王雪菲, 王巧言, 冯香岚, 等. 甘薯干风味轮的构建与应用 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(17): 414−425. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025090105

WANG Xuefei, WANG Qiaoyan, FENG Xianglan, et al. Construction and Application of Flavor Wheel for Dried Sweet Potato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(17): 414−425. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025090105

· 分析检测 ·

甘薯干风味轮的构建与应用

王雪菲[1], 王巧言[1], 冯香岚[1], 张显涛[2], 计红芳[1], 张令文[1,*], 张晓娜[3]

（1.河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003;
2.山东欧乐食品有限公司, 山东枣庄 277200;
3.河南省食品绿色加工与安全控制工程技术研究中心, 河南新乡 453700）

摘　要: 以甘薯干为研究对象，构建适用于甘薯干的感官风味评价方法。由感官评价小组对 41 种市售甘薯干进行感官描述分析，对收集到的描述词进行筛选整理归类，构建甘薯干风味轮并设计感官评价工具。通过感官描述获得了 67 个描述词，构建了以味觉、嗅觉、触觉和视觉四类感官指标为主的甘薯干风味轮。采用几何平均值法结合聚类分析、主成分分析，筛选出 29 个能够表征甘薯干感官特点的词汇，其中外观描述词 5 个、气味描述词 6 个、味道描述词 9 个和口感描述词 9 个。通过层次分析法确定甘薯干感官指标评价权重比为：味道∶口感∶气味∶外观=40∶35∶10∶15。在此基础上，构建了一套适用于普通消费者的选择适合项感官评价方法和适用于感官评价员的定量描述感官评价法。本研究结果可为甘薯干品质控制与产品开发提供一定参考。

关键词: 甘薯干, 风味轮, 感官评价, 感官描述词

中图分类号: TS215　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)17−0414−12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025090105　　本文网刊:

Construction and Application of Flavor Wheel for Dried Sweet Potato

WANG Xuefei[1], WANG Qiaoyan[1], FENG Xianglan[1], ZHANG Xiantao[2], JI Hongfang[1], ZHANG Lingwen[1,*], ZHANG Xiaona[3]

（1.School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;
2.Shandong Oler Food Co., Ltd., Zaozhuang 277200, China;
3.Henan Engineering Research Center for Green Processing and Safety Control of Food, Xinxiang 453700, China）

Abstract: This study focused on dried sweet potatoes to develop a suitable sensory flavor evaluation method, where a sensory panel performed quantitative descriptive analysis on 41 commercial samples. The descriptive words were selected and summarized, a dried sweet potatoes gratin flavor wheel was constructed, and sensory evaluation tools were designed. A total of 67 descriptor words were obtained, and constructed a flavor wheel covering taste, odor, texture, and appearance. Using the geometric mean method combined with cluster analysis and principal component analysis, 29 characteristic descriptors were screened, including 5 for appearance, 6 for odor, 9 for taste and 9 for texture. The analytic hierarchy process determined the sensory indicator weight ratio as taste∶texture∶odor∶appearance=40∶35∶10∶15. Subsequently, two methods were established, including a suitability-based one for ordinary consumers and a quantitative descriptive one for professional evaluators. This study could provide a reference for the quality evaluation and product development of dried sweet potatoes.

Key words: dried sweet potato; flavor wheel; sensory evaluation; sensory descriptors

收稿日期: 2025−09−10

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目（YDZX2024043）; 河南省科技攻关项目（252102111061）; 河南省科技攻关项目（242102111040）; 河南科技学院大学生创新创业训练计划项目（创新项目）（10467CXCY2025090）; 山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目（2023）; 枣庄国家可持续发展议程创新示范区科技专项项目（2024SFQZX004）。

作者简介: 王雪菲（1994−）, 女, 硕士, 助教, 研究方向: 食品加工与品质控制, E-mail: xuefei2024@126.com。

*** 通信作者:** 张令文（1977−）, 男, 博士, 教授, 研究方向: 传统食品加工与品质控制, E-mail: lingwen2008@163.com。

根据联合国粮农组织（FAO）的统计数据，按产量计算，甘薯（*Ipomoea batatas*）是世界第七大粮食作物[1]。甘薯原产于南美洲，于明朝末年引种到中国，具有高产、稳产、适应性强等特点，在解决人们温饱问题上发挥了重要作用[2−4]。我国是世界上最大的甘薯生产国。当下甘薯已从传统的粮食作物转变为重要的经济作物和健康食品原料，在保障粮食安全和促进农林增收中发挥着重要的作用[5−7]。甘薯干在我国已有悠久的加工历史，传统的烘、晒薯干因其天然甜味、丰富膳食纤维和独特口感受到大众的喜爱，在日本、韩国等东亚国家也备受青睐，被联合国誉为最健康的食品[5,8−11]。但目前大多数研究关注甘薯干的生产工艺、改善食用品质、延长保质期等方面[12−14]，对于甘薯干的风味感官品质关注较少。

风味是决定食品品质和消费者接受度的关键因素。风味轮是食品领域定量描述性分析标准化的重要手段之一，很大程度上使得感官特性的评定、感官评价更为准确客观和规范化，也是生产者及消费者进行感官分析和交流的较为可靠的依据。风味轮在食品领域应用广泛，如葡萄酒[15]、大闸蟹[16]、“阳光玫瑰”葡萄[17] 等。在甘薯风味研究领域，徐锡明等[18] 构建了烤制甘薯风味轮，确定了外观、气味、味道和口感的权重比为 10∶15∶50∶25。张蜜等[19] 构建了芝士焗甘薯风味轮，研究指出口感（权重 60%）是该产品的核心感官指标。Tsai 等[20] 研究发现，烤制时间对甘薯中挥发性化合物变化影响显著，赋予烤红薯果香、甜味和焦糖风味，为其增添独特风味。目前大多数食品都有较为完善的风味轮体系，但甘薯干风味感官评价的研究鲜见报道。现有感官评价方法包括定量描述分析法以及适合项勾选法等，但其各有利弊，其中定量描述分析法（QDA）结果准确但成本高；而适合项勾选法（CATA）效率高但强度信息缺失。张毅等[21] 在冰烤薯研究中尝试将两种方法结合构建了风味轮，这为甘薯干风味评价提供了新思路。

基于现有文献资料，本文通过对收集的甘薯干的感官描述词进行归类筛选，拟构建涵盖外观、气味、味道和口感等多维度的甘薯干风味轮。随后，结合层次分析法和多元统计方法确定产品风味轮廓的主要描述词，确定各感官指标的权重，建立相应的感官评价方法。本研究结果将为甘薯干的感官特性描述提供科学、系统的描述框架，为甘薯干产品质量控制、工艺优化和消费者偏好研究提供一定的理论支持，同时也可为薯类传统食品的感官评价方法提供一定的借鉴。

1　材料与方法

1.1　甘薯干样品

来自山东、福建、浙江等我国甘薯干主要加工区域以及河北、湖北、陕西、四川、广西、安徽等区域的 41 个热销产品，其中来自福建的样品 18 个、山东的样品 11 个、浙江的样品 6 个，主要原料均为红薯，生产日期相近。参与甘薯干风味轮测试样品共计 41 个（品牌编号为 DSP1~DSP41），具体见表 1。

1.2　实验方法

1.2.1　甘薯干感官评价小组的建立与培训　按照 GB/T16291.1-2012[22] 中的要求，从河南科技学院食品类专业学生中招募、筛选出 50 名人员，对上述参与人员进行味道、气味识别培训，标度使用培训、开发和使用描述词的培训，培训后对感官能力检验、感官灵敏度检验、描述和表达感受能力检验（气味描述和质地描述）进行考核；通过基本味觉识别测试（酸、甜、苦、咸）及甘薯干特定感官属性识别（回甘、回酸、软糯、黏糯等），优选出 20 名评价员组成甘薯干感官评价小组，其中男性 8 人、女性 12 人，年龄 19~22 岁，无抽烟、喝酒等不良嗜好。

