

基于模糊数学的甘薯食用品质感官评价模型

项伟¹, 许健², 董芳¹, 张道微¹, 黄艳岚¹, 张亚¹, 张超凡¹

(¹湖南省农业科学院作物研究所, 长沙 410125; ²湖南农业大学信息与智能科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: 目前甘薯食用品质评价多采用传统的蒸煮品尝式感官评价法, 评分标准与分析方法不够科学严谨, 本研究通过结合模糊综合评价法和层次分析法建立基于模糊数学的甘薯食用品质感官评价模型, 可为鲜食型甘薯新品种选育的数据化管理提供分析算法。该模型首先选取目前甘薯食味评分中最常用的色泽、香气、甜度、黏(面)度和纤维感 5 项指标作为因素集; 采用 5 分制将评语集分设成 5 个等级, 对各指标的各等级进行详细描述, 并组织评价小组对各参评品种的各指标进行评分; 采用层次分析法邀请行业内专家就各指标成对比较打分, 构建权重集; 以各参评品种的各指标专家评分值作为行列元素, 构建模糊关系矩阵, 并计算模糊综合评价结果矢量; 制定甘薯食用品质综合评分计算法则及甘薯食用品质等级标准, 综合分析模糊综合评价结果。然后, 再选取 11 个食用型甘薯品种进行食用品质评价示范, 再将评价结果与 2019 年国家甘薯产业技术体系相同甘薯品种蒸煮感官品质评价结果予以比对。结果表明, 利用该模型的评价符合当前国家甘薯产业技术体系对甘薯各食用型品种的基本认识, 且因评价员评分有详细实施依据, 结果更加精准; 模糊综合评分法比专家直接综合评分法更能体现各参评品种间的实际差距; 指标评分与综合评分之间的一致性, 比专家直接综合评分法更具稳定性。

关键词: 甘薯; 食用品质; 感官评价; 模糊数学

A Sensory Evaluation Model of Edible Quality Based on Fuzzy Mathematics in Sweetpotato

XIANG Wei¹, XU Jian², DONG Fang¹, ZHANG Dao-wei¹, HUANG Yan-lan¹,
ZHANG Ya¹, ZHANG Chao-fan¹

(¹Crop Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Science, Changsha 410125;

²College of Information and Intelligence, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

Abstract: Evaluation of the edible quality of sweetpotato is being conducted with the traditional sensory evaluation method. However, lack of a standard protocol makes the traditional evaluation method to be subjective and unprecise. To address this problem, a new sensory evaluation model by using fuzzy mathematics was established based on fuzzy comprehensive evaluation and analytic hierarchy process in this study. Firstly, five criteria indices were screened for evaluating the sweetpotato quality, including color, odour, sweetness, stickiness (flour-like taste) and fibrous taste. Each of these criteria indices was separated and defined for five-point scores. The analytic hierarchy process (AHP) was used to construct a weight set and the industry experts were invited to score each pair of criteria indices of pairwise comparison. The sensory scores of various criteria indices of all tested varieties marked by valuator were used as the rank elements to construct fuzzy relationship matrix.

收稿日期: 2021-04-09 修回日期: 2021-05-06 网络出版日期: 2021-06-23

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210409001>

第一作者研究方向为甘薯种质资源评价, E-mail: xiangwei@hunaas.cn

通信作者: 张超凡, 研究方向为甘薯遗传育种与栽培研究, E-mail: cfzhang@hunaas.cn

基金项目: 湖南省农业科技创新资金项目(2020CX32); 湖南省自然科学基金面上项目(2021JJ30432); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-10-C-16-2021); 湖南省重点研发计划(2020NK2042); 湖南省甘薯工程技术研究中心(2018TP2032)

Foundation projects: Hunan Agricultural Science and Technology Innovation Fund Project(2020CX32), Hunan Provincial Natural Science Foundation of China(2021JJ30432), China Agricultural Research System of MOF and MARA(CARS-10-C-16-2021), Hunan Key Technology R&D Program(2020NK2042), Hunan Sweetpotato Engineering Technology Research Center(2018TP2032)

The matrix was built and then used to calculate the result vector of fuzzy comprehensive evaluation. Lastly, the calculation rule of the integrated score of sweetpotato edible quality was formulated and edible quality grading standard of sweetpotato was proposed. To test the accuracy of the new evaluation system, 11 sweetpotato varieties with confirmed quality definitions (evaluating in the sweetpotato of China agricultural research system in 2019) were re-evaluated by the new built evaluation system. The result showed that the fuzzy comprehensive evaluation was more stable than that revealed with the traditional method. The outcome gained from the new evaluation method is coincidence with the current universal recognition by the sweetpotato of China agricultural research system. Furthermore, the scoring was more accurate because there was a detailed scoring rubric for evaluators to mark. Difference in the tested varieties could be quantified with the integrated score via a fuzzy comprehensive evaluation rather than an expert direct scoring method.

Key words: sweetpotato; edible quality; sensory evaluation; fuzzy mathematics

甘薯 (*Ipomoea batatas* (Linn.) Lam.) 又名甜薯、红薯、番薯或地瓜等, 属旋花科 (Convolvulaceae) 番薯属 (*Ipomoea*) 一年生或多年生蔓生草本植物, 是仅次于水稻、小麦、玉米的重要粮食作物^[1]。过去, 甘薯被认为是重要的“渡荒救灾”粮食作物, 其育种工作一直侧重于产量的提升。目前, 我国是世界最大的甘薯生产及消费国, 其中鲜食消费约占比 30%, 并呈持续上升态势。面对我国人们当代饮食各种喜好偏爱, 各类食用商品薯和甘薯休闲食品应运而生^[2], 鲜食型甘薯亟待更多新品种的补充^[3], 因此, 品质改良业已成为甘薯育种目标的新重点^[4]。当前, 集团杂交方法在甘薯育种中运用较为普遍^[5], 优选淘汰甘薯新品系时工作量十分浩大, 食用品质鉴定作为其中一项重要环节, 蒸煮品尝式感官评价一直是其首选方法^[6-7]。此法优点是直观快速, 缺点是主观不精准。在筛选新品系时, 倘若品质感官评价过程过于粗略, 极易造成育种者与某些优良基因型失之交臂。综上, 建立科学的甘薯食用品质感官评价方法, 消减主观误差、提高感官评分可信度, 对甘薯品质育种起至关重要的辅助作用。

