



李泰, 孙君茂, 黄家章, 卢士军. 不同产地‘富士’苹果果实品质分析及评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(11): 23-29.

LI Tai, SUN Junmao, HUANG Jiazhang, LU Shijun. Fruit quality analysis and evaluation of ‘Fuji’ apples from different producing areas[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(11): 23-29.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.11.03

不同产地‘富士’苹果果实品质分析及评价

李泰 孙君茂 黄家章 卢士军*

(农业农村部食物与营养发展研究所, 北京 100081)

摘要 为比较不同产地‘富士’苹果的综合品质, 从我国山东、陕西和山西3个苹果主产省采集46份‘富士’苹果样品, 测定单果质量、果形指数、着色面积、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和固酸比7项指标, 通过主成分分析法和聚类分析筛选品质核心评价指标, 构建品质评价模型并对不同产地‘富士’苹果品质进行评价。结果表明: 不同主产区‘富士’苹果品质均存在显著差异, 临猗‘富士’苹果单果质量和可滴定酸含量最高, 栖霞‘富士’苹果果形指数、着色面积、果实硬度、可溶性固形物含量和固酸比指标均高于其他地区‘富士’苹果。固酸比、果形指数和果实硬度是‘富士’苹果品质评价的核心指标, ‘富士’苹果品质由高到低的顺序依次为栖霞、蓬莱、临猗、洛川、万荣、白水。

关键词 ‘富士’苹果; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

中图分类号 S661.2

文章编号 1007-4333(2024)11-0023-07

文献标志码 A

Fruit quality analysis and evaluation of ‘Fuji’ apples from different producing areas

LI Tai, SUN Junmao, HUANG Jiazhang, LU Shijun*

(Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China)

Abstract In order to compare the overall quality of ‘Fuji’ apples from different origins, a total of 46 ‘Fuji’ apple samples were collected from three major apple-producing provinces in Shandong, Shaanxi and Shanxi. Fruit weight, fruit shape index, color area, fruit hardness, soluble solid content, titrable acid content and solid acid ratio were determined. Through principal component analysis and cluster analysis, the core quality evaluation indexes were screened, and a quality evaluation model was constructed to evaluate the quality of ‘Fuji’ apples from different producing areas. The results showed that: There were significant differences in the quality of ‘Fuji’ apples in different main producing areas. The fruit quality and titrable acid content of the ‘Fuji’ apples in Linyi were the highest, and the fruit shape index, color area, fruit hardness, soluble solid content and solid acid ratio of the ‘Fuji’ apples in Qixia were all higher than those in other areas. The solid acid ratio, fruit shape index and fruit hardness are the core indexes of ‘Fuji’ apple quality evaluation. The qualities of different ‘Fuji’ apple varieties in descending order are as follows: Qixia, Penglai, Linyi, Luochuan, Wanrong and Baishui.

Keywords ‘Fuji’ apple; principal component analysis; cluster analysis; quality evaluation

收稿日期: 2024-01-03

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2023ZK18)

第一作者: 李泰(ORCID: 0000-0002-8172-8719), 博士研究生, E-mail: litai1010@163.com

通讯作者: 卢士军(ORCID: 0009-0006-8769-3429), 副研究员, 主要从事营养导向型农业、食物损耗与浪费、食物消费、农产品分等分级等研究, E-mail: lushijun01@caas.cn

苹果因其营养价值高、口感丰富而广受消费者青睐。我国苹果种植面积和产量均居世界首位,产量常年占全球苹果产量的44%~50%^[1]。‘富士’苹果是我国目前最主要的鲜食苹果种类,其产量占全国苹果总产量的七成以上^[2]。我国苹果种植区域广阔,依据各地区生态环境可分为:渤海湾产区(鲁、冀、辽、京和津)、黄土高原产区(陕、晋、豫、甘)、西南产区(云、贵、川、鄂和渝)、西北产区(新、宁、青和藏)、东南产区(苏、皖和浙)和东北产区(黑、吉和内蒙古)^[3],受产地和气候的影响,即使是同一品种其品质也会存在较大差异^[4]。