1.2.2　甘薯干样品预处理及品评　先将甘薯干样品去掉头尾部分，取中间部分，切成边长为 1 cm 的立方体。样品均置于室温下品尝，样品随机提供给评价员（分 14 轮），每组 3 个样品。为保证感觉的恢复及避免间隔时间过长失去辨别能力，要注意两次样品之间进行漱口、间隔时间要充足[23]，每轮评价时间在 15 min 以内，每轮品尝时间间隔 30 min。

1.2.3　甘薯干风味轮的构建　参考张蜜等[19]、张毅等[21]、徐锡明等[18] 研究方法，分别从视觉（色泽、颜色）、嗅觉（气味）、味觉（回味、基本味、口味）、触觉（口感）方面对甘薯干样品进行感官描述分析。将收集到的描述词进行初步筛选、进一步归类后绘制甘薯干风味轮。

1.2.4　甘薯干风味轮廓描述语的选择　参考 GB/T 16861-1997[24] 中所述方法，利用甘薯干风味轮所得到的感官描述词，每位评价员根据自身感受到的描述词的强度进行评分（1~5 级，0 表示没有感觉，1 表示最低强度，3 表示中等，5 表示最高强度）。通过感官评价小组对甘薯干的强度评分，按照公式计算几何平均值。

$$M = \sqrt{F \times I}$$

式中：M—几何平均值；F—描述词实际被述及的次数占该描述词所有能被述及总次数的百分率；I—评价小组实际给出的一个描述词的强度和占该描述词最大可能所得强度的百分率。

根据 M 值对描述词语进行筛选，并对筛选出的描述词进行主成分分析及聚类分析，保留具有典型差异性的主要感官描述语。M 值越大的描述词对样品感官特征的贡献率越大，越能表明其对风味品质重要的程度[25]。

1.2.5　甘薯干感官性状权重　参考徐锡明等[18]、王江民等[26] 的方法，采用层次分析法将感官指标通过感官评价来确定甘薯干感官指标的重要程度，采用 1~9 标度法构建 n 阶判断矩阵，得到最终的权重。首先确定甘薯干感官品质为优先等级，即为目标层；其

表 1 甘薯干感官描述词所使用的样品

Table 1 Samples used in the sensory descriptors of dried sweet potatoes (DSP)

序号	编号	产品名称	产品类别	配料	包装
1	DSP1	黄金地瓜干	–	红薯	真空包装
2	DSP2	原蒸红薯干	切分型甘薯干(烘烤类)	鲜红薯	真空包装
3	DSP3	鲜蒸红薯干	薯类罐头	红薯	真空包装
4	DSP4	精制地瓜棒	果脯类	红薯	真空包装
5	DSP5	倒蒸带皮小香薯	烘烤型甘薯干	地瓜	真空包装
6	DSP6	原味倒蒸地瓜干	烘烤型甘薯干	地瓜	真空包装
7	DSP7	红薯干	–	红薯	真空包装
8	DSP8	倒蒸红薯干	果脯类	小香薯	真空包装
9	DSP9	烤地瓜	烘烤型甘薯干	红薯	盒装
10	DSP10	溏心红薯干	干制薯类	红薯	真空包装
11	DSP11	倒蒸红薯干	果脯类	红薯	真空包装
12	DSP12	小香薯干(带皮)	薯类食品	新鲜小香薯	真空包装
13	DSP13	倒蒸红薯干	烘烤型甘薯干	鲜红薯	真空包装
14	DSP14	倒蒸红薯	果脯类	鲜地瓜	真空包装
15	DSP15	自然倒蒸甘薯条	–	甘薯	真空包装
16	DSP16	香薯干	果脯类	番薯	盒装
17	DSP17	烤地瓜	果脯类	红薯	盒装
18	DSP18	倒蒸地瓜干	–	甘薯	真空包装
19	DSP19	黄金地瓜条	–	甘薯	真空包装
20	DSP20	0脂肪香烤红薯干	红薯干	甘薯	真空包装
21	DSP21	甘薯棒	薯类制品(甘薯棒)	甘薯	自立式软包装
22	DSP22	甘薯棒	薯类制品(甘薯棒)	甘薯	自立式软包装
23	DSP23	烤红薯	干制薯类	红薯	真空包装
24	DSP24	香薯肉肉	薯类制品	红薯	真空包装
25	DSP25	倒蒸地瓜条	甘薯条	红薯	真空包装
26	DSP26	真空带皮蒸薯仔(劲道)	分切烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
27	DSP27	真空农家蒸薯条(软糯)	分切烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
28	DSP28	地瓜干	薯类食品	新鲜红薯	真空包装
29	DSP29	鲜蒸红薯	罐头	红薯	真空包装
30	DSP30	小红薯(地瓜干)	烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
31	DSP31	红薯干(甘薯干)	–	红薯	真空包装
32	DSP32	红薯干	甘薯软包装罐头	甘薯	自立式软包装
33	DSP33	红薯干(甘薯干)	–	红薯	充氮包装
34	DSP34	锁香小鲜薯	分切烘烤型	鲜红薯	真空包装
35	DSP35	带皮小香薯(真空)	分切烘烤型地瓜干	鲜地瓜	真空包装
36	DSP36	倒蒸红薯干	分切烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
37	DSP37	真空红薯干	分切烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
38	DSP38	每日鲜薯	分切烘烤型地瓜干	红薯	真空包装
39	DSP39	倒蒸红薯干	分切烘烤型地瓜干	鲜地瓜	真空包装
40	DSP40	香薯干	烘烤型甘薯干	鲜红薯	真空包装
41	DSP41	软糯小香薯	果脯类	红薯	真空包装

次是根据目标层等级赋予相应的优先因子,即为准则层,包括味觉、嗅觉、触觉、视觉;然后根据收集到的感官数据按照方案层指标分类进行两两比较(例如味道和外观,味道和气味等),对同等级赋予加权系数,确定出各指标的评价权值。

1.3 数据处理

收集甘薯干的感官评价语,采用 Excel 2021 进行初步归类筛选,采用 Apache ECharts 平台绘制感官轮,评价数据分别利用 IBM SPSS Statistics 25.0、Origin 2024 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 甘薯干感官描述语的建立

经感官品评小组的多轮次品评,记录汇总后共得到 236 个描述语,其中包括 35 个嗅觉描述语、89 个味觉描述语、61 个触觉描述语、51 个视觉描述语。对收集到的描述语初步整理筛选,合并部分意义相近的词,删除部分描述不恰当的词汇(主要是主观意识较强的术语及出现频次较低的词语),最终整理得到 11 个嗅觉描述语、32 个味觉描述语、15 个触觉描述语、9 个视觉描述语,通过“词云”图对感官描

述语进行可视化呈现(图 1)。词汇规模的大小与该词出现频率有关，词汇规模越大表示该词出现频率越高，反之则较低[16]。由图 1 可知，出现频率较高的感官描述语有甜味、胶质感、水果味、软糯、回甘、柔软、暗淡、干硬、Q 弹、南瓜味、板栗味、清香、明亮、酸味、紧实等，这些风味可能是甘薯干的主体风味特征并以此作为风味轮构建的基础。

