量	权重值/%	最大特征根	$C_I$ 值
水分	1.039	29.040	7.524	0.087
电导率	0.992	19.208	1.000	1.000
剪切力	0.863	14.445	1.000	1.000
铁元素	0.851	11.060	1.000	1.000
脂肪	1.554	6.676	0.500	0.500
肌苷酸	1.005	10.682	0.500	1.000
天冬氨酸	0.695	8.889	0.500	1.000

表 17 一致性检验结果  
Table 17 Results of consistency test

最大特征根	$C_I$ 值	$R_I$ 值	$C_R$ 值	一致性检验结果
7.524	0.087	1.341	0.065	通过

以层次分析确定的指标权重乘以 100, 保留 2 位小数, 作为该品质指标的满分值, 7 项品质指标满分总和为 100 分。以该品质指标满分值的 33% 为三级, 确定各级的得分。正向指标(铁元素、蛋白质、肌苷酸、天冬氨酸)以最高等级为满分, 其后各等级得分依次递减。各指标的评分标准见表 18。

## 2.5 优质猪肉品质判别结果

采用上述所建立的评分标准对 95 批次样品依综合得分进行打分, 结果如表 19 所示。不同猪肉样品评分不同, 个体间存在差异。肉质总体评分在 60~78 分之间, 崇

明沙乌头、浦东白猪和嘉定梅山猪评分要高于金山枫泾猪, 主要是由于铁元素含量、电导率之间存在较大差异的原因。五丰上食(洋三元)由于肌苷酸含量较高, 总分较高。

表 19 样品平均得分结果  
Table 19 Average score results of sample

样品品种	铁元素	天冬氨酸	肌苷酸	脂肪	水分	电导率	剪切力	总分
崇明沙乌头	12.0	9.0	5.0	13.4	14.0	14.0	10.0	77.4
浦东白猪	8.4	3.0	14.0	15.0	15.0	8.6	12.0	76.0
五丰上食	4.1	9.8	14.0	7.0	15.0	13.3	12.0	76.0
嘉定梅山猪	5.2	6.1	6.8	16.2	12.3	11.3	12.0	69.8
松林托佩克	4.3	5.7	5.4	17.7	15.0	8.5	12.0	68.6
上海白猪	4.0	6.2	6.0	7.0	15.0	13.1	12.0	63.3
金山枫泾	4.0	4.2	11.0	11.8	12.5	7.4	9.2	60.1

## 3 讨论

影响猪肉品质的因素众多, 筛选出关键影响因子作为肉质评价指标, 有利于全面地反映各品种的肉质性状, 最大限度地代表较多的原始信息。常见的猪肉评价指标可分为外观、质构、营养、风味 4 大类, 具体包括系水力、风味、嫩度、脂肪含量等。为确定上海地产猪肉评价的主要品质指标, 对 13 项品质指标数据进行标准化后, 开展因子分析, 基于特征值 $>1$ , 累计方差贡献率大于 60%的原则提取主成分个数, 由因子分析结果可知前 7 个因子方差贡献率达 83.829%, 能解释 13 项品质指标的大部分信息, 确定为主因子。外观指标方面, 电导率是第 1 因子的主要贡献成分, 水分含量是第 4 因子的主要贡献成分, 两者在相关性分析中没有关联性, 建议 2 个指标都选择为优质猪肉外观表征上的关键因子。质构指标方面, 剪切力是第 6 因子的主要成分, 而其余硬度、回弹性同样作为质构指标与剪切力呈显著相关, 故选择剪切力代表优质猪肉质构关键因子。营养指标方面, 蛋白质、脂肪、镁、钾、铁均是评价猪肉营养的重要因素, 由于铁含量在各元素中因子的权重最大, 而脂肪在第 1 因子中贡献突出, 因此选择铁和脂肪作为表征猪肉营养指标中的关键因子。腺苷酸、肌苷酸、天冬氨酸属于风味指标, 其中肌苷酸的因子权重最大, 而天冬氨酸又与腺苷酸呈正相关, 且天冬氨酸因子权重大于腺苷酸, 故选择肌苷酸和天冬氨酸作为风味因子。基于上述分析, 确定 7 项指标作为上海地产猪肉品质评价指标: 水分含量和电导率为外观指标, 剪切力为质构指标, 铁和脂肪为营养指标, 肌苷酸和天冬氨酸为风味指标。水分是肌肉中含量最高的成分, 其含量可以用来肉的多汁性, 也是判断肉类是否注水的重要参数<sup>[14]</sup>。新鲜猪背最长肌的水分含量在 63%~76%之间<sup>[15-16]</sup>, GB/T 9959.2—2008《分割鲜