目前苹果品质评价主要有感官评价和理化分析2种,感官评价易受人为因素影响,理化分析结果更为客观。因此,建立以理化分析指标为核心的‘富士’苹果品质评价体系成为当前研究的重点^[5-7]。

已有研究对苹果品质分析及评价提出了许多分析方法:主成分分析法^[8-9]、合理满意度—多维价值理论^[10-11]、层次分析法^[12-13]和灰色关联度分析法^[14-15]等。其中对于苹果品质评价涉及指标和区域有限,评价指标选择系统性不强且存在交叉现象,针对国内不同产区‘富士’苹果品质研究相对不足。

本研究拟采用相关性分析、主成分分析、聚类分析等方法,筛选‘富士’苹果综合品质评价的核心指标,建立‘富士’苹果品质评价模型并对样品进行评价,以期构建我国苹果综合品质评价体系提供理论基础和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料来源

选择山东、陕西和山西3省共6个苹果主产区,46个代表性果园,果园选择条件为,面积>0.6 hm²,连续3年稳产在45 t/hm²以上,果树树龄5~10年,人工疏花疏果、果实套双层纸袋,管理水平较好,主产区(市、区)及试验果园数量见表1。2020年10月—11月对果品进行采样。每个果园随机选择3个采样小区,每个采样小区选择1棵苹果树,分别在离果树1.5 m东、西、南、北4个方位随机摘取1或2个果实样品,每个果园采集不少于12个苹果样品,采摘后8 h内贮藏在4℃的保鲜盒中。苹果随机分为3份,分别用于苹果感官品质检测、理化品质检测和样品复测。

表1 主产区(市、区)及试验果园数量

Table 1 Main producing counties (cities and districts) and number of test orchards

省份 Provinces	主产区(市、区) Main producing counties (cities and districts)	果园数量 Number of apple orchards
山东 Shandong	栖霞市 Qixia	6
	蓬莱区 Penglai	10
陕西 Shaanxi	洛川县 Luochuan	5
	白水县 Baishui	10
山西 Shanxi	万荣县 Wanrong	6
	临猗县 Linyi	9

1.2 苹果样品品质指标选择及检测

样品取回后,天平称量单果质量,游标卡尺测量果实直径/纵径并计算果形指数,目测法测定着色面积,用果实硬度计(GY-1型,上海沪沁仪器设备有限公司)测定果实硬度,用糖度计(阿贝折射仪WAY-2W,上海仪电物理光学仪器有限公司)测量可溶性固形物含量,可滴定酸采用酸碱指示剂滴定法测定^[16],并计算固酸比。

1.3 数据处理

为消除不同指标对结果的影响,对数据进行标准化,公式^[12]为:

$$Z_{Xi} = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (1)$$

式中: Z_{Xi} 为变量*i*的标准化数据; X_i 为变量值; $\bar{X}$ 为变量的平均值。

对标准化后的‘富士’苹果品质指标进行主成分分析,得出各主成分方差贡献率、主成分特征值、特征向量,计算不同产区苹果品质主成分得分,公式为:

$$F_j = \sum_{i=1}^7 e_{ji} Z_{Xi} \quad (2)$$

式中: e_{ji} 为变量*i*的特征向量, F_j 为主成分*j*的得分。

将各主成分相应方差贡献率作为权重,通过主成分得分与相应权重线性加权总和得到综合评价得分。

$$Z = \sum_{j=1}^3 F_j \lambda_j \quad (3)$$

式中: Z 为不同产区苹果品质综合得分; λ_j 为主成分*j*的主成分贡献率。

2 结果与分析

2.1 不同主产区苹果品质分析

‘富士’苹果不同主产区品质检测结果见表 2。‘富士’苹果单果质量平均值为 256.62 g,其中临猗‘富士’单果质量最高,为 284.46 g。果形指数均值为 0.88,整体呈圆形或近圆形,其中栖霞‘富士’苹果最高为 0.94。着色面积均值为 87.27%,除临猗外,所有产区‘富士’苹果均高于 85.00%,其中栖霞‘富士’苹果着色面积最大为 94.88%。果实硬度平均值为 9.56 kg/cm²,其中临猗‘富士’苹果果实硬度最高为 10.01 kg/cm²,栖霞、蓬莱和白水、洛川‘富