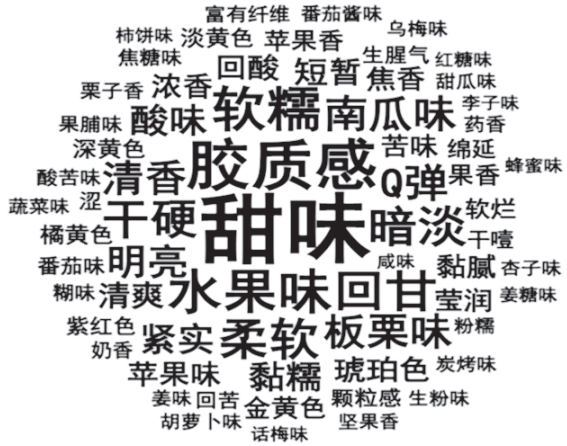


图 1　甘薯干样本感官描述词语云

Fig.1　Sensory descriptive word cloud of DSP

2.2　甘薯干风味轮的构建

风味轮作为描述食品感官风味特征的可视化图形表达，大多采用两到三层同心圆结构呈现食品的风味信息[27]。参考郸县豆瓣[28]、芝士焗甘薯[19]、四川晒露酱油[29] 等风味轮构建方法，将 2.1 部分中筛选得到的描述词进行归类分级，最终确定甘薯干风味轮的层级关系，并绘制甘薯干的感官风味轮图。如图 2 所示，该风味轮的第一层分为味觉、嗅觉、触觉和视觉四大类，第二层是味觉、嗅觉、触觉和视觉的具体分类，分别为：回味、基本味、口味，气味，口感，色泽、颜色。第三层是甘薯干感官描述语，包含 11 个嗅觉描述语，32 个味觉描述语、15 个触觉描述语、9 个视觉描述语。其中莹润、琥珀色等描述词反映了甘薯干的外观特征，而清香则体现甘薯干的气味特点，这些描述词分别从外观、气味等方面体现甘薯干的视觉与嗅觉特征。味觉和触觉特征通过回味、基本味、口味和口感等维度的描述词反映，如板栗味、南瓜味、水果味和回甘反映甘薯干的味型特点，而粉糯、软糯、Q 弹、黏糯、紧实、胶质感等清晰展示了甘薯干核心风味特征，能够较好反映出甘薯干的质地特点。

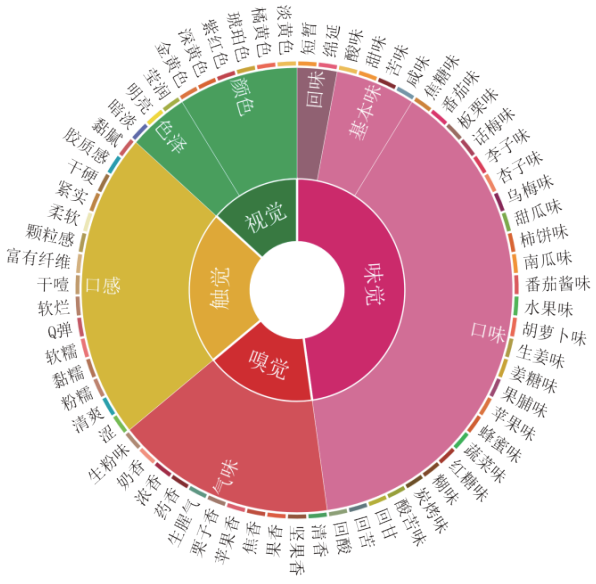


图 2　甘薯干风味轮

Fig.2　Flavor wheel of DSP

2.3　甘薯干描述语贡献度的初步筛选

为进一步筛选有效描述词，针对 41 个样品，对 67 个感官描述词进行强度评价，并计算每个描述词的 M 值，结果见表 2。M 值表示描述词被提及的次数或感知认可程度[29]。如表 2 所示，筛选出味觉、触觉、视觉中 M 值大于 0.05 的 23 个描述词，筛选嗅觉中 M 值大于 0.02 的 6 个描述词。其中，视觉的描述词包括明亮、莹润、琥珀色等 5 个；嗅觉描述词包括清香、苹果香、焦香等 6 个；味觉描述词包括甜味、板栗味、南瓜味、水果味、苹果味等 9 个；触觉描

表 2　甘薯干感官描述词 M 值及方差

Table 2　M value and variance of sensory flavor profile descriptor of DSP

属性		描述语	M值	方差
味觉	基本味	酸味	0.1018	0.0217
		甜味	0.4298	0.0783
	回味	短暂	0.0964	0.0173
	口味	板栗味	0.1493	0.0295
		南瓜味	0.1549	0.0317
		水果味	0.2258	0.0386
		苹果味	0.0746	0.0099
嗅觉	气味	回甘	0.2059	0.0381
		回酸	0.0656	0.0111
		清香	0.1464	0.0218
		果香	0.0549	0.0069
		焦香	0.0785	0.0134
		苹果香	0.0502	0.0066
		栗子香	0.0232	0.0012
触觉	口感	浓香	0.0862	0.0157
		清爽	0.0841	0.0156
		黏糯	0.1058	0.0169
		软糯	0.2229	0.0370
		Q弹	0.1615	0.0271
		柔软	0.1955	0.0285
		紧实	0.1171	0.0156
		干硬	0.1063	0.0193
		胶质感	0.2843	0.0633
		黏腻	0.0690	0.0121
视觉	色泽	暗淡	0.1118	0.0217
		明亮	0.1389	0.0207
		莹润	0.0614	0.0096
	颜色	金黄色	0.0557	0.0078
		琥珀色	0.0784	0.0129

述词包括软糯、紧实、Q 弹等 9 个。通常 M 值较大的描述词方差也较大，方差越大，表明不同样品对该描述词所描述的属性差异越明显[28]。方差越小，表示描述词表现的感官特征在不同的样品中趋于一致，无法有效地对样品进行区分。甘薯干感官描述词方差数值差异较大，说明视觉、味觉、触觉、嗅觉的描述词能很好反映出甘薯干的风味特征，可以作为代表甘薯干感官特点的风味描述语，保留上述所有风味感官描述词用于后续进一步分析。

2.4 甘薯干描述语多元统计分析

在此基础上，参照孙鹏等[30] 的方法，分别对甘薯干的味觉、嗅觉、触觉和视觉等风味描述词进行主成分分析，并结合聚类分析进一步对描述词进行复选。采用 KMO 检验和 Bartlett 球形检验来检验各因素之间的关联程度，一般情况下 KMO 统计量大于 0.6，Bartlett 球形检验的显著性 $P<0.05$，表明各变量之间存在的相关性，适宜做因子分析，可以进行主成分分析[31]。如表 3 所示，甘薯干的味觉、嗅觉、触觉、视觉描述词的 KMO 值和 Bartlett 球形检验的显著性都符合要求，可以进行主成分分析。

表 3 甘薯干描述词主成分 KMO 值和 Bartlett 球形度检验结果

Table 3 KMO value and Bartlett test results of principal components of DSP descriptive words

检验统计量指标	味觉	嗅觉	触觉	视觉
KMO检验取样适切性量数	0.665	0.658	0.625	0.638
Bartlett的球形度检验的显著性	0	0	0	0

2.4.1 味觉描述语筛选 对表 2 中根据 M 值初筛的味觉描述语进行聚类分析及主成分分析，由于第四个主成分的特征根接近 1，且其贡献率与第三主成分相近，因此结合特征根曲线的拐点及特征值，从侧面说明取 4 个主成分为宜[32]。为了更清晰地揭示各指标与主成分因子之间的关系，得到因子载荷矩阵[33]，载荷值为正值表示该指标对主成分的影响是正向的，为负值则为负向的影响，载荷值绝对值越大表明对该主成分的影响越深[34]。由表 4 和表 5 可知，PC1 的方差贡献率为 34.26%，酸味、苹果味、回酸在第一主成分上具有较高的正载荷，分别是 0.814、0.832、0.782。PC2 的方差贡献率为 18.49%，甜味、南瓜味、回甘在第二主成分有较高的正载荷，分别是 0.796、0.751、0.707。PC3 的方差贡献率为 12.76%，短暂、水果味在第三主成分有较高的正载荷，分别是 0.861、0.800。PC4 的方差贡献率为 10.47%，第四主成分中板栗味的载荷（0.893）较大。PC1、PC2、PC3 和 PC4 累计贡献率达到了 75.98%（表 4），包含了原始数据绝大多数的信息量，表明这 9 个味觉描述语可以反映出甘薯干大部分的味觉特征。通过进一步的聚类分析表明，苹果味和回酸、板栗味和南瓜味可以分别聚为一类（图 3）。结合 M 值大小以及主成分分析结果，