冻猪瘦肉》分割鲜冻猪瘦肉规定分割肉水分含量 $<77%$ , 本研究测得水分含量在该范围内。嫩度是肉类的关键指标, 剪切力越小, 表明肉质越嫩, 从实验结果来看嘉定梅山猪、浦东白猪和松林托佩克猪种均表现出较优的嫩度, 这与涂尾龙等<sup>[17]</sup>、陆雪林等<sup>[18]</sup>结果一致。肉类是人体补充蛋白质的重要饮食之一, 猪肉作为餐桌常见饮食, 《中国食物成分表(标准版)》第 6 版中杜长大品种猪肉的蛋白质含量为 19.6 g/100 g, 所测的 7 个品种猪肉均高于该值, 表明猪肉品质普遍较优。风味也是影响消费者购买的重要因素<sup>[19]</sup>, 肌苷酸表现为猪肉的新鲜度, 肌苷酸不稳定易分解为肌苷, 随放置时间变化含量降低, 浦东白猪和五丰上食三元杂交猪的肌苷酸含量较高; 氨基酸也是肉类主要呈味物质之一, 具有鲜味的氨基酸主要为天冬氨酸和谷氨酸<sup>[20-21]</sup>, 崇明沙乌头的天冬氨酸远高于别的品种。

通过对肉质全面分析测定大量数据, 进行数学分析建立相关性, 采用多元统计分析方法降维数据形成科学有效的综合评价模型, 是目前较为主流的指标体系建立的流程。主要有主成分分析法<sup>[22-24]</sup>、层次分析法<sup>[25]</sup>、灰色关联度法<sup>[26-27]</sup>、聚类分析<sup>[28]</sup>、相关性分析<sup>[29-31]</sup>等方法。李改英等<sup>[22]</sup>运用主成分分析法将数据进行降维处理, 建立权重和综合评价模型, 并得出地方品种综合得分高于三元杂交品种, 与相关文献报道一致, 该评价模型客观可行性高。陈岩松等<sup>[23]</sup>对不同品牌五香驴肉进行品质分析, 主成分分析获得 2 个主要成分因子形成评价模型方程, 将检测结果代入后与感官评价分析相对一致, 表明该模型可作为感官评价法的补充。张燕等<sup>[24]</sup>通过测定了藏羊不同部位肉 9 项品质指标, 采用主成分分析提取了 4 个主成分因子, 按照品质特性对不同部位肉进行聚类分析, 获得肉质相似的肉, 为藏羊不同部位品质评价及精深加工提供理论依据。金莉等<sup>[25]</sup>采用层次分析法根据肉质各指标在整个系统中的重

要性,分别确定各指标权重,以此来确定最终的灰色关联度,根据灰色关联度可以有效反映出各指标与参考值相关程度<sup>[32-33]</sup>。

为建立科学有效的分级评价方法,本研究参照 GB/T 42069—2022 和 NY/T 3380—2018 的分级等级,前者对主要部位肉分级按照一级、二级和三级进行分级,后者将猪胴体 4 个部位肉按照脂肪厚度同样分为 3 个等级,综合考虑评价分析方法,采用聚类分析将所得的 7 个品质指标划分为 3 个等级,分别为一级、二级和三级,形成分级标准。通过 1~9 标度法构建出猪肉的主观评价判断矩阵进行猪肉品质综合评分。利用所建立的评分标准对 95 批次样品进行综合打分,各猪肉样品所得评分不同,说明个体间存在一定差异。综合来看,金山枫泾猪的得分最低,低于崇明沙乌头、浦东白猪和嘉定梅山猪等其他上海地产猪肉,这可能是由于铁元素含量的差异所导致;五丰上食洋三元的猪肉由于肌苷酸含量较高,分数与浦东白猪差异不大;松林托佩克猪种及上海农科院自主杂交获得的上海白猪评分略高于金山枫泾猪,低于其他猪种,一方面是由于猪种限制,另一方面,受限于肉中的铁元素含量。本研究的品质评价方法通过测定大量的品质相关指标,采用 1~9 标度法分析和一致性检验,科学表征各项指标间的相关性和重要性,反映出在猪肉评价的过程中上述指标的选取具有一定的实际意义,同时计算权重建立品质分级,该方法适用于前期研究积累及综合品质体系的构建。本研究建立了上海地产猪肉性质评价体系,使市场对优质肉的评价更为科学与准确,以期为后续优质地产猪肉的深入研究提供参考。