士’苹果果实硬度间存在显著差异($P<0.05$)。可溶性固形物质量分数平均值(w)为 12.64%,其中栖霞‘富士’苹果可溶性固形物质量分数最高为 13.79%,且与其他主产区‘富士’苹果存在显著差异($P<0.05$)。‘富士’苹果的可滴定酸质量分数平均值(w)为 0.16%,其中临猗‘富士’苹果可滴定酸质量分数最高为 0.19%。临猗与蓬莱、栖霞的‘富士’苹果可滴定酸质量分数存在显著差异($P<0.05$)。‘富士’苹果固酸比均值为 84.07,其中栖霞‘富士’苹果固酸比最高为 110.58,栖霞与白水、洛川、万荣、临猗的‘富士’苹果固酸比存在显著差异($P<0.05$)。

表 2 不同产区‘富士’苹果品质指标检测结果
Table 2 Quality analysis of ‘Fuji’ apples in different producing areas

项目 Items	单果质量/g Mean fruit weight	果形指数 Fruit shape index	着色面积/% Red color area	果实硬度/ (kg/cm ²) Firmness	w(可溶性固 形物)/% Soluble solid content	w(可滴 定酸)/% Titratable acid content	固酸比 Soluble solids to titratable acidity ratio
栖霞 Qixia	260.80±5.41 ab	0.94±0.01 a	94.88±1.59 a	9.87±0.07 ab	13.79±0.53 a	0.13±0.01 b	110.58±9.08 a
蓬莱 Penglai	253.88±25.94 ab	0.90±0.06ab	89.62±5.29 ab	9.77±0.4 ab	12.82±0.47 b	0.14±0.02 bc	94.43±12.21 ab
洛川 Luochuan	250.55±5.96 ab	0.83±0.02b	90.08±4.50 ab	8.91±0.25 c	12.63±0.29 b	0.16±0.01 abc	79.14±5.18 b
白水 Baishui	234.99±33.57 b	0.86±0.03 ab	85.29±5.97 b	9.16±0.18 c	12.26±0.39 b	0.15±0.03	84.16±12.41 b
临猗 Linyi	284.46±23.13 a	0.89±0.04 ab	83.56±6.00 b	10.01±0.29 a	12.57±0.33 b	0.19±0.05 a	71.48±21.90 b
万荣 Wanrong	266.18±14.89 ab	0.85±0.15 ab	87.33±6.71 ab	9.41±0.77 bc	12.71±0.28 b	0.18±0.04 ab	72.24±15.19 b
平均值 Mean	256.62	0.88	87.27	9.56	12.64	0.16	84.07
变幅 Luffing	193.38~317.38	0.55~1.05	73.25~97.25	8.18~10.73	11.48~14.04	0.11~0.24	51.88~123.09
极差 Range	124.00	0.50	24.00	2.55	2.56	0.13	71.22
标准差 Standard deviation	29.82	10.97	4.10	0.07	6.15	5.09	0.52

注:同一列中,不同字母表示不同产区苹果品质平均值显著差异($P<0.05$)。
Note: In the same column, different letters represent significant differences ($P<0.05$) in the mean values of apple quality in different production areas.

2.2 品质指标相关性分析

表 3 示出‘富士’苹果品质指标标准化后的

相关系数。‘富士’苹果的着色面积与可溶性固形物含量呈极显著正相关。固酸比与可溶性固

形含量呈显著正相关,表明可溶性固形含量越高,固酸比越高。固酸比与可滴定酸含量呈极显著负相关,表明可滴定酸含量越高,固酸比越低。

表3 标准化后‘富士’苹果品质指标间的相关系数
Table 3 Correlation coefficients between quality indicators of ‘Fuji’ apples after standardization