表 4 味觉描述语成分特征值及方差贡献率

Table 4 Characteristic values and variance contribution rates of taste descriptors

初始特征值	PC1	PC2	PC3	PC4
总计	3.084	1.664	1.148	0.943
方差贡献率(%)	34.26	18.49	12.76	10.47
累计方差贡献率(%)	34.26	52.75	65.51	75.98

表 5 味觉描述语主成分系数载荷矩阵

Table 5 Principal component coefficient load matrix of taste descriptors

描述语	PC1	PC2	PC3	PC4
酸味	0.814	−0.178	−0.083	0.010
甜味	−0.212	0.796	−0.070	0.210
短暂	−0.233	−0.058	0.861	0.227
板栗味	−0.181	0.217	0.055	0.893
南瓜味	0.126	0.751	0.238	0.303
水果味	0.095	0.374	0.800	−0.163
苹果味	0.832	0.008	−0.087	−0.254
回甘	−0.381	0.707	0.229	−0.217
回酸	0.782	−0.110	0.010	−0.044

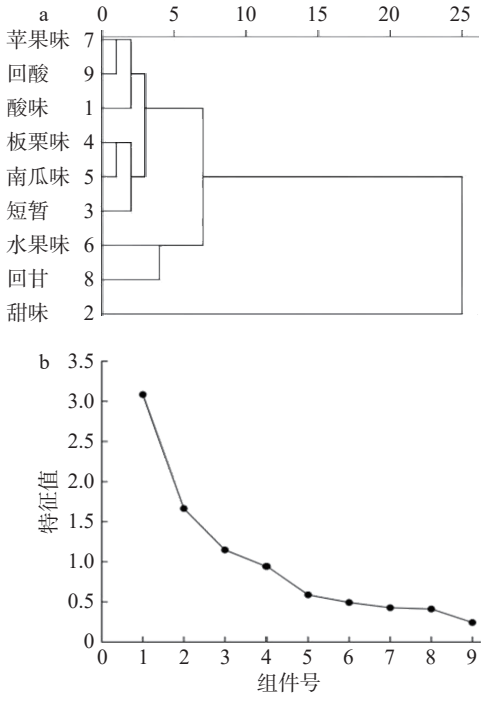


图 3 甘薯干味觉描述语聚类分析(a)和主成分分析碎石图(b)

Fig.3 Cluster analysis (a) and principal component analysis macadam (b) of taste descriptors of DSP

板栗味和南瓜味相关性呈显著正相关（$P<0.05$），虽然其 M 值较相近，但其方差较大，故不作合并；苹果味和回酸相关性呈极显著正相关（$P<0.01$），其 M 值较大，且苹果味和回酸表现的是不同维度的口感特征，板栗味、南瓜味、苹果味是一种整体的风味印象，回酸特指吞咽后品尝到的持续性酸感。经品评小组讨论，不做合并。因此，最终确定酸味、甜味、短暂、板栗味、南瓜味、水果味、苹果味、回甘、回酸作为甘薯

干风味轮廓的味觉描述语。

2.4.2　嗅觉描述语筛选　对表 2 中根据 M 值初筛的嗅觉描述语进行聚类分析及主成分分析。由表 6 和表 7 可知，PC1 的方差贡献率为 45.82%，清香、果香、焦香在第一主成分上具有较高的正载荷，分别是 0.713、0.553、0.729，浓香则具有较高的负载荷（−0.842）。PC2 的方差贡献率为 23.37%，果香、苹果香、栗子香在第二主成分有较高的正载荷，分别是 0.601、0.773、0.877。PC1 和 PC2 累计贡献率达到了 69.19%（表 6），包含了原始数据绝大多数的信息量，表明这 6 个嗅觉描述语可以反映出甘薯干大部分的嗅觉特征。通过进一步的聚类分析表明，果香、苹果香、栗子香可以聚为一类（图 4）。结合 M 值大小以及主成分分析结果，果香、苹果香、栗子香的相关性较高，果香和苹果香虽然 M 值较相近，但其方差较大，栗子香与果香和苹果香相比，其香气特征相差较远，果香是广义的香气属性，而苹果香和栗子香是具体的、特征性的香气属性。经品评小组讨论，不做合并。因此，最终确定清香、果香、焦香、苹果香、栗子香、浓香作为甘薯干风味轮廓的嗅觉描述语。

表 6　嗅觉描述语成分特征值及方差贡献率

Table 6　Characteristic values and variance contribution rates of olfactory descriptors

初始特征值	PC1	PC2
总计	2.749	1.402
方差贡献率(%)	45.82	23.37
累计方差贡献率(%)	45.82	69.19

表 7　嗅觉描述语主成分系数载荷矩阵

Table 7　Principal component coefficient load matrix of olfactory descriptors

描述语	PC1	PC2
清香	0.713	0.455
果香	0.553	0.601
焦香	0.729	−0.255
苹果香	0.204	0.773
栗子香	−0.135	0.877
浓香	−0.842	−0.193

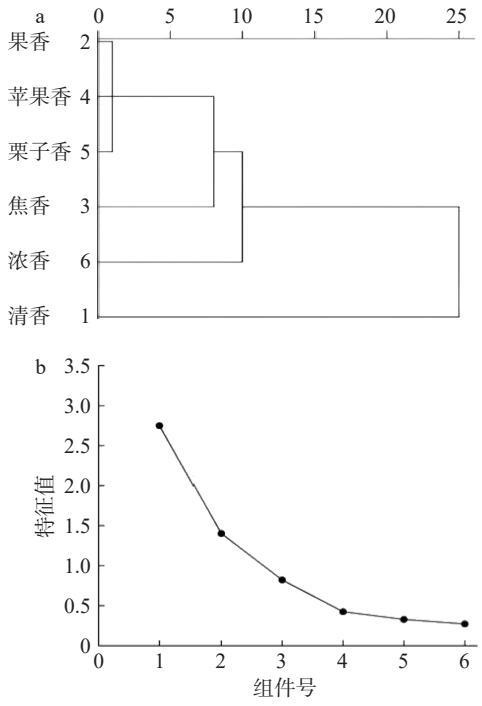


图 4　甘薯干嗅觉描述语聚类分析（a）和主成分分析碎石图（b）

Fig.4　Cluster analysis (a) and principal component analysis macadam (b) of olfactory descriptors of DSP

2.4.3　触觉描述语筛选　对表 2 中根据 M 值初筛的触觉描述语进行聚类分析及主成分分析。由于第四个主成分的特征根接近 1，且其贡献率与第三主成分相近，因此结合特征根曲线的拐点及特征值，从侧面说明取 4 个主成分为宜[32]。由表 8 和表 9 可知，PC1 的方差贡献率为 31.71%，软糯、柔软、胶质感在第一主成分上具有较高的正载荷，分别是 0.806、0.841、0.600，干硬则具有较高的负载荷（−0.719）。PC2 的方差贡献率为 21.20%，黏糯和黏腻在第二主成分有较高的正载荷，分别是 0.829 和 0.763，清爽则具有较高的负载荷（−0.665）。PC3 的方差贡献率为 11.56%，Q 弹在第三主成分中有较高正载荷（0.938），说明第 3 成分主要反映了 Q 弹这一触觉。PC4 的方差贡献率为 9.32%，第四主成分中紧实的载荷（0.873）较大。PC1、PC2、PC3、和 PC4 累计贡献率达到了 73.79%（表 8），包含了原始数据绝大多数的信息量，表明这 9 个触觉描述语可以反映出甘薯干大部分的触觉特征。通过进一步的聚类分析表明，软糯和柔软、清爽和紧实可以分别聚为一类（图 5）。结合 M 值大小以及主成分分析结果，第一主成分中软糯