感官评价是一门发展中的科学, 主要用于唤起、测量、分析和解释通过视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉而感知到的产品特征反应^[8]。为减少主观误差, 感官评价常常会结合模糊数学法^[9-10]、随机森林算法^[11-12]、主成分分析法^[13-14]和凝聚层次聚类分析法^[15-16]等数学方法进一步量化, 或结合电子鼻^[17-18]、电子舌^[19-20]、近红外光谱^[21-22]和 GC-MS^[23-24]等仪器分析建立相关模型。其中, 模糊数学法在食品感官评价中已得到广泛运用^[25], 如在甘薯淀粉面包加工^[26]、紫薯黑麦饼加工^[27]、紫薯干燥法筛选^[28]等生产应用中, 均结合了模糊数学法对感官评价进行

量化。但在育种领域, 数学方法量化感官评价的报道较为少见; 在甘薯育种中面对高淘汰率的海量筛选, 仪器分析替代感官评价有耗时长、检测成本高的缺点, 因此, 目前国内外甘薯育种时食用品质评价始终惯行的是单一感官评分^[29-30]。当前, 甘薯食用品质感官评价主要有蒸煮和烘烤品尝评分 2 种形式^[31-32], 参评品种的评价指标主要有色泽^[33]、香度^[33-36]、甘薯特征风味^[37]、甜度^[33-37]、黏度^[34-37]、面度^[34-36]、质地^[33]、硬度可接受度^[37]、纤维感^[34-37]和综合评分^[34-37]等 10 项, 指标评分和综合评分均由评价员凭经验直接计分^[38-39]。

在我国, 国家甘薯产业技术体系中现行食用型甘薯品质评价也采用单一感官评价, 评价指标为色泽、香度、甜度、黏(面)度、纤维感和综合评分 6 项指标, 均由评价员直接评分。由于感官评价易受人为因素影响, 加之《甘薯种质资源描述规范》等众多文献均未对该 6 项指标及其分级进行详细释义, 导致我国在目前甘薯食用品质评价上存在较大随意性和不规范性。本研究拟通过评价员培训与优选、评价指标选择与描述、组织评价小组品尝评分、评价指标赋权和模糊综合评价, 标准化甘薯食用品质感官评价方法、消减人为主观误差和量化感官评价结果, 为食用型甘薯品质育种从定性走向定量提供科学的理论基础, 同时也为甘薯育种数据化管理提供分析算法。

1 材料与方法

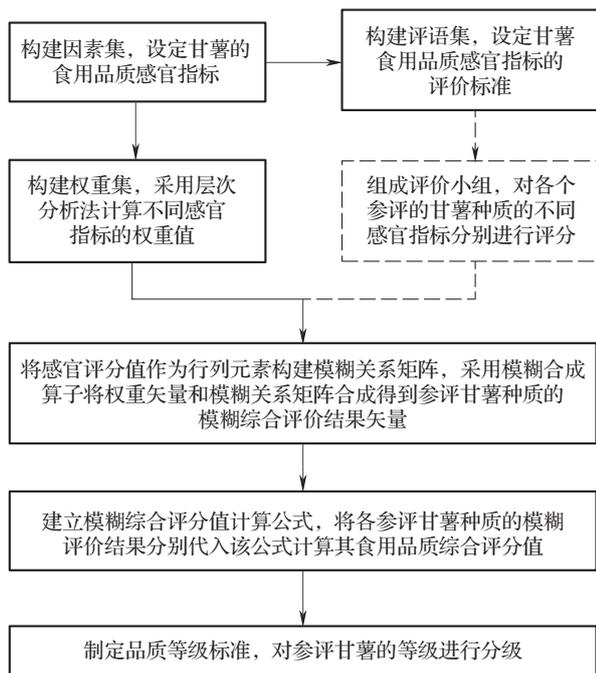
1.1 评价人员培训与优选

食品感官评价是一门检验科学, 应有别于一般品尝会的问卷调查, 需由经过培训的专业人员来承担。为提高感官检验的精确度和可信度, 本研究采用三点法(差别检验)和评分法(标度检验)对拟参

与评价人员进行培训^[40],再优选 10 人以上评价员组成评价小组。

1.2 模糊数学评价模型构建

如图 1 所示,本研究模型构建及其算法步骤如下。



虚线部分为甘薯食用品质评价现状;实线部分为构建完毕后,可作为程序算法制作成软件,供科研人员使用

The dotted portion shows the current method of sweetpotato edible quality evaluation, when the process of solid portion has been constructed, it can be used as a algorithm of software program for researchers

图 1 基于模糊数学的甘薯食用品质感官评价模型

Fig.1 A sensory evaluation model of edible quality based on fuzzy mathematics in sweetpotato

1.2.1 确定评价对象的因素集 因素集 U 是指由食用品质感官评价指标组成的集合,即 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_m\}$,其中 m 代表感官评价指标的数量(下同), u_i 代表第 i 个感官评价指标。

1.2.2 确定评价指标的评语集 评语集 V 是指评价人员对评价指标的反馈信息及其评定等级集合,即 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_r, \dots, v_t\}$,其中 t 代表评定等级的数量, v_r 代表第 r 个等级的评语。

1.2.3 确定评价指标的权重集 权重集 A 是指反映评价指标对感官品质影响程度的集合,即 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$,其中 a_i 代表对应感官评价指标 u_i 的权重值。本研究采用层次分析法对评价指标赋权:

第 1 步:设置两两比较重要性评分标度

第 2 步:构建两两比较矩阵

设 W 为两两比较矩阵(下同), w_{ij} 为第 i 个指标与第 j 个指标重要性之比(下同),其中, i 为前一指标的序号(下同), j 为后一指标的序号(下同)。比值由专家依据表 1 进行评分,得以下矩阵:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1j} & \cdots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2j} & \cdots & w_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_{i1} & w_{i2} & \cdots & w_{ij} & \cdots & w_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mj} & \cdots & w_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

表 1 评价指标两两比较的重要性评分标度
Table 1 Definition of the importance scores of criteria indices used in the pair-wise comparisons

判断标度 Importance score	含义 Definition
1	表示 2 个指标相比,具有相同重要性
3	表示 2 个指标相比,前者比后者稍重要
5	表示 2 个指标相比,前者比后者明显重要
7	表示 2 个指标相比,前者比后者强烈重要
9	表示 2 个指标相比,前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数 Reciprocal	若指标 i 与指标 j 的重要性之比为 w_{ij} ,那么指标 j 与 i 重要性之比为 $w_{ji}=1/w_{ij}$

第 3 步:标准化两两比较矩阵

$$w'_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{i=1}^m w_{ij}} \quad (2)$$

式中, w_{ij} 指成对比较的值, w'_{ij} 为标准化后的成对比较值(下同)。

第 4 步:计算特征值(权重)和特征向量(权向量)