品质指标 Quality indexes	单果质量 Mean fruit weight	果形指数 Fruit shape index	着色面积 Red color area	果实硬度 Firmness	w(可溶性固形物) Soluble solids	w(可滴定酸) Titratable acidity	固酸比 Soluble solids to Titratable acidity ratio
单果质量 Mean fruit weight	1						
果形指数 Fruit shape index	−0.057	1					
着色面积 Red color area	−0.081	0.048	1				
果实硬度 Firmness	0.268	−0.021	−0.023	1			
w(可溶性固形物) Soluble solids	−0.103	0.206	0.498**	0.269	1		
w(可滴定酸) Titratable acidity	−0.220	0.034	−0.151	0.062	−0.125	1	
固酸比 Soluble solids to titratable acidity ratio	−0.171	0.040	0.223	0.044	0.326*	−0.956**	1

注:*和**分别表示在0.05和0.01水平上显著相关。
Note: *and ** indicate correlation at the 0.05 and 0.01 levels.

2.3 品质指标主成分分析
‘富士’苹果样品的7项指标主成分分析结果(表4)表明:前3个主成分的累计方差贡献率达到70.382%,可以代表原始数据的大部分信息。第1主成分包含原先信息的32.623%,主要代表固酸比和可滴定酸质量分数;第2主成分包含原先信息量

表4 7项品质指标的主成分分析结果
Table 4 Results of principal component analysis of 7 quality indicators

项目 Items	因子权重 Component weight		
	因子1 Componen 1	因子2 Componen 2	因子3 Componen 3
单果质量 Mean fruit weight	−0.346	0.381	0.567
果形指数 Fruit shape index	0.130	0.289	−0.485
着色面积 Red color area	0.506	0.436	−0.328
果实硬度 Firmness	0.025	0.629	0.575
w(可溶性固形物) Soluble solid content	0.566	0.660	−0.184
w(可滴定酸) Titratable acid content	−0.853	0.392	−0.294
固酸比 Soluble solids to titratable acidity ratio	0.918	−0.198	0.288
特征值 Eigenvalue	2.284	1.44	1.199
方差贡献率/% Variance	32.623	20.631	17.128
累计方差贡献率/% Cumulative	32.623	53.254	70.382

的 20.631%，主要代表果实硬度和可溶性固形物质量分数；第3主成分包含原先信息的 17.128%，包含了单果质量、果形指数和着色面积。

2.4 聚类分析

根据主成分分析结果,前3个主成分的累计方差贡献率为 70.382%，因此所以在聚类时可将指标聚为3类。第1类聚集了固酸比、可滴定酸含量、可溶性固形物含量和着色面积；第2类为果形指数和单果质量；第3类为果实硬度(图1)。根据相关性分析结果,聚为同一类的各指标间具有高度相关性,为达到简化的目标,可选其中较重要的1个指标代表其他指标。第1类中,固酸比与可滴定酸含量和可溶性固形物含量相关性显著,所以选择固酸比为第1类指标的代表。第2类中,与单果质量相比,果形指数能更好地反映果实感官品质,所以选择果形指数为第2类指标的代表。最终确定固酸比、果形指数和果实硬度作为‘富士’苹果品质的核心评价指标。