表 8　触觉描述语成分特征值及方差贡献率

Table 8　Characteristic values and variance contribution rates of tactile descriptors

初始特征值	PC1	PC2	PC3	PC4
总计	2.854	1.908	1.041	0.839
方差贡献率(%)	31.71	21.20	11.56	9.32
累计方差贡献率(%)	31.71	52.91	64.47	73.79

表 9　触觉描述语主成分系数载荷矩阵

Table 9　Principal component coefficient load matrix of tactile descriptors

描述语	PC1	PC2	PC3	PC4
清爽	−0.300	−0.665	−0.060	−0.174
黏糯	−0.116	0.829	0.121	0.039
软糯	0.806	0.025	−0.119	−0.295
Q弹	−0.148	0.062	0.938	0.067
柔软	0.841	0.003	−0.019	−0.203
紧实	−0.252	−0.018	0.056	0.873
干硬	−0.719	−0.072	0.405	−0.004
胶质感	0.600	0.456	0.287	0.271
黏腻	0.034	0.763	−0.15	−0.323

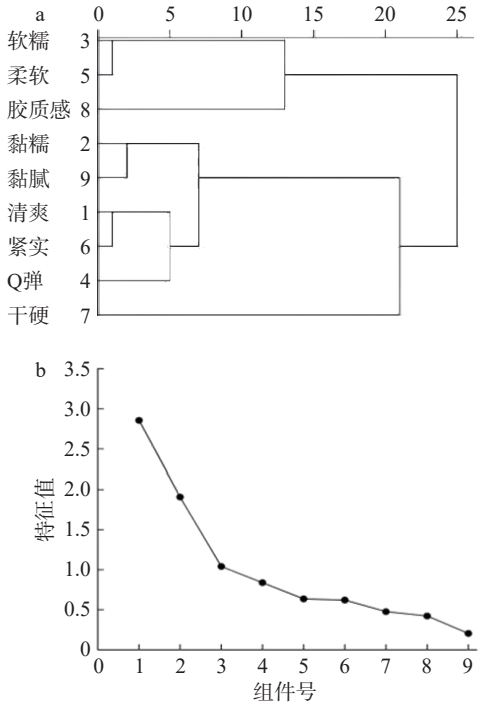


图 5　甘薯干触觉描述语聚类分析(a)和主成分分析碎石图(b)

Fig.5　Cluster analysis (a) and principal component analysis macadam (b) of tactile descriptors of DSP

和柔软的相关性较高，但其 M 值较大，且软糯和柔软表现的是不同维度的口感特征，柔软指的是咀嚼时感受到的硬度，软糯强调的是咀嚼过程中的综合感受，故不作合并。清爽和紧实虽然在聚类图中较近，但其口感特征相差较远，均为甘薯干重要的触觉指标，清爽特指甘薯干入口时干净的触觉感受，紧实强调的是咀嚼时对牙齿压迫时的抵抗程度。经品评小组讨论，软糯和柔软、清爽和紧实分属独立的触觉指标，均予以保留。因此，最终确定清爽、黏糯、软糯、Q 弹、柔软、紧实、干硬、胶质感、黏腻作为甘薯干风味轮廓的触觉描述语。

2.4.4　视觉描述语筛选　对表 2 中根据 M 值初筛的触觉描述语进行聚类分析及主成分分析。由于第三个主成分的特征根接近 1，且其贡献率与第二主成分相近，因此结合特征根曲线的拐点及特征值，从侧面说明取 3 个主成分为宜[32]。由表 10 和表 11 可知，PC1 的方差贡献率为 44.11%，明亮、金黄色在第一主成分上具有较高的正载荷，分别是 0.810、0.802，暗淡则具有较高的负载荷(−0.785)。PC2 的方差贡献率为 20.72%，琥珀色在第二主成分中有较高正载荷(0.946)，说明第二成分主要反映了琥珀色这一视觉。PC3 的方差贡献率为 16.83%，第三主成分主要反映了莹润这一视觉。PC1、PC2 和 PC3 累计贡献率达到了 81.66%(表 10)，包含了原始数据绝大多数的信息量，表明这 5 个视觉描述语可以反映出甘薯干大部分的视觉特征。通过进一步的聚类分析表明，莹润和金黄色可以聚为一类(图 6)。结合 M 值大小

表 10　视觉描述语成分特征值及方差贡献率

Table 10　Characteristic values and variance contribution rates of visual descriptors

初始特征值	PC1	PC2	PC3
总计	2.206	1.036	0.842
方差贡献率(%)	44.11	20.72	16.83
累计方差贡献率(%)	44.11	64.83	81.66

表 11　视觉描述语主成分系数载荷矩阵

Table 11　Principal component coefficient load matrix of visual descriptors

描述语	PC1	PC2	PC3
暗淡	−0.785	0.140	−0.108
明亮	0.810	−0.346	−0.079
莹润	0.124	−0.149	0.965
金黄色	0.802	0.216	0.258
琥珀色	−0.103	0.946	−0.155

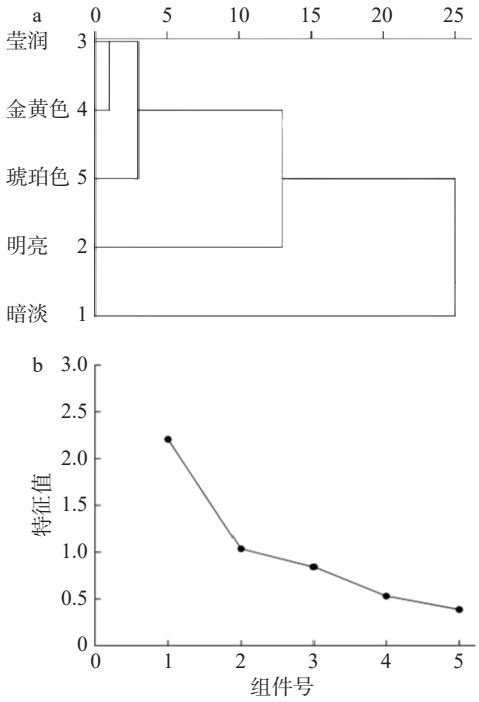


图 6　甘薯干视觉描述语聚类分析(a)和主成分分析碎石图(b)

Fig.6　Cluster analysis (a) and principal component analysis macadam (b) of visual descriptors of DSP

以及主成分分析结果，金黄色在主成分 1 中具有较高的正载荷，莹润在主成分 3 中具有较高的正载荷，代表了不同的感官维度，莹润和金黄色虽然在聚类图中较近，但其视觉特征相差较远，均为甘薯干重要的视觉指标，品评小组讨论后认为莹润表示的是甘薯干的光泽度，金黄色表示的是甘薯干的颜色，分属不同的感官体验，均予以保留。因此，最终确定暗淡、明亮、莹润、金黄色、琥珀色作为甘薯干风味轮廓的视觉描述语。

2.5　甘薯干风味轮的应用

2.5.1　甘薯干感官指标权重　由图 7 可知，采用层次

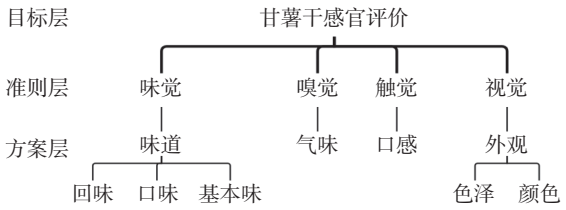


图 7　甘薯干感官评价模型

Fig.7　Evaluation model of DSP

分析法将甘薯干感官评价指标按性质、级别和隶属关系分为 3 层，分别是目标层（第一层）、准则层（第二层）、方案层（第三层）。其中，目标层为甘薯干感官评价；准则层为味觉、嗅觉、触觉、视觉；味觉的方案层为味道，包括回味、基本味、口味，嗅觉的方案层为气味，触觉的方案层为口感，视觉的方案层为外观，包括色泽和颜色。