## 4 结 论

通过测定上海地区 4 种地方猪种和 3 杂交猪种背最长肌外观、质构、营养及风味 4 方面品质指标,比对不同猪种间指标差异性,其中嘉定梅山猪钙含量较高;上海白猪蛋白质含量较高;崇明沙乌头在铁、锌、铜、镁、钾、腺苷酸上含量较高;金山枫泾猪的水分和电导率表现较优;松林托佩克在硒上含量较高;上海白猪在谷氨酸和胞苷酸上表现为含量较高。肉品质的好坏,更多地与品种有关<sup>[28,34]</sup>,从实验整体来看,地方猪种的品质优于其他猪种。对所得数据采用因子分析获得主要贡献成分的因子,通过聚类分析确认关键因子为水分、电导率、剪切力、铁、脂肪、肌苷酸和天冬氨酸 7 个指标,并作为上海地产猪肉品质评价的主要指标,并通过层析分析确定 7 个指标的权重,参照 GB/T 42069—2022 分为 3 个等级,形成品质评价体系及评分标准。该评价体系的建立进一步完善了对上海地方猪肉品质评价,为地方猪肉品质相关指标的评价提供借鉴;同时,制定相关猪肉品质分级标准,对猪肉进行分等分级,有利于规范国内猪肉市场,改善猪肉品质优劣状况,促进猪肉行业的健康绿色发展,进一步促进我国经济发展。

## 参考文献

- [1] 李丽梅,李红艳,钱训.农产品品质评价体系的构建[J].食品安全质量检测学报,2023,14(10):199-205.  
LI LM, LI HY, QIAN X. Construction of agricultural product quality evaluation system [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(10): 199-205.
- [2] BARBUT S, BARBUT S. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens [J]. British Poultry Science, 1997, 38(4), 355-358.
- [3] 李娜,张琪,刘洪亮,等.松辽黑猪与引入猪种肉质性状的综合对比分析[J].黑龙江畜牧兽医,2022(16):55-59.  
LI N, ZHANG Q, LIU HL, et al. Comprehensive comparative analysis of meat quality traits between Songliao black pigs and introduced pig breeds [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2022(16): 55-59.
- [4] 葛倩倩.猪肉中呈味核苷酸变化规律及肌苷酸基体标准样品研制[D].北京:中国农业科学院,2020.  
GE QQ. Chinese academy of agricultural sciences thesis [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [5] ZHAO J, WANG M, XIE J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51-60.
- [6] 李思懿,粘颖群,谭建庄,等.基于电子鼻快速检测生鲜猪肉的异味[J].食品工业科技,2023,44(20):338-348.  
LI SY, NIAN YQ, TAN JZ, et al. Application of electronic nose for rapid detection of off-flavour of raw pork [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(20): 338-348.
- [7] 彭彦昆,邹文龙,李荣娇,等.掌上式生鲜猪肉新鲜度无损智能检测分级装置[J].农业工程学报,2023,39(18):262-269.  
PENG YK, ZOU WL, LI RJ, et al. A handheld non-destructive intelligent detection and grading device for the freshness of pork [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(18): 262-269.
- [8] DA CBA, BARBON JS, CAMPOS GFC, et al. Development of a flexible computer vision system for marbling classification [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 142: 536-544.
- [9] MUNEKATA PES, PATEIRO M, LOPEZ-PEDROUSO M, et al. Foodomics in meat quality [J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 38: 79-85.
- [10] 袁艳枝,邓文,金瑶瑶,等.猪肉品质评定指标及影响因素的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2020(1):31-35.  
YUAN YZ, DENG W, JIN YY, et al. Research progress on evaluation indices and influencing factors of pork quality [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(1): 31-35.
- [11] 白世践,李超,户金鸽,等.层次-关联分析法在引种鲜食葡萄品质综合评价中的应用[J].北方园艺,2016(16):1-8.  
BAI SJ, LI C, HU JG, et al. Application of hierarchy-relation analysis in comprehensive evaluation for the quality of introduction table grapes [J]. Northern Horticulture, 2016(16): 1-8.
- [12] 沈甜,牛锐敏,陈卫平,等.应用层次-关联度和聚类分析法评价十八个鲜食葡萄品质[J].北方园艺,2017(23):64-72.  
SHEN T, NIU RM, CHEN WP, et al. Quality assessment of eighteen table grapes by using hierarchy-relation and cluster analysis [J]. Northern Horticulture, 2017(23): 64-72.
- [13] 陈柔含,张维谊,马颖清,等.高效液相色谱法同时测定畜禽产品中 9 种呈味核苷酸方法的建立和应用[J].农产品质量与安全,2024(3):41-48.  
CHEN RH, ZHANG WY, MA YQ, et al. Establishment and application of a method for simultaneous determination of 9 flavor nucleotides in