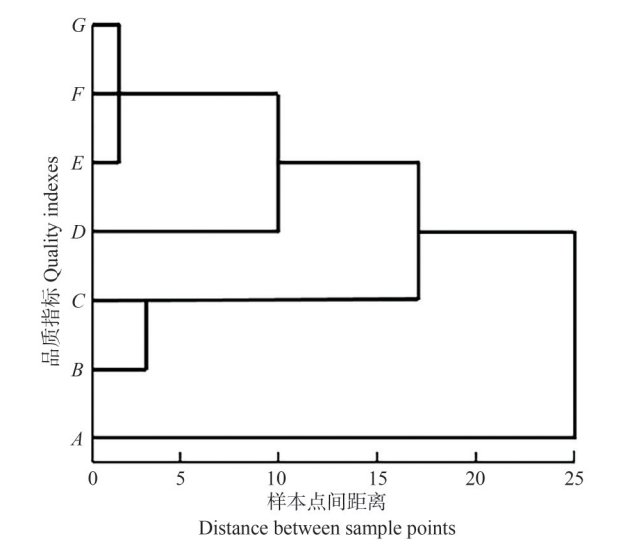
2.5 不同主产区‘富士’苹果综合品质评价

将核心评价指标与相应权重乘积的累加作为综合得分,‘富士’苹果品质综合评价的模型为：

$$Z=0.326F_1+0.206F_2+0.173F_3 \tag{4}$$

式中:Z为不同产区苹果品质综合得分;F₁、F₂和 F₃ 分别为主成分1、主成分2和主成分3的得分。

根据模型对各产地‘富士’苹果品质进行综合



A, B, C, D, E, F, G 分别为果实硬度、单果质量、果形指数、着色面积、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比。
A, B, C, D, E, F, G are fruit firmness, single fruit mass, fruit shape index, coloring area, soluble solids content, titratable acid content, and solids-to-acid ratio, respectively.

图1 ‘富士’苹果品质指标聚类图

Fig. 1 Clustering diagram of ‘Fuji’ apple quality indicators

评价,综合品质得分见表5。‘富士’苹果综合品质由高到底依次是栖霞、蓬莱、临猗、洛川、万荣、白水,综合得分分别为 1.739、0.573、-0.315、-0.329、-0.367、-0.456。

表5 各产区‘富士’苹果主成分得分及综合得分排序

Table 5 Ranking of principal component scores and composite scores of ‘Fuji’ apples in each production area

主产区 Main origin	主成分得分 Principal component score			综合得分 Total	排序 Ranking
	固酸比 Soluble solids to titratable acidity ratio	果形指数 Fruit shape index	果实硬度 Firmness		
栖霞 Qixia	4.076	2.153	-0.204	1.739	1
蓬莱 Penglai	1.427	0.390	0.160	0.573	2
洛川 Luochuan	-0.111	-0.806	-0.740	-0.329	4
白水 Baishui	-0.185	-1.562	-0.430	-0.456	6
临猗 Linyi	-2.024	1.057	0.741	-0.315	3
万荣 Wanrong	-1.226	0.315	-0.186	-0.367	5

3 讨论与结论

本研究选取我国山东、山西和陕西3省的‘富士’苹果样品,对果实的7项品质指标进行比较研究,运用主成分分析、因子分析综合评价法对果实品质进行分析,使结果更具代表性和科学性。对于理化品质的评价,本研究采用了固酸比和果实硬度作为核心指标。果实中糖、酸的含量直接决定了苹果风味,除绝对含量外,还取决于糖和酸的比例,即固酸比。对于感官品质的评价,本研究测量了果形指数、单果质量和着色面积,通过主成分分析和聚类分析的简化,采用果形指数代表感官品质。

关于‘富士’苹果评价因子的选择,聂继云等^[17]确定果实硬度、糖酸比、可滴定酸含量、可溶性糖含量、VC含量5项核心理化品质指标。匡立学等^[18]确定可滴定酸含量、去皮硬度、单果重、固酸比、果糖含量为‘富士’苹果的核心评价指标。综合看,可溶性糖含量与可溶性固形物含量之间、糖酸比与固酸比之间具有高度相关性,指标内涵基本一致^[19],因此本研究以固酸比作为代表性指标。除酸甜等风味外,果实硬度作为影响食用口感的重要指标,通常在果品贸易中衡量苹果质量^[20]。感官指标上单果质量、果形指数和着色面积都会影响消费者选择^[21-22]。

本研究对46份‘富士’苹果样品检测结果显示,不同产区间‘富士’苹果品质存在显著差异。固酸比(F_1)、果形指数(F_2)和果实硬度(F_3)是‘富士’苹果品质评价的核心指标,在此基础上建立品质综合评价模型 $Z=0.326F_1+0.206F_2+0.173F_3$,采用该模型对‘富士’苹果样品进行评价,品质由高到底依次为栖霞、蓬莱、临猗、洛川、万荣、白水。由于样本覆盖区域有限,评价模型适配度还需加强,对其他主产区‘富士’苹果品质评价还有待进一步研究。