参考徐锡明等[18]方法，基于甘薯干感官品质评价模型构建判断矩阵，对于目标层甘薯干感官品质评价，整理收集到的感官评价词语，分别对方案层中的指标（味道、气味、口感、外观）进行两两比较，味道∶口感为 1∶1，味道∶气味为 4∶1，味道∶外观为 3∶1，口感∶气味为 4∶1，口感∶外观为 2∶1，外观∶气味为 2∶1。将统计结果映射到 1~9 标度中，得到方案层关于目标层的判断矩阵（表 12）。甘薯干感官评价指标权重和一致性检验结果为：CI（一致性指标）=0.0069，RI（随机一致性指标）=0.89，CR（一致性比例）=0.0077，CR<0.1，表示判断矩阵的一致性可接受。由计算结果可知，一致性检验合格，表明构建的判断矩阵是可接受的，因此对应的权重指标可作为甘薯干感官评价指标的权重系数。由表 13 可知，味道的权重为 39.40%、口感为 35.55%、气味为 8.89%、外观为 16.16%，该权重也表明了在消费者观念中甘薯感官指标的重要程度的排序为：味道>口感>外观>气味。在此基础上进行调整，最终设置味道∶口感∶气味∶外观的权重比为 40∶35∶10∶15。

表 12　方案层关于目标层的判断矩阵

Table 12　Judgment matrix of the scheme layer with respect to the goal layer

方案层	味道	口感	气味	外观
味道	1.00	1.00	4.00	3.00
口感	1.00	1.00	4.00	2.00
气味	0.25	0.25	1.00	0.50
外观	0.33	0.50	2.00	1.00

表 13　感官评价项层次分析

Table 13　Hierarchy analysis of sensory evaluation items

方案层	特征向量	权重系数(%)	调整权重系数(%)
味道	1.5759	39.40	40
口感	1.4221	35.55	35
气味	0.3555	8.89	10
外观	0.6465	16.16	15

2.5.2　选择适合项感官评价方法的建立　根据已构建风味轮中的感官描述词，建立适合甘薯干感官评价的选择适合项感官评价方法（又称检查所有适用法，Check-all-that-apply method，CATA），对样品的喜好程度参考周剑琴等[35]的方法采用 9 分强度值，具体如表 14 所示。通过对大量普通消费者勾选适合甘薯干样品的描述词汇的频率进行统计，简单有效地区分甘薯干样品的感官特征。此种方法可利用消费者替代专业感官评价员，不需进行专业培训，可节约成本和时间。

2.5.3　定量描述感官评价法（QDA 法）　基于层次分析法确定的各维度权重（表 13），通过直接乘以总分 100 分，将其转换为百分制的感官评价表（表 15），建立适合甘薯干的百分评分方法。如表 15 所示，味道为主要参数，赋值 40 分，其次是口感，赋值 35 分，最后是气味和外观，分别赋值 10 分、15 分。结合 M 值、主成分分析、聚类分析结果，通过对评价人员回访和讨论，确定味道和口感二级指标的优先级，进行赋值。味道分为 3 个二级指标，第一部分是甜味，即风味轮中最主要的基本味，占 15 分；第二部分是滋味、风味，即风味轮中的口味，占 15 分；第三部分是回味，占 10 分；口感分为 3 个二级指标，其中糯性占比最高，为 15 分；其次为软硬度和滑爽度各占 10 分。

2.6　不同品牌甘薯干感官品质综合评价

为了消除各数据之间量纲对结果产生的影响，需要对原始数据进行 Z-score 标准化处理[36]。利用主成分载荷矩阵和每个主成分所对应的特征值计算主成分中各指标对应的特征向量，再由主成分特征向量乘以标准化之后的变量，可得各主成分函数表达式；最后以各主成分的贡献率为权重，由对应的主成分得分和权重加权求和得到味觉、嗅觉、触觉和视觉得分。

构建的味觉综合评价模型为 $Z_{味觉}=0.3426y_1+0.1849y_2+0.1276y_3+0.1047y_4$；构建的触觉综合评价模型为 $Z_{触觉}=0.3171y_1+0.2120y_2+0.1156y_3+0.0932y_4$；构建的嗅觉综合评价模型为 $Z_{嗅觉}=$

表 14　甘薯干选择适合项感官评价体系

Table 14　Select suitable sensory evaluation system for DSP

调查项目	描述词
对该样品的喜好程度（单选）	1=极弱~9=极强
从描述词中选取适宜的描述词汇（多选）	甜味、酸味、短暂、绵延、板栗味、南瓜味、水果味、焦糖味、番茄味、胡萝卜味、苹果味、炭烤味、回甘、回酸、清香、坚果香、果香、焦香、苹果香、栗子香、浓香、奶香、涩、清爽、粉糯、黏糯、软糯、Q弹、软烂、颗粒感、柔软、紧实、干硬、胶质感、黏腻、暗淡、明亮、莹润、金黄色、深黄色、紫红色、琥珀色、橘黄色、淡黄色

表 15 甘薯干定量描述感官特征定义、描述及其分值

Table 15 Quantitative description of sensory characteristics of DSP: Definition, description, and score

一级指标	二级指标	定义	具体感官特征描述及其分值
味道（40分）	甜味（15分）	食用后舌头感知到的甜味程度	入口清甜, 甜度自然醇厚, 13~15分
			甜度适中, 无杂味, 10~12分
			甜味混杂, 较淡或较甜, 6~9分
			无甜味或过甜发腻, 0~5分
	滋味、风味（15分）	咀嚼过程中感知的挥发性香气特征、非挥发性味觉特征的类型及强度	风味浓郁自然, 如板栗味/焦糖味突出, 南瓜味/水果味清晰, 无杂味, 回味悠长, 13~15分
			风味不够突出, 如轻微炭烤香或苹果香, 或微弱的胡萝卜味或番茄味, 回味略短, 10~12分
			风味混杂, 不够自然, 如焦糊味或发酵酸味, 6~9分
			无明显风味或异味明显, 0~5分
	回味（10分）	食用后口腔和咽喉中持续的风味感知	回甘为主, 甜味持久, 无回酸或回苦, 8~10分
			回味略短, 回甜明显, 轻微回酸, 5~7分
			回味极短或回酸、回苦明显, 0~4分
口感（35分）	糯性（15分）	咀嚼过程中感受到的黏弹性	软糯十足, 咀嚼Q弹不粘牙, 12~15分
			软糯适中, 轻微粘牙或弹性稍弱, 8~11分
			糯性不足, 弹性一般, 黏牙, 4~7分
			糯性差, 过于黏软, 无嚼劲, 0~3分
	软硬度（10分）	咀嚼过程中感受到的软硬度	柔软适中, 外柔内韧, 表面微润, 芯部适度湿润, 8~10分
			偏软易变形或偏硬需用力咀嚼, 外干内润, 轻微硬度梯度, 4~7分
			塌软无支撑感或干硬难咬, 易碎, 0~3分
	滑爽度（10分）	咀嚼过程中与舌面的摩擦感	入口顺滑, 咀嚼后轻微感知黏腻, 8~10分
			明显但可接受的黏腻感, 轻微附着感, 5~7分
			明显黏腻, 咀嚼后附着感较强, 0~4分
气味（10分）	强度、辨识度、愉悦度（10分）	嗅闻过程中感受到甘薯干香味的强度、愉悦度及辨识度	具有令人愉悦的甘薯干特有的香气, 如清香、焦香, 风味浓郁, 8~10分
			正常甘薯干香气, 风味不够突出, 5~7分
			无甘薯干香气, 或有明显负面气味, 0~4分
外观（15分）	色泽亮度、类型（15分）	甘薯干的光泽度及颜色	色泽均匀, 较透明, 有光泽（油亮）, 13~15分
			色泽较均匀, 稍透明, 稍有光泽（自然光泽）, 9~12分
			色泽不均匀, 透明度差, 略有光泽（暗淡）, 5~8分
			色泽严重不均匀（无光泽）, 深褐色或灰白色, 不透明, 0~4分