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^m w'_{ij}}{m} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_i \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, a_i 指特征值(下同), 即第 i 个指标的权重; A 为矩阵 W 的特征向量(下同), 即评价指标的权重集。

第 5 步: 评估一致性比率

一致性比率(CR, consistency ratio) 计算是为了确保两两比较的结果具有一致性, 当 $CR < 0.10$ 时, 表明一致性较好; 如果 $CR \geq 0.10$, 两两比较矩阵应该做出调整, 直至 $CR < 0.10$ 。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (WA)_i / a_i \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (6)$$

$$RI = \frac{-5.739303 + 4.303993 \times m - 1.281630 \times m^2 + 0.241633 \times m^3}{1.771704 \times m - 0.540019 \times m^2 + 0.137736 \times m^3} \quad (7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

式中 λ_{\max} 、 CI 、 RI 和 CR 分别为两两比较矩阵的最大特征值、一致性指标、平均随机一致性指标和一致性比率, 其中, 公式(7)是一个经验公式。

第 6 步: 群决策分析

在每位专家的两两比较矩阵通过一致性比率评估后, 根据群决策判断矩阵集结重复第 3、4 步, 计算评价指标综合权重。

$$\bar{w}_{ij} = \sqrt[y]{\prod_{x=1}^y w_{ij}(x)} \quad (9)$$

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} \bar{w}_{11} & \bar{w}_{12} & \cdots & \bar{w}_{1j} & \cdots & \bar{w}_{1m} \\ \bar{w}_{21} & \bar{w}_{22} & \cdots & \bar{w}_{2j} & \cdots & \bar{w}_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{w}_{i1} & \bar{w}_{i2} & \cdots & \bar{w}_{ij} & \cdots & \bar{w}_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \bar{w}_{m1} & \bar{w}_{m2} & \cdots & \bar{w}_{mj} & \cdots & \bar{w}_{mm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, y 为评价指标两两比较矩阵的有效专家评卷数量, $w_{ij}(x)$ 为在第 x 位专家的两两比较矩阵中第 i 个指标与第 j 个指标重要性之比, \bar{w}_{ij} 为 y 位专家两两比较矩阵中第 i 个指标与第 j 个指标重要性之比的几何平均值, \bar{w} 为 y 位专家的群决策判断矩阵。

1.2.4 进行单因素模糊评价

第 1 步: 构建模糊关系矩阵

设 r_{ik} 为第 k 个参评品种的第 i 个指标被赋予的等级评分(下同), 其中, 评分 r_{ik} 由评价小组综合

优选评价员的打分而得, 可取中位数, 构成以下矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ik} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mk} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, R 代表模糊关系矩阵, n 为参评品种的数量(下同)。

第 2 步: 标准化模糊关系矩阵

$$r'_{ik} = \frac{r_{ik}}{\sum_{k=1}^n r_{ik}} \quad (12)$$

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \cdots & r'_{1k} & \cdots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \cdots & r'_{2k} & \cdots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r'_{i1} & r'_{i2} & \cdots & r'_{ik} & \cdots & r'_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \cdots & r'_{mk} & \cdots & r'_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中, r'_{ik} 为标准化后的等级评分值(下同), R' 为标准化后的模糊关系矩阵(下同)。

第 3 步: 合成模糊综合评价结果矢量

$$b_k = \min \left(1, \sum_{i=1}^m a_i r'_{ik} \right) \quad (14)$$

$$B = A \circ R' = (b_1, b_2, \cdots, b_k, \cdots, b_n) \quad (15)$$

式中, B 为模糊综合评价结果矢量, “ \circ ” 为模糊算子, A 为感官评价指标的权重集, a_i 为第 i 个评价指标的权重, b_k 为第 k 个参评品种的模糊综合评价结果(下同)。

第 4 步: 模糊综合评价结果分析

$$S_k = \rho + \sigma \times \frac{b_k - b_0}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (b_k - \bar{b})^2}{n - 1}}} \quad (16)$$

式中, S_k 为第 k 个参评品种的食用品质综合评分值, b_0 为参考品种的模糊综合评价结果; \bar{b} 为 n 个参评甘薯种质模糊综合评价结果的平均值, ρ 为参考品种的食用品质综合评分值, σ 为标准差系数。

1.3 评价模型应用示例

1.3.1 评价材料选取 采用材料均取自湖南省作物研究所甘薯种质资源保存圃。在 3 月上旬采用

露地盖膜排种育苗,排种前施足底肥;6月上旬剪苗栽插,采用大垄单行斜插方式,种植密度 3000 株 / 667 m²;10月下旬收获。选取苏薯 16 号、浙薯 70、万薯 10 号、湘薯 99、烟薯 25、济薯 26、徐紫薯 8 号、济农 51、阜紫薯 1 号、南紫薯 008 和南紫薯 020 共 11 个食用型甘薯品种参与食用品质评价(表 2),在各品种收获后 7 d 内,选取外观完好、无病虫害的中等薯块(0.20 ± 0.05 kg)分别洗净,依次编号,放入锅内,蒸熟。

注意事项:蒸锅内放入适量清水,保证薯块不与水直接接触(升温后热水的浸提作用可能导致甘薯中可溶性糖的流失^[41]);如样品较多,需连续多次蒸煮,须更换为常温清水后再蒸煮或统一在水沸后再放入样品(β-淀粉酶的最适温度为 60 ℃^[42],甘薯内部升温速度影响其糖转化率^[43])。

1.3.2 评价结果验证 分别计算参评品种各指标评分与综合评分的相关系数,并以平均相关系数为依

据,获得各指标评分与综合评分之间的一致性参数,从而比较模糊数学综合评分与专家直接综合评分的优劣。平均相关系数值越大,说明各指标评分与综合评分之间的一致性越好,一致性越好的综合评分方法越优。利用 SPSS 22.0 统计软件对它们的相关系数集合进行 Wilcoxon 符号秩检验。当 $P \leq 0.05$ 时,结果具有显著性;当 $P > 0.05$ 时,结果不显著。

$$r(r_i, S) = \frac{Cov(r_i, S)}{\sqrt{Var[r_i]Var[S]}} \quad (17)$$

$$\bar{r}(r_i, S) = \frac{\sum_{i=1}^m r(r_i, S)}{m} \quad (18)$$

式中, r_i 为所有参评品种第 i 个指标被赋予等级评分的集合, S 为所有参评品种食用品质综合评分值的集合, $r(r_i, S)$ 为第 i 个指标评分与综合评分的相关系数, $\bar{r}(r_i, S)$ 为 m 个指标评分与综合评分的平均相关系数。