参考文献 References

- [1] 王海松, 张晓薇, 谭琳元, 武玉环. 我国鲜苹果出口价格波动特征及趋势预测分析[J]. 中国果树, 2023(9): 122-127
Wang H S, Zhang X W, Tan L Y, Wu Y H. Fluctuation characteristics and trend prediction analysis of fresh apple export prices in China [J]. *China Fruits*, 2023(9): 122-127 (in Chinese)
- [2] 袁斌, 张燕媛, 陈超. 中国苹果产业格局演化及机制分析: 基于农户决策的微观视角[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(6): 32-37
Yuan B, Zhang Y Y, Chen C. Spatial pattern evolution and its driving factors for apple industry in China-Based on micro perspective of

- farmers' decision making [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(6): 32-37 (in Chinese)
- [3] 常倩, 李瑾. 2000年以来中国苹果产业发展趋势分析[J]. 北方园艺, 2021(3): 155-160
Chang Q, Li J. Development trend of apple industry in China since 2000 [J]. *Northern Horticulture*, 2021(3): 155-160 (in Chinese)
- [4] 张强. ‘富士’苹果果实品质与土壤养分和气象因子关系的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018
Zhang Q. Study on relationship between fruit quality of ‘Fuji’ apple and soil nutrition, meteorological factors [D]. Beijing: China Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [5] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 康艳玲, 匡立学, 叶孟亮. 苹果风味评价指标的筛选研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2796-2805
Study on screening of taste evaluation indexes for apple [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(14): 2796-2805 (in Chinese)
- [6] 江飞, 苏毅鸿, 杨兵, 黄发光, 张少钦. 水果消费行为的变化及未来发展建议[J]. 现代营销: 信息版, 2019(9): 235
Jiang F, Su Y H, Yang B, Huang F G, Zhang S Q. Changes of fruit consumption behavior and suggestions for future development [J] [J]. *Modern Marketing: Information Edition*, 2019(9): 235 (in Chinese)
- [7] 李泰, 卢士军, 黄家章, 陈磊, 范协裕. 苹果品质评价标准研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(11): 121-130
Li T, Lu S J, Huang J Z, Chen L, Fan X Y. Research progress of apple quality evaluation standards [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(11): 121-130 (in Chinese)
- [8] 白沙沙, 毕金峰, 王沛, 公丽艳, 王轩. 基于主成分分析的苹果品质综合评价研究[J]. 食品科技, 2012, 37(1): 54-57
Bai S S, Bi J F, Wang P, Gong L Y, Wang X. Comprehensive evaluation of apple quality based on principal component analysis [J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(1): 54-57 (in Chinese)
- [9] 张腊腊, 韩明虎, 胡浩斌, 武芸, 王丽朋. 基于主成分分析的苹果品质综合评价[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(3): 209-213
Zhang L L, Han M H, Hu H B, Wu Y, Wang L P. Comprehensive evaluation of apple quality based on principal component analysis [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(3): 209-213 (in Chinese)
- [10] 陈启亮, 杨晓平, 田瑞, 张靖国, 胡红菊. 梨品种果实品质的分析与评价[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(22): 5068-5071, 5104
Chen Q L, Yang X P, Tian R, Zhang J G, Hu H J. Analysis and evaluation on fruit quality of pear varieties [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(22): 5068-5071, 5104 (in Chinese)
- [11] 吴亚楠, 刘婷, 刘惠民. 运用多维价值理论评价引种黄金猕猴桃果实品质[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(12): 111-113
Wu Y N, Liu T, Liu H M. Evaluation on fruit quality of introduced cultivars of kiwi fruit with the multi-value theory [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(12): 111-113 (in Chinese)
- [12] 郭靖, 张东亚, 刘琦, 卢明艳, 安鹭, 陈同森, 齐成. 运用层次分析法优选新疆加工苹果[J]. 经济林研究, 2015, 33(3): 26-32
Guo J, Zhang D Y, Liu H, Lu M Y, An L, Chen T S. Selection of processed apples in Xinjiang by analytical hierarchy process [J]. *Non-wood Forest Research*, 2015, 33(3): 26-32 (in Chinese)
- [13] 陈大鹏, 张永茂, 张举, 张海燕. 复合苹果片感官品质模糊综合评价及其营养与功能成分分析[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(3): 28-32
Chen D P, Zhang Y M, Zhang J, Zhang H Y. Sensory quality fuzzy comprehensive evaluation and nutritional and functional components analysis of composite apple slices [J]. *Storage & Process*, 2013, 13(3): 28-32 (in Chinese)