- livestock and poultry products by high performance liquid chromatography [J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2024(3): 41–48.
- [14] SAMUEL D, TRABELSI S. Influence of color on dielectric properties of marinated poultry breast meat [J]. *Poultry Science*, 2012, 91(8): 2011–2016.
- [15] 雷胜辉, 吴昊旻, 屠珂峰. 杜梅杂交猪生长性能、胴体性状及肉质性状测定报告[J]. *今日养猪业*, 2021(4): 85–90.
- LEI SH, WU HM, TU KF. Determination report of growth performance, carcass traits and meat quality traits of Dumei hybrid pigs [J]. *Pigs Today*, 2021(4): 85–90.
- [16] 薛云, 吴昊旻, 张文刚, 等. 枫泾猪及大枫杂交肉猪生长、胴体和肉质性能的比较分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2024, 60(8): 270–275.
- XUE Y, WU HM, ZHANG WG, *et al.* Comparative analysis of growth, carcass and meat quality properties of Fengjing pig and Dafeng hybrid pig [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(8): 270–275.
- [17] 涂尾龙, 张莺莺, 王洪洋, 等. 嘉定梅山猪与杜长大猪的肉品质对比分析[J]. *上海农业科技*, 2024(4): 66–67.
- TU WL, ZHANG YY, WANG HY, *et al.* Comparative analysis of meat quality of Jiading Meishan pig and Duchang pig [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2024(4): 66–67.
- [18] 陆雪林, 吴昊旻, 薛云, 等. 上海 4 个地方猪种的繁育性能和肉质特性分析[J]. *养猪*, 2020(4): 65–69.
- LU XL, WU HM, XUE Y, *et al.* Analysis of fattening performance and meat quality of four local pig breeds in Shanghai [J]. *Swine Production*, 2020(4): 65–69.
- [19] 袁艳枝, 邓文, 金瑶瑶, 等. 猪肉品质评定指标及影响因素的研究进展[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2020(1): 31–35, 40.
- YUAN YZ, DENG W, JIN YY, *et al.* Research progress on evaluation indices and influencing factors of pork quality [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020(1): 31–35, 40.
- [20] 宋倩倩, 张金枝, 刘健, 等. 不同品种猪背最长肌风味物质的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(19): 9–12.
- SONG QQ, ZHANG JZ, LIU J, *et al.* Study on the flavor compounds of longissimus dorsal muscle of different breeds of pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2016, 52(19): 9–12.
- [21] 葛倩倩, 汤晓艳, 涂婷, 等. 不同品种猪肉鲜味特征比较研究[J]. *肉类研究*, 2020, 34(9): 1–5.
- GE QQ, TANG XY, TU T, *et al.* Comparative study on the umami characteristics of pork from different breeds [J]. *Meat Research*, 2020, 34(9): 1–5.
- [22] 李改英, 王冰洁, 李新建, 等. 基于主成分分析的河南省不同地方品种猪肉品质分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2024, 60(5): 177–182.
- LI GY, WANG BJ, LI XJ, *et al.* Analysis of pork quality of different local varieties in Henan Province based on principal component analysis [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2024, 60(5): 177–182.
- [23] 陈岩松, 李旭, 李春梅, 等. 运用主成分分析法构建五香驴肉品质评价模型[J]. *美食研究*, 2023, 40(3): 67–74.
- CHEN YS, LI X, LI CM, *et al.* Establishment of an evaluation model for spiced donkey meat quality using on principal component analysis [J]. *Journal of Researches Dietetic Science Culture*, 2023, 40(3): 67–74.
- [24] 张燕, 李升升, 赵立柱. 基于主成分和聚类分析的藏羊部位肉品质评价[J]. *食品科技*, 2022, 47(4): 128–133.