表 2 本研究参评品种基本信息

Table 2 Basic information of the tested varieties in this study

品种 Variety	类型 Type	薯形 Root shape	薯皮色 Skin color	薯肉色 Flesh color	选育单位 Breeding institute
苏薯 16 号 Sushu 16	食用型	下膨短纺形	紫红色	橘红色	江苏省农业科学院
浙薯 70 Zheshu 70	食用型	长纺锤形	红色	橘红色	浙江省农业科学院
万薯 10 号 Wanshu 10	食用型	纺锤形	紫红色	浅橘红色	重庆三峡农业科学院
湘薯 99 Xiangshu 99	食用型	纺锤形	浅黄色	浅橘红色	湖南省农业科学院
烟薯 25 Yanshu 25	食用型 / 烘烤型	纺锤形	淡红色	橘黄色	烟台市农业科学院
济薯 26 Jishu 26	食用型	长纺锤形	红色	黄色	山东省农业科学院
徐紫薯 8 号 Xuzishu 8	食用型 / 加工型	纺锤形	紫色	深紫色	徐州农业科学研究所
济农 51 Jinong 51	食用型	纺锤形	紫色	紫色	济南市农业科学院
阜紫薯 1 号 Fuzishu 1	食用型	纺锤形	紫色	紫色	阜阳市农业科学院
南紫薯 008 Nanzishu 008	食用型	长纺锤形	紫色	紫色	南充市农业科学院
南紫薯 020 Nanzishu 020	食用型	长纺锤形	浅紫色	浅紫色	南充市农业科学院

2 结果与分析

2.1 模糊数学评价模型参数的确定

2.1.1 甘薯食用感官品质指标的确定 参考国家甘薯产业技术体系食品加工岗位在 2019 年感官品质评价中采用的评价指标,本评价模型亦选取目前甘薯食味评分中最常用的 5 项感官评价指标,设 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$, 其中 $u_1 \sim u_5$ 分别代表色泽、香气、甜度、黏(面)度和纤维感。

2.1.2 感官评价指标评语集的确定 由于人体感觉阈值有限,分级太细易造成因无法分辨而随意打分,因此,设 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, 其中 $v_1 \sim v_5$ 分别代表 5 个等级的评分及相应描述,详情见表 3。在本研究中,评价指标分值按最符合的描述等级赋予,其中,所有描述项均完全符合的赋予该等级最高分;有不达该等级的每项扣 0.5 分;有超过该等级的每项加 0.5 分。评价指标分值最高 5 分,最低 0.5 分。

表 3 甘薯食用品质感官评价标准

Table 3 Evaluation standard of sensory quality for the edible tuberous root of sweetpotato

等级评分 Rating score	色泽 Color	香度 Odour	甜度 Sweetness	黏(面)度 Stickiness (Flour-like taste)	纤维感 Fibrous taste
$4 < v_5 \leq 5$ 取 4.5 或 5 Score=4.5 or 5	诱人: 薯肉呈橘红色、橘黄色或深紫色; 主色鲜亮, 均匀, 无次色	香: 薯香味浓烈稳定	甜: 甜味浓重, 后味绵长	黏: 肉质软糯粘滑、无粉感	无: 咀嚼后口腔中无残渣, 也无颗粒感
$3 < v_4 \leq 4$ 取 3.5 或 4 Score=3.5 or 4	较诱人: 薯肉呈黄色或紫色; 主色鲜亮、均匀, 无次色	较香: 薯香味气息深长润厚	较甜: 甜味较重, 后味持久	较黏: 肉质较糯而粘、粉感弱	较少: 咀嚼后口腔中无残渣, 但有颗粒感
$2 < v_3 \leq 3$ 取 2.5 或 3 Score=2.5 or 3	中等: 薯肉呈浅黄色或浅紫色; 主色均匀, 无明显次色	中等: 薯香味明显清晰, 但气息浅短	中等: 有明显甜味, 后味较短	中等: 肉质有一定糯性、且较粉	中等: 咀嚼后口腔中仅有少许残渣, 不影响口感
$1 < v_2 \leq 2$ 取 1.5 或 2 Score=1.5 or 2	不诱人: 薯肉呈白色; 次色明显	微香: 有淡淡薯香味, 但不明显	微甜: 有淡淡甜味, 宛若游丝	微黏: 肉质糯性较差且偏硬、粉且较干	较多: 咀嚼后口腔中留有明显残渣, 对口感有一定影响
$v_1 \leq 1$ 取 0.5 或 1 Score=0.5 or 1	反感: 薯肉色暗淡; 次色明显	不香: 无薯香味或有异味	不甜: 无甜味	不黏: 肉质硬且不粘、粉而干	多: 咀嚼后口腔中留有较多残渣, 对口感影响较大

2.1.3 感官评价指标权重集的确定 根据公式(1)构建评价指标矩阵, 制作成问卷并发放给 10 名行业内专家, 经专家依据表 1 判断后回收问卷并进行一

致性检验, 再将有效判断问卷根据群决策判断矩阵集结计算出各性状的权重, 结果见表 4。

表 4 甘薯食用品质感官评分、指标权重与模糊评价结果

Table 4 Evaluation score of sensory quality and weights of criteria indices for the edible tuberous root of sweetpotato

品种 Variety	色泽 Color	香度 Odour	甜度 Sweetness	黏(面)度 Stickiness (Flour-like taste)	纤维感 Fibrous taste	模糊评分 Fuzzy score	排名 Order
苏薯 16 号 Sushu 16	4.5	4.5	4.5	4.0	5.0	96.8	1
浙薯 70 Zheshu 70	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	80.8	10
万薯 10 号 Wanshu 10	4.0	3.5	4.0	3.5	4.5	87.4	3
湘薯 99 Xiangshu 99	2.0	3.0	3.5	4.5	4.5	81.1	9
烟薯 25 Yanshu 25	3.5	3.5	4.5	2.5	4.0	85.0	5
济薯 26 Jishu 26	4.5	4.0	3.5	3.0	3.5	83.4	6
徐紫薯 8 号 Xuzishu 8	4.0	2.5	2.0	3.5	4.0	71.2	11
济农 51 Jinong 51	3.0	3.0	3.0	4.5	5.0	81.2	8
阜紫薯 1 号 Fuzishu 1	5.0	3.0	3.0	4.5	4.5	86.0	4
南紫薯 008 Nanzishu 008	4.0	3.5	4.0	4.0	4.5	89.2	2
南紫薯 020 Nanzishu 020	2.0	3.5	4.0	4.0	4.0	83.1	7
权重 Weight	0.165	0.127	0.385	0.229	0.095		
相关系数 Correlation coefficient	0.2686	0.7548	0.7383	0.0485	0.4292		
平均相关系数 Average correlation coefficient						0.4479	