表 16 综合成分得分及排序

Table 16 Scores and ranking of principal component

品牌名称编号	味觉得分	触觉得分	嗅觉得分	视觉得分	综合得分	排序
DSP1	0.158	−0.026	0.191	0.055	0.081	19
DSP2	1.004	0.898	−0.348	−0.023	0.678	2
DSP3	0.446	0.052	−1.167	−0.036	0.075	20
DSP4	−0.538	−1.163	0.765	−0.237	−0.581	39
DSP5	−0.049	−0.180	−1.194	−0.454	−0.270	32
DSP6	−0.411	0.220	0.723	−0.543	−0.097	26
DSP7	0.054	−0.391	0.157	−0.730	−0.209	29
DSP8	0.533	−0.368	0.725	0.332	0.207	12
DSP9	−0.380	−0.381	−0.265	−0.326	−0.361	35
DSP10	−0.396	−0.314	0.395	−0.394	−0.288	33
DSP11	−0.468	1.028	−0.337	−0.472	0.068	21
DSP12	−0.432	0.340	1.662	0.131	0.132	16
DSP13	−0.275	0.530	1.191	0.484	0.267	10
DSP14	−0.367	−0.502	0.563	0.530	−0.187	28
DSP15	−0.229	−0.252	−0.169	1.236	−0.011	24
DSP16	−0.145	−0.079	−0.296	−0.389	−0.174	27
DSP17	−0.542	−0.331	1.322	−0.352	−0.253	31
DSP18	−0.955	−1.591	0.969	−0.751	−0.955	41
DSP19	−0.713	−0.549	−1.015	−0.869	−0.709	40
DSP20	−0.205	−0.249	−1.229	−0.614	−0.384	37
DSP21	0.214	0.103	1.113	−0.373	0.177	13
DSP22	0.805	1.380	0.369	0.537	0.922	1

续表 16

品牌名称编号	味觉得分	触觉得分	嗅觉得分	视觉得分	综合得分	排序
DSP23	0.417	0.232	1.560	0.167	0.429	3
DSP24	0.245	−0.075	0.610	0.077	0.144	15
DSP25	−0.142	−0.471	0.784	1.323	0.055	22
DSP26	0.278	0.769	−0.472	0.599	0.423	4
DSP27	1.306	0.437	−1.504	−0.742	0.414	5
DSP28	−0.188	−1.241	1.200	0.282	−0.347	34
DSP29	0.399	−0.053	0.302	0.821	0.294	9
DSP30	0.220	0.218	−0.789	0.122	0.104	17
DSP31	−0.296	0.547	0.061	−0.783	−0.038	25
DSP32	0.268	−0.304	0.899	−0.429	0.026	23
DSP33	−0.072	0.923	−1.411	−0.421	0.090	18
DSP34	0.108	0.060	0.128	1.013	0.229	11
DSP35	0.271	0.583	−1.504	1.656	0.410	6
DSP36	−0.312	−0.585	−1.542	−0.562	−0.568	38
DSP37	0.069	0.804	0.249	−0.010	0.332	7
DSP38	−0.398	0.126	−0.548	−0.356	−0.223	30
DSP39	−0.105	−0.516	−0.408	−0.719	−0.371	36
DSP40	0.523	0.202	−0.290	0.469	0.321	8
DSP41	0.302	0.167	−1.453	0.749	0.146	14

注：味觉得分、触觉得分、嗅觉得分、视觉得分均为该部分综合评价得分。

$0.4582y_1+0.2337y_2$；构建的视觉综合评价模型为 $Z_{视觉}=0.4411y_1+0.2072y_2+0.1683y_3$。

结合表 13 中甘薯干感官指标权重（味道占 40%，口感占 35%，气味占 10%，外观占 15%），计算出 41 个试验甘薯干的感官品质综合得分和排序结果（表 16），综合评分越高说明该试样在测定的多个指标中综合品质越佳。由表 16 可知，41 个试验样品中，DSP22、DSP2 的综合得分较高，分别为 0.922、0.678，其次排序 3 至排序 23 综合得分均为正值，说明这 23 种甘薯干的综合品质较好；排序从 24 开始综合分值较低，均为负值，表示这 18 种甘薯干在测量的多个指标中感官综合品质较差。

3　结论

本研究通过系统分析甘薯干的感官特征，构建了甘薯干风味轮，并为其感官评价体系的建立提供了科学依据。采用层次分析法，确定了甘薯干感官评价指标的权重：味道（40%）、口感（35%）、气味（10%）和外观（15%）。通过聚类分析及主成分分析等方法进行筛选确定了 9 个味道描述词、6 个气味描述词、5 个外观描述词和 9 个口感描述词作为甘薯干风味轮的核心描述语，并基于 CATA 和 QDA 方法制定了甘薯干的感官评价标准。研究结果可将甘薯干感官描述性指标转变为数量值，将抽象的“好吃”转化为可被理解和感知的具体风味语言，为甘薯干生产者和消费者之间的感官沟通提供基础，对甘薯干品质评价和工艺改良提供一定的指导意义。由于商业信息的限制，本文未对甘薯干感官差异进行鲜薯品种、甘薯干加工工艺进行归因，未来研究可将感官评价、仪器分析与消费者偏好深度融合，以本研究确立的核心描述词（如“甜味”“胶质感”“软糯”“清香”“Q 弹”“焦香”“黏糯”等）等作为考核指标，解析甘薯原料品种、核心加工工艺（蒸制/烤制温度、时间等）与甘薯干食用品质的关联及其可能机制，为高品质甘薯干的甘薯品种筛选和工艺改良提供依据。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ 联合国粮农组织的粮食和农业数据. https://www.fao.org/faostat/zh/#data. ［Food and agriculture data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/fao-stat/zh/#data.］

［2］ ROULLIER C, BENOIT L, McKEY D B, et al. Historical collections reveal patterns of diffusion of sweet potato in Oceania obscured by modern plant movements and recombination[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(6): 2205−2210.

［3］ 李强, 赵海, 靳艳玲, 等. 中国甘薯产业助力国家粮食安全的分析与展望[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(6): 1484−1491. ［LI Qiang, ZHAO Hai, JIN Yanling, et al. Analysis and perspectives of sweetpotato industry contributing to national food security in China[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2022, 38(6): 1484−1491.］

［4］ ALAM M K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 115: 512−529.

［5］ 王欣, 李强, 曹清河, 等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 483−492. ［WANG Xin, LI Qiang, CAO Qinghe, et al. Current status and future prospective of sweetpotato production and seed industry in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(3): 483−492.］

［6］ WANG Hongwei, XU Ke, MA Ying, et al. Impact of ultrasonication on the aggregation structure and physicochemical characteristics of sweet potato starch[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 63: 104868.