- [14] 王轩, 毕金峰, 刘璇, 吕健, 杨爱金. 不同产地红富士苹果品质评价因子的选择[J]. 核农学报, 2013, 27(10): 1501-1510
Wang X, Bi J F, Liu X, Lv J, Yang A J. Different origin fuji apple quality evaluation factors choice [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(10): 1501-1510 (in Chinese)
- [15] 沈海军, 徐子昂, 王文琪, 宇庭, 曹仲文. 基于熵权法、灰色关联度法和低场核磁共振检测的苹果品质评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 231-238
Shen H J, Xu Z A, Wang W P, Yu T, Cao Z W. Apple quality evaluation based on entropy weight method, grey relational degree method and low-field nuclear magnetic resonance detection [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(1): 231-238 (in Chinese)
- [16] 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[J]. 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 [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(4): 197-208 (in Chinese)
- [17] GB 12456—2021 食品安全国家标准, 食品中总酸的测定[S]. 北京: 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局, 2021
GB 12456—2021 National Standard for Food Safety, Determination of Total Acid in Foods[S]. Beijing: National Health Commission, State Administration of Market Supervision and Regulation, 2021 (in Chinese)
- [18] 聂继云, 李志霞, 李海飞, 李静, 王昆, 毋永龙, 徐国锋, 闫震, 吴锡, 覃兴. 苹果理化品质评价指标研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2895-2903
Nie J Y, Li Z X, Li H F, Li J, Wang K, Wu Y L, Xu G F, Yan Z, Wu X, Qin X. Evaluation indices for apple physicochemical quality [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(14): 2895-2903 (in Chinese)
- [19] 匡立学, 聂继云, 李银萍, 程杨, 沈发明. 中国不同地区‘富士’苹果品质评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(11): 2253-2263
Kuang L X, Nie J Y, Li Y P, Cheng Y, Shen Y M. Quality evaluation of ‘Fuji’ apples in different regions of China [J]. *Chinese Agricultural Science*, 2020, 53(11): 2253-2263 (in Chinese)
- [20] 王森, 周刚, 何平, 王海波, 常源升, 何晓文, 李林光. 山东省不同地区‘富士’苹果口感评价与果实品质的相关性分析[J]. 山东农业科学, 2022, 54(4): 23-26
Wang S, Zhou G, He P, Wang H B, Chang Y S, He X W, Li L G. Correlation analysis between taste evaluation and fruit quality of ‘Fuji’ apples in different regions of Shandong Province [J]. *Shandong Agricultural Science*, 2022, 54(4): 23-26 (in Chinese)
- [21] 吴汪友, 刘伟, 姚钟华. 一种层次混合量化苹果品质分级的研究[J]. 中国南方果树, 2023, 52(1): 152-156
Wu W Y, Liu W, Yao Z H. Study on apple quality grading based on hierarchical mixed quantization [J]. *South China Fruits*, 2023, 52(1): 152-156 (in Chinese)
- [22] 董月菊, 张玉刚, 梁美霞, 戴洪义. 苹果果实品质主要评价指标的选择[J]. 华北农学报, 2011, 26(S1): 74-79
Dong Y J, Zhang Y G, Liang M X, Dai H Y. Selection of main evaluation indexes of apple fruit quality [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S1): 74-79 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 李泰, 中共党员, 农业农村部食物与营养发展研究所博士研究生。主要从事食物营养品质评价、农户技术采纳行为、产地冷藏设施运行和评估等相关研究。获得 2022—2023 年中国农业科学院博士研究生二等学业奖学金。



通讯作者简介: 卢士军, 营养与食品卫生学博士, 农业农村部食物与营养发展研究所副研究员, 硕士生导师。中国营养学会理事、中国蔬菜流通协会青年工作委员会副主任委员、北京市中小学营养配餐专家、今日头条签约科普专家。主要从事营养导向型农业、食物损耗与浪费、农产品分等分级等相关研究。