从表 4 可见, 甘薯食用品质感官评价指标权重排序依次为甜度 > 黏(面)度 > 色泽 > 香度 > 纤维感, 其中, 甜度和黏(面)度的权重和占比 61.4%, 说明甜度和黏(面)度是影响食用型甘薯品质的主要因子。

2.2 模糊数学评价模型应用示例评价结果

2.2.1 示例模糊评价结果分析 甄选 10 位经过培训的优选评价员组成甘薯食用品质感官评价小组, 根据表 2, 对 11 个食用型甘薯品种分别打分,

并依据公式(11)~(16),计算出各参评品种的食用品质综合评分值,详情见表4。本研究中,以烟薯25为参考品种,设 $\rho=85$;并根据参评品种感官评分情况,设 $\sigma=6$,以调节等级评分值范围2.5~5.0与综合评分值范围70~100基本对应。最后将甘薯食用品质评价结果分为4级,分别为推荐鲜食优品($90 < S_k \leq 100$),推荐鲜食专用($80 < S_k \leq 90$),推荐鲜食兼用($70 < S_k \leq 80$),不推荐鲜食($S_k \leq 70$)。

从表4可见,甘薯食用品质评分排名依次为苏薯16号>南紫薯008>万薯10号>阜紫薯1号>烟薯25>济薯26>南紫薯020>济农51>湘薯99>浙薯70>徐紫薯8号,其中,推荐为鲜食优品的品种是苏薯16号,推荐为鲜食专用的品种有南紫薯008、万薯10号、阜紫薯1号、烟薯25、济薯26、南紫

薯020、济农51、湘薯99、浙薯70,推荐为鲜食兼用的品种是徐紫薯8号。

2.2.2 感官评价方法结果对比分析 2019年,国家甘薯产业技术体系食品加工岗位全国鲜食用甘薯蒸煮食味品质评价采用的是专家直接综合评分法,共分2个测试地点,其部分评价结果见表5。综合表4和表5可知,本研究、测试地点1和测试地点2的评价结果中平均相关系数分别为0.4479(表4)、0.5071(表5)和0.1422(表5),说明测试地点1指标评分与综合评分之间一致性比本研究的高,但因 $P=0.686$,不具有显著性($P>0.05$);本研究指标评分与综合评分之间一致性比测试地点2的高,且 $P=0.043$,具有显著性($P \leq 0.05$)。

表5 国家甘薯产业技术体系2019年部分甘薯品种蒸煮感官品质评价结果

Table 5 Evaluation score of sensory quality for the edible tuberous root of some sweetpotato varieties in 2019 by the Sweetpotato of China Agricultural Research System

品种 Variety	测试地点1 Test site 1						测试地点2 Test site 2					
	色泽 Color	香度 Odour	甜度 Sweetness	黏(面)度 Stickiness (Flour-like taste)	纤维感 Fibrous taste	综合评分 Integrated score	色泽 Color	香度 Odour	甜度 Sweetness	黏(面)度 Stickiness (Flour-like taste)	纤维感 Fibrous taste	综合评分 Integrated score
苏薯16号 Sushu 16	85.0	84.5	87.5	83.5	88.5	86.3	81.0	82.0	82.0	79.0	82.5	81.5
浙薯70 Zheshu 70	77.0	79.0	78.0	82.0	81.5	80.5	83.5	74.0	76.0	79.0	80.0	78.0
万薯10号 Wanshu 10	83.5	83.5	88.0	78.0	85.0	86.3	81.0	74.5	72.5	79.5	83.0	77.5
湘薯99 Xiangshu 99	71.0	74.5	73.5	87.5	82.0	77.0	73.0	79.0	85.0	81.0	85.0	80.0
烟薯25 Yanshu 25	81.5	78.0	83.5	74.0	80.5	80.0	78.0	79.5	85.0	75.5	81.0	80.5
济薯26 Jishu 26	85.5	83.5	87.5	81.0	82.5	84.5	81.0	78.5	72.5	83.0	84.5	77.0
徐紫薯8号 Xuzishu 8	80.0	71.5	69.0	80.5	79.5	77.5	81.5	74.5	76.0	78.0	81.5	79.5
济农51 Jinong 51	76.5	76.5	77.0	86.0	88.0	81.0	76.5	75.0	75.0	83.0	85.0	76.5
阜紫薯1号 Fuzishu 1	90.5	79.5	76.5	85.0	84.5	85.0	85.5	75.0	74.5	82.5	84.0	79.5
南紫薯008 Nanzishu 008	79.5	80.0	84.0	79.5	84.5	84.5	82.0	78.0	80.5	82.0	83.0	81.5
南紫薯020 Nanzishu 020	69.5	78.0	82.5	84.0	83.0	78.5	75.0	77.5	80.5	80.5	81.0	79.0
相关系数 Correlation coefficient	0.6914	0.8013	0.6501	-0.1756	0.5683		0.0425	0.5504	0.6775	-0.3413	-0.2179	
平均相关系数 Average correlation coefficient						0.5071						0.1422
P值 P value						0.686						0.043

当 $P \leq 0.05$ 时,说明表5中与表4中平均相关系数的差异具有显著性;当 $P > 0.05$ 时,则不存在显著性

When $P \leq 0.05$, the difference between the average correlation coefficients in Table 5 and Table 4 is significant, when $P > 0.05$, there is no significant difference

3 讨论

3.1 甘薯食用品质感官评价模型建立的重要性

感官评价是当前甘薯食用品质鉴定的重要方式,也是甘薯鲜食型材料育种和筛选的重要判断依据,色泽、香度、甜度、黏(面)度和纤维感则是业内公认的5项决定因素。评价员在品尝评分时对5项因素的一瞬间判定,直接关乎育种材料的取舍。为避免性别、年龄、职业、偏好和感觉阈值等因素在感官评价中的干扰,评价员培训和描述评语限定就显得尤为重要。目前,各感官评价指标仅被简单分为5个描述等级,并未对描述评语进行详细限定。本研究完善了各指标评语的描述(表3),对提高评价员评分的准确性和一致性有至关重要的辅助作用。

此外,综合评分若与各指标评分一样,仍由评价员主观打分获得,必将增加人为干扰因素对结果的影响。在实践中,专家直接综合评分时指标评分与综合评分之间的一致性明显存在不稳定性。因此,为减免人为因素影响造成最终结果一致性不稳定,应在严格控制各指标评分尺度保持一致的前提下,再引入模糊数学模型依据各指标评分来计算综合评分,使甘薯食用品质评价工作更加客观化、标准化。