- ZHANG Y, LI SS, ZHAO LZ. Evaluation of Tibetan sheep meat quality based on principal component and cluster analysis [J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(4): 128–133.
- [25] 金莉, 张斌, 赵大庆, 等. 层次-灰色关联分析法在肉品嫩化工艺优化中的应用[J]. *安徽工程大学学报*, 2020, 35(5): 42–46.
- JIN L, ZHANG B, ZHAO DQ, *et al.* Application of analytic hierarchy process-grey relation analysis in optimization of meat tenderization process [J]. *Journal of Anhui Polytechnic University*, 2020, 35(5): 42–46.
- [26] 朱盛伟, 李升升, 米玉龙, 等. 基于主成分分析和聚类分析的牦牛头部位肉品质评[J/OL]. *甘肃农业大学学报*, 1–15. [2024-09-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20240428.0947.015.html>
- ZHU SW, LI SS, MI YL, *et al.* Evaluation of different cuts of yak head meat based on principal component analysis and cluster analysis [J/OL]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 1–15. [2024-09-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20240428.0947.015.html>
- [27] 吴慧琳, 李苗云, 朱瑶迪, 等. 基于灰色关联分析 4 种酸肉电子鼻与感官评分之间相关性[J]. *浙江农业科学*, 2020, 61(6): 1168–1175.
- WU HL, LI MY, ZHU YD, *et al.* Correlation analysis between electronic noses and sensory scores of four types of sour meat based on grey correlation analysis [J]. *J Zhejiang Agricultural Science*, 2020, 61(6): 1168–1175.
- [28] BRESOLIN T, PASSAFARO TL, BRAZ CU, *et al.* Investigating potential causal relationships among carcass and meat quality traits using structural equation model in Nelore cattle [J]. *Meat Science*, 2022, 187: 108771.
- [29] 刘显军, 边连全, 陈静, 等. 猪肉品质评价指标及调控肉质基因的研究与应用[J]. *沈阳农业大学学报*, 2011, 42(3): 259–263.
- LIU XJ, BIAN LQ, CHEN J, *et al.* Research and application of meat evaluating indicator and regulator genes influencing pork quality traits [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2011, 42(3): 259–263.
- [30] BRESOLIN T, PASSAFARO TL, BRAZ CU, *et al.* Investigating potential causal relationships among carcass and meat quality traits using structural equation model in Nelore cattle [J]. *Meat Science*, 2022, 187: 108771.
- [31] LEBRET B, LENOIR H, DARÉ S, *et al.* Finishing season and feeding resources influence the quality of products from extensive-system Gascon pigs. Part 1: Carcass traits and quality of fresh loin [J]. *Animal*, 2021, 15(8): 100240.
- [32] ZHANG J, WANG T, YANG C, *et al.* Integrated proteomics and metabolomics analysis revealed the mechanisms underlying the effect of irradiation on the fat quality of Chinese bacon [J]. *Food Chemistry*, 2023, 413: 135385.
- [33] ZUBER EA, OUTHOUSE AC, HELM ET, *et al.* Contribution of early-postmortem proteome and metabolome to ultimate pH and pork quality [J]. *Meat and Muscle Biology*, 2021, 5(1): 1–17.
- [34] CHEN D, WU P, WANG K, *et al.* Combining computer vision score and conventional meat quality traits to estimate the intramuscular fat content using machine learning in pigs [J]. *Meat Science*, 2022, 18: 108727.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)