[7] NEELA S, FANTA S W. Review on nutritional composition of orange-fleshed sweet potato and its role in management of vitamin A deficiency[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(6): 1920−1945.
[8] 樊镇棣. 基于质构分析的薯干加工工艺对比研究[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 108−112. [FAN Zhendi. Comparative study on processing technology of dried sweet potato based on texture analysis[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(3): 108−112.]
[9] 冯娅萍, 牛丽亚, 涂瑾, 等. 倒蒸工艺过程对甘薯干品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 50−57. [FENG Yaping, NIU Liya, TU Jin, et al. Effects of inverted steaming process on quality of dried sweet potato[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(2): 50−57.]
[10] HWANG Y, SON Y L, KIM H Y, et al. Comparison of quality characteristics of dried sweet potatoes from Korea, China, and Japan[J]. Food Engineering Progress, 2020, 24(4): 366−375.
[11] KURANOUCHI T, TAMIYA S, NAKATANI M. Effects of ascorbic acid on the color of steamed and cured sweetpotato slices made from purple flesh varieties[J]. Japanese Journal of Crop Science, 2013, 82(3): 275−282.
[12] 吴梅莹. 甘薯干加工储藏过程中色泽及相关物质含量的变化研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022. [WU Meiying. Changes of color and related substances in dried sweet potato during processing and storage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2022.]
[13] 卜庆美. 干制和护色处理对甘薯干及其贮藏期间品质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2024. [BU Q M. Effects of drying and color protection treatment on the quality of dried sweet potatoes and its storage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2024.]
[14] 潘志明, 林海斌, 刘莲, 等. 耐高温 α-淀粉酶转化淀粉法甘薯干加工技术研究与保质期预测[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(12): 98−107. [PAN Zhiming, LIN Haibin, LIU Lian, et al. Production technology of dried sweet potato with converted starch by thermostable α-amylase and its shelf-life forecasting[J]. China Food Additives, 2022, 33(12): 98−107.]
[15] SOUZA G L, CAPONE D L, BASTIAN S E P, et al. Sensory typicity of regional Australian Cabernet Sauvignon wines according to expert evaluations and descriptive analysis[J]. Food Research International, 2020, 138: 109760.
[16] YANG Fang, GUO Honghui, GAO Pei, et al. Comparison of methodological proposal in sensory evaluation for Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) by data mining and sensory panel[J]. Food Chemistry, 2021, 356: 129698.
[17] QI Yanan, WANG Mengshi, WAN Ningjing, et al. Sensory characteristics of "Shine Muscat" grapes based on consumer reviews and human and intelligent sensory evaluation[J]. LWT, 2024, 195: 115810.
[18] 徐锡明, 俞景辉, 林燕, 等. 烤制甘薯风味轮的构建与应用[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(3): 170−178. [XU Ximing, YU Jinghui, LIN Yan, et al. Construction and application of flavor wheel for baked sweet potato[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(3): 170−178.]
[19] 张蜜, 徐锡明, 魏煜航, 等. 芝士焗甘薯风味轮建立与感官特征解析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(11): 174−181. [ZHANG Mi, XU Ximing, WEI Yuhang, et al. Analysis of sensory characteristics of cheesy sweet potato gratin and establishment of flavor wheel[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(11): 174−181.]
[20] TSAI Y J, LIN L Y, YANG K M, et al. Effects of roasting sweet potato (*Ipomoea batatas* L. lam.): Quality, volatile compound composition, and sensory evaluation[J]. Foods, 2021, 10(11): 2602.
[21] 张毅, 孙健, 岳瑞雪, 等. 冰烤薯风味轮的构建及应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 236−245. [ZHANG Yi, SUN Jian, YUE Ruixue, et al. Construction of flavor wheel for quickly frozen baked sweet potato and its applications[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(23): 236−245.]
[22] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分: 优选评价员: GB/T 16291.1-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Sensory analysis—General guidance for the selection, training and monitoring of assessors: Part 1: Selected assessors: GB/T 16291.1-2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.]
[23] DERY E K, CAREY E E, SSALI R T, et al. Sensory characteristics and consumer segmentation of fried sweetpotato for expanded markets in Africa[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(3): 1419−1431.
[24] 国家技术监督局. 感官分析 通过多元分析方法鉴定和选择用于建立感官剖面的描述词: GB/T 16861-1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998. [State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. Sensory analysis—Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach: GB/T 16861-1997[S]. Beijing: Standards Press of China, 1998.]
[25] YU Mingguang, ZHENG Chengdong, XIE Qinggang, et al. Flavor wheel construction and sensory profile description of human milk[J]. Nutrients, 2022, 14(24): 5387.
[26] 王江民, 钱均祥, 许宗亮, 等. 应用层次分析法确定鲜食玉米品质指标的优先等级[J]. 西南农业学报, 2019, 32(9): 2192−2196. [WANG Jiangmin, QIAN Junxiang, XU Zongliang, et al. Determination of quality grades of fresh-eating maize by using analytic hierarchy process(AHP)[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(9): 2192−2196.]
[27] CALVERT M D, NEILL C L, AC-PANGAN M F, et al. Development of a hard cider flavor wheel using free word sorting and multivariate statistical techniques[J]. Journal of Sensory Studies, 2024, 39(2): e12916.
[28] 陈厚银, 钟葵, 云振宇, 等. 郫县豆瓣感官轮及定量描述剖面建立[J]. 食品科学, 2025, 46(3): 179−186. [CHEN Houyin, ZHONG Kui, YUN Zhenyu, et al. Establishment of sensory wheel and quantitative descriptive profile for Pixian Douban[J]. Food Science, 2025, 46(3): 179−186.]
[29] 李雄波, 符怡, 王相甫, 等. 四川晒露酱油感官风味轮构建及应用[J]. 食品与发酵科技, 2024, 60(6): 92−99. [LI Xiongbo, FU Yi, WANG Xiangfu, et al. Construction and application of sensory flavor wheel for Sichuan traditional soy sauce[J]. Food and Fermen-

tation Science & Technology, 2024, 60(6): 92−99.］
［30］孙鹏, 李南, 李硕. 基于主成分分析和聚类分析对呼伦贝尔地区不同品种油菜籽品质的综合评价[J]. 食品工业科技, 2026, 47(3): 292−302.［SUN Peng, LI Nan, LI Shuo. Comprehensive evaluation of the quality of different rapeseed varieties in the Hulunbuir region based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(3): 292−302.］
［31］李书亮, 谭臣娟, 侯明聪, 等. 基于主成分分析的不同干燥方式对不同品种苹果干品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2025, 25(9): 91−102,112.［LI Shuliang, TAN Chenjuan, HOU Mingcong, et al. Effect of different drying methods on the quality of different varieties of dried apples based on principal component analysis[J]. Storage and Process, 2025, 25(9): 91−102,112.］
［32］武松, 潘发明. SPSS 统计分析大全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 337−338.［WU Song, PAN Faming. SPSS statistical analysis daquan[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014: 337−338.］
［33］雷月, 宫彦龙, 唐会会, 等. 基于主成分和聚类分析的不同品种贵州禾酿酒适宜性品质评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 289−300.［LEI Yue, GONG Yanlong, TANG Huihui, et al. Evaluation of brewing suitability quality of different Guizhou He varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 289−300.］
［34］马尚玄, 胡小静, 付镓榕, 等. 云南澳洲坚果果实品质分析与综合评价[J]. 食品工业科技, 2025, 46(7): 259−271.［MA Shangxuan, HU Xiaojing, FU Jiarong, et al. Quality analysis and comprehensive evaluation of the fruit of *Macadamia integrifolia* grown in Yunnan Province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7): 259−271.］
［35］周剑琴, 易宇文, 乔明锋, 等. 基于 QDA 和 GC-IMS 技术分析不同等级郫县豆瓣焻炒后风味特征变化[J]. 现代食品科技, 2025, 41(12): 255−264.［ZHOU Jianqin, YI Yuwen, QIAO Mingfeng, et al. QDA and GC-IMS analysis of different grades of stir-fried flavor characteristics of Pixian Douban[J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(12): 255−264.］
［36］钟思彦, 邹波, 林锦波, 等. 不同品种黄皮果实营养成分及加工特性评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 253−263.［ZHONG Siyan, ZOU Bo, LIN Jinbo, et al. Evaluation of nutrient composition and processing characteristics of different varieties of wampee[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(14): 253−263.］