3.2 甘薯食用品质感官评价模型的应用方式

为使本研究构建的食用品质感官评价模型在甘薯育种实践中得到充分应用,可通过计算机语言将其转化制作成软件程序系统。届时评价小组依据评语集描述打分并将结果录入系统,即可获得参评甘薯种质食用品质的综合得分、排序及其等级。此外,在系统程序编写时,还可将因素集和权重集列为可设置项,以适应不同科研人员的需求。

3.3 甘薯食用品质感官评价模型的其他用途

目前,我国甘薯食用品质评价的加工方式主要有蒸煮和烘烤2种。由于不同加工方式对熟薯风味的形成具有一定影响,因此,若将本研究结合不同加工方式,如常压蒸煮、加压蒸煮、烘烤或微波等^[44],则可通过综合比较获得参评甘薯品种的最适加工方式。例如,烟薯25是烘烤专用型甘薯,在2011年度全国甘薯食用品质组竞赛中食味排名第一,然而,在本研究示例中采用蒸煮加工方式时排名却落至第五,说明蒸煮并不是烟薯25的最佳加工方式。

一直以来,甘薯肉色是判断其用途的辅助手段之一,如白肉品种倾向于淀粉型、橘肉品种倾向于鲜

食型等。随着甘薯杂交新品种的日益增多,该判断界限已然日渐模糊。本研究完善了感官指标的描述评语,更精准的评分结果有利于进一步分析甘薯肉色与感官指标之间的相关性。例如,在本研究示例结果中,橘红(黄)肉品种的甜度和香度一般略高于紫肉品种,且随薯肉紫色渐深,甜度和香度有渐低的趋势,这可能是由于橘红(黄)肉品种在蒸煮时淀粉水解和美拉德反应均比紫肉品种剧烈^[45-46];橘红肉、紫肉品种黏(面)度一般略高于(橘)黄肉品种,可能是由于橘红肉、紫肉品种直链淀粉含量较(橘)黄肉品种更低造成的^[47]。

研究发现,同一种质在不同测试地点的评价结果存在差异,这既可能是由于甘薯生长环境(包括土壤^[48]、水分^[49]和气候^[50]等)不同导致薯块营养成分含量(包括淀粉^[51]、可溶性糖^[52]等)不同造成,也可能是由于不同评价员评分时松紧度不一致导致的。因此,宜选择同一批评价员对在不同地点测试的同一参评品种进行感官评价,其评价结果亦可作为该甘薯品种宜栽区选择的判断依据之一。例如,在2019年国家甘薯产业技术体系品种蒸煮感官品质评价中,万薯10号明显更适宜种植于测试地点1。

4 结论

甘薯育种过程中待选品系基数往往较为庞大,在食用品质鉴定环节多采用感官评价。目前,甘薯食用品质感官评价中指标评分和综合评分均采用直接评分法,且评价指标分级描述极其简单,造成评价结果缺乏稳定性和一致性。为弥补此短板,本研究引入数学模型,详细描述了色泽、香度、甜度、黏(面)度和纤维感5项感官指标的分级标准,并应用模糊数学计算综合评分结果,再针对综合评分进行品质分级,形成了一套完整的甘薯食用品质评价模型。不但能够比较同一地区不同甘薯品种的食用价值差异,还能衡量同一甘薯品种在不同地区的食用价值差异,并可用具体分值来判断何种甘薯品种符合何等级食用品质并适合何种加工方式。可见,本研究是现有甘薯食用品质感官评价方法的补充和完善,既有利于量化甘薯食用品质感官评价,得到统一稳定的评价结论,也可为鲜食型甘薯新品种选育的数据化管理提供理论基础和分析算法。

参考文献

- [1] 王春雨,于继英,邓雪娟,刘世杰,席兴军,蔡辉益.我国甘薯

- 资源分布及饲用新模式探索. 中国畜牧杂志, 2017, 53(10): 122-126
- Wang C Y, Yu J Y, Deng X J, Liu S J, Xi X J, Cai H Y. Exploration on the distribution of sweetpotato resources and the new model of feeding in China. Chinese Journal of Animal Science, 2017, 53(10): 122-126
- [2] 戴起伟, 钮福祥, 孙健, 曹静. 我国甘薯生产与消费结构的变化分析. 中国农业科技导报, 2016, 18(3): 201-209
- Dai Q W, Niu F X, Sun J, Cao J. Changes analysis of sweet potato production and consumption structure in China. Journal of Agricultural Science and Technology, 2016, 18(3): 201-209
- [3] 项超, 沈升法, 季志仙, 李兵, 吴列洪. 浙薯系列鲜食及食品加工型甘薯品种系谱和品质性状分析. 核农学报, 2020, 34(1): 36-44
- Xiang C, Shen S F, Ji Z X, Li B, Wu L H. Pedigree and quality traits of Zheshu sweetpotato varieties for table use and food processing use. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(1): 36-44
- [4] 谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 马佩勇, 边小峰, 禹阳. 中国食用甘薯育种现状及展望. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1419-1424
- Xie Y Z, Guo X D, Jia Z D, Ma P Y, Bian X F, Yu Y. Progresses and prospects on edible sweetpotato breeding in China. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(6): 1419-1424
- [5] 易中懿, 汪翔, 徐雪高, 秦建军, 陆建珍, 戴起伟. 品种创新与甘薯产业发展. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1401-1409
- Yi Z Y, Wang X, Xu X G, Qin J J, Lu J Z, Dai Q W. Breeding innovation and development of sweet potato industry. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(6): 1401-1409
- [6] Adebisi O A, Adebisi L O, Olatunji I B, Daodu T O, Omofaiye A M, Akilapa O A. Sensory evaluation and willingness to pay for orange flesh sweet potato. Cercetari Agronomice in Moldova, 2020, 181(1): 73-83
- [7] Mwanga R O M, Mayanja S, Swanckaert J, Nakitto M, Zum Felde T, Grüneberg W, Mudege N, Moyo M, Banda L, Tinyiro S E, Kisakye S, Bamwirire D, Anena B, Bouniol A, Magala D B, Yada B, Carey E, Andrade M, Johanningsmeier S D, Forsythe L, Fliedel G, Muzhingi T. Development of a food product profile for boiled and steamed sweetpotato in Uganda for effective breeding. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(3): 1385-1398
- [8] 史波林, 赵镭, 汪厚银, 支瑞聪, 兔畅, 云战友, 苏玉芳. 感官分析评价小组及成员表现评估技术动态分析. 食品科学, 2014, 35(8): 29-35
- Shi B L, Zhao L, Wang H Y, Zhi R C, Huan C, Yun Z Y, Su Y F. Overview of assessment techniques for sensory panel and panelist performance. Food Science, 2014, 35(8): 29-35
- [9] 康莉, 李敏, 龙银晴. 模糊数学在食品感官分析中的应用现状分析. 农产品加工, 2019(20): 89-91
- Kang L, Li M, Long Y Q. Application of fuzzy mathematics in food sensory analysis. Farm Products Processing, 2019(20): 89-91
- [10] Singh V, Kumar S, Singh J, Rai A. Fuzzy logic sensory evaluation of cupcakes developed from the mahua flower (*Madhuca longifolia*). Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 2018, 5(1): 411-421
- [11] 刘鹏, 吴瑞梅, 杨普香, 李文金, 文建萍, 童阳, 胡潇, 艾施荣. 基于计算机视觉技术的茶叶品质随机森林感官评价方法研究. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(1): 193-198
- Liu P, Wu R M, Yang P X, Li W J, Wen J P, Tong Y, Hu X, Ai S R. Study of sensory quality evaluation of tea using computer vision technology and forest random method. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(1): 193-198
- [12] Granitto P M, Gasperi F, Biasioli F, Trainotti E, Furlanello C. Modern data mining tools in descriptive sensory analysis: a case study with a Random forest approach. Food Quality and Preference, 2007, 18(4): 681-689
- [13] 牛文婧, 田洪磊, 詹萍. 基于主成分分析的花椒油香气质量评价模型的构建. 食品工业科技, 2019, 40(17): 263-269, 275
- Niu W J, Tian H L, Zhan P. Construction of aroma quality evaluation model of *Zanthoxylum* oil based on principal component analysis. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 263-269, 275
- [14] Mwove J K, Gogo L A, Chikamai B N, Omwamba M, Mahungu S M. Principal component analysis of physicochemical and sensory characteristics of beef rounds extended with gum arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. Food Science & Nutrition, 2018, 6(2): 474-482
- [15] 王飞飞, 马骁, 莫隽颖, 吴梦洁, 殷园园, 林文强. 采用主成分与聚类分析对市售保湿乳液感官评价的研究. 日用化学工业, 2016, 46(12): 718-722
- Wang F F, Ma X, Mo J Y, Wu M J, Yin Y Y, Lin W Q. Sensory evaluation of commercial moisturizing lotions based on principal component analysis and cluster analysis. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2016, 46(12): 718-722
- [16] Serrano-Megías M, López-Nicolás J M. Application of agglomerative hierarchical clustering to identify consumer tomato preferences: influence of physicochemical and sensory characteristics on consumer response. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(4): 493-499
- [17] 李官丽, 聂辉, 苏可珍, 黎小椿, 黄双全, 伍淑婕, 罗杨合. 基于感官评价和电子鼻分析不同蒸煮时间荸荠挥发性风味物质. 食品工业科技, 2020, 41(15): 1-7, 14
- Li G L, Nie H, Su K Z, Li X C, Huang S Q, Wu S J, Luo Y H. Analysis of volatile flavor substances of Chinese water chestnut in different steaming and boiling time based on sensory evaluation and e-nose. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 1-7, 14
- [18] Tian H X, Liu H, He Y J, Chen B, Xiao L Z, Fei Y G, Wang G Z, Yu H Y, Chen C. Combined application of electronic nose analysis and back-propagation neural network and random forest models for assessing yogurt flavor acceptability. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 14(1): 573-583
- [19] 苏智敏, 黄小平, 刘飞, 吴振. 电子舌技术在食用盐模糊感官评价中的应用. 食品与机械, 2020, 36(8): 53-56
- Su Z M, Huang X P, Liu F, Wu Z. Application of electronic tongue technology for fuzzy sensory evaluation of edible salts. Food & Machinery, 2020, 36(8): 53-56
- [20] Schlossareck C, Ross C F. Electronic tongue and consumer sensory evaluation of spicy paneer cheese. Journal of Food Science, 2019, 84(6): 1563-1569
- [21] 郝贤伟, 帖金鑫, 何文苗, 李石头, 张立立, 李永生, 张勇刚, 慕继瑞, 廖付, 田雨农, 刘建国, 毕一鸣. 基于近红外光谱-感官

- 评价的巴西烟叶风格模拟及替代. 烟草科技, 2018, 51(10): 83-89
- Hao X W, Tie J X, He W M, Li S T, Zhang L L, Li Y S, Zhang Y G, Mu J R, Liao F, Tian Y N, Liu J G, Bi Y M. Style simulation and substitution of Brazilian tobacco based on near infrared spectrum and sensory evaluation. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(10): 83-89
- [22] Sans S, Ferré J, Boqué R, Sabaté J, Casals J, Simó J. Estimating sensory properties with near-infrared spectroscopy: a tool for quality control and breeding of 'Calçots' (*Allium cepa* L.). Agronomy, 2020, 10(6): 828
- [23] 王洪伟, 索化夷, 张玉, 阚建全. 感官评价和 GC-MS 结合最小二乘回归法分析酚类化合物对腊肉烟熏风味的贡献. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 244-249
- Wang H W, Suo H Y, Zhang Y, Kan J Q. PLSR analysis and sensory evaluation of GC-MS result of phenolic compounds contribution to smoked flavor in Chinese bacon. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(21): 244-249
- [24] Gao P, Jiang Q X, Xu Y S, Yang F, Yu P P, Xia W S. Aroma profiles of commercial Chinese traditional fermented fish (Suan yu) in Western Hunan; GC-MS, odor activity value and sensory evaluation by partial least squares regression. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 213-226
- [25] Vivek K, Subbarao K V, Routray W, Kamini N R, Dash K K. Application of fuzzy logic in sensory evaluation of food products: a comprehensive study. Food and Bioprocess Technology, 2019, 13(1): 1-29
- [26] 孙莹, 苗榕芯. 基于模糊数学综合感官评价的甘薯淀粉面包的工艺优化. 食品工业科技, 2018, 39(17): 180-185
- Sun Y, Miao R X. Optimization of the production process of sweet potato starch bread based on fuzzy synthetical evaluation. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(17): 180-185
- [27] 翟立公, 胡旭红, 王战伟, 杨剑婷, 栗兰杰, 王俊颖. 模糊数学感官评价法优化紫薯黑麦饼干加工工艺. 现代食品, 2019(13): 65-71
- Zhai L G, Hu X H, Wang Z W, Yang J T, Li L J, Wang J Y. Fuzzy mathematical sensory evaluation method for optimizing processing technology of purple potato rye biscuits. Modern Food, 2019(13): 65-71
- [28] 秦波, 路海霞, 陈团伟, 陈绍军. 模糊综合评价法在紫薯干燥方法筛选中的应用. 包装与食品机械, 2015, 33(1): 8-12
- Qin B, Lu H X, Chen T W, Chen S J. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in the selection of purple sweet potato drying method. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(1): 8-12
- [29] 王亚威, 杜贤明, 胡桂萍, 曹红妹, 石旭平, 吴问胜. 不同食用型甘薯品种(系)品质分析. 武夷科学, 2019, 35(2): 91-96
- Wang Y W, Du X M, Hu G P, Cao H M, Shi X P, Wu W S. Study on the adaptability of different edible sweet potato varieties (lines). Wuyi Science Journal, 2019, 35(2): 91-96
- [30] 沈升法, 项超, 吴列洪, 李兵, 罗志高. 浙江省甘薯种质资源的品质鉴定与聚类分析. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 247-259
- Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Quantification and cluster analysis of quality-related traits in sweetpotato germplasm resources in Zhejiang province. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 247-259
- [31] 叶夏芳, 胡琼之, 邱天越, 王永徐, 吕尊富, 陆国权. 不同品种和加工方式对甘薯糖化特性的影响. 河南农业科学, 2019, 48(7): 141-149
- Ye X F, Hu Q Z, Qiu T Y, Wang Y X, Lv Z F, Lu G Q. Effects of different varieties and processing methods on saccharification characteristics of sweetpotato. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(7): 141-149
- [32] Ravi R, Nandwani D, Nwosisi S. Texture profile analysis of organic sweetpotato (*Ipomoea batatas*) cultivars as affected by different thermal processing methods. International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 2019, 3(2): 93-100
- [33] Nwosisi S, Nandwani D, Hui D, Ravi R. Sensory evaluation of organic sweetpotato cultivars. International Journal of Vegetable Science, 2017, 23(6): 536-551
- [34] 徐娟, 黄洁, 许瑞丽, 宋付平, 甘学德, 苏明. 28 份甘薯种质的产量和营养及食味评价. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(1): 8-15
- Xu J, Huang J, Xu R L, Song F P, Gan X D, Su M. Evaluation of the yield, nutritive content and eating quality in sweet potato germplasm containing 28 cultivars. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2012, 38(1): 8-15
- [35] 王晓庆, 徐娟, 黄洁, 甘学德, 刘子凡, 许瑞丽. 红黄肉甘薯性状的灰色关联度分析及营养食味评价. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(2): 53-60
- Wang X Q, Xu J, Huang J, Gan X D, Liu Z F, Xu R L. Gray relational analysis of main traits and quality evaluation of red and yellow sweet potatoes. Journal of Northwest A & F University: Natural Sciences, 2013, 41(2): 53-60
- [36] 沈升法, 吴列洪, 李兵. 紫肉甘薯部分营养成分与食味的关联分析. 中国农业科学, 2015, 48(3): 555-564
- Shen S F, Wu L H, Li B. Association analysis between part nutritional compositions and taste of purple-fleshed sweetpotato. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(3): 555-564
- [37] 田晴, 孙立永, 杨文广, 王学清, 胡亚亚, 韩美坤, 刘兰服, 马志民, 牟德华. 不同品种甘薯烘烤后感官、质构及香气成分的差异. 食品工业科技, 2021, 42(5): 85-92
- Tian Q, Sun L Y, Yang W G, Wang X Q, Hu Y Y, Han M K, Liu L F, Ma Z M, Mou D H. Differences in aroma, texture, and sensory in five varieties of sweet potatoes. Science and Technology of Food Industry, 2020, 42(5): 85-92
- [38] 中华人民共和国农业部. NY/T 2939—2016 甘薯种质资源描述规范. 北京: 中国农业出版社, 2016
- Ministry of agriculture and rural affairs of the people's republic of China. NY/T 2939—2016 Descriptors for sweetpotato germplasm resources. Beijing: China Agriculture Press, 2016
- [39] 张允刚, 房伯平, 唐君, 张雄坚, 郭小丁, 陈景益, 赵冬兰, 李强. 甘薯种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
- Zhang Y G, Fang B P, Tang J, Zhang X J, Guo X D, Chen J Y, Zhao D L, Li Q. Descriptors and data standard for sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [40] 中华人民共和国农业部. GB/T 16291.1—2012 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. 北京: 中国标准出版社, 2012
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's

- Republic of China. GB/T 16291.1—2012 Sensory analysis—general guidance for the selection, training and monitoring of assessors-Part 1: Selected assessors. Beijing: Standards Press of China, 2012
- [41] 杨金初,王宏伟,李耀光,刘欢,王宝林,胡少东,张启东,柴国璧,孙世豪,宗永立,张建勋,马宇平,李浩亮. 加工方式对甘薯糖类、香味及甜度影响研究进展. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 221-224
Yang J C, Wang H W, Li Y G, Liu H, Wang B L, Hu S D, Zhang Q D, Chai G B, Sun S H, Zong Y L, Zhang J X, Ma Y P, Li H L. Effect of processing methods on sugar, aroma and sweetness of sweetpotato. Food Research and Development, 2017, 38(5): 221-224
- [42] 梁新红,李英,孙俊良,马汉军. β -淀粉酶酶解甘薯淀粉条件分析. 食品工业科技, 2014, 35(7): 178-181
Liang X H, Li Y, Sun J L, Ma H J. Analysis of hydrolysates from sweet potato starch by β -amylase. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(7): 178-181
- [43] Ridley S, Lim M, Heenan S, Bremer P. Evaluation of sweet potato cultivars and heating methods for control of maltose production, viscosity and sensory quality. Journal of Food Quality, 2005, 28(2): 191-204
- [44] Owusu-Mensah E, Oduro I, Ellis W O, Carey E E. Cooking treatment effects on sugar profile and sweetness of eleven-released sweet potato varieties. Journal of Food Processing & Technology, 2016, 7(4): 1-6
- [45] 沈升法,项超,吴列洪,李兵,罗志高. 十一份甘薯种质资源的可溶性糖含量测定与差异分析. 浙江农业学报, 2020, 32(11): 1934-1940
Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Determination and difference analysis of soluble sugar content in 11 sweetpotato germplasm resources. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(11): 1934-1940
- [46] 李臣,王永徐,邱天越,叶夏芳,崔鹏,陆国权. 不同品种甘薯香味组分差异性分析. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 45-52
Li C, Wang Y X, Qiu T Y, Ye X F, Cui P, Lu G Q. Differences in aroma components of different varieties of sweet potatoes. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(2): 45-52
- [47] 范丽娜,卢俊玲,张海燕,王庆美,解备涛,董顺旭,张立明. 低直链淀粉甘薯新品系的初步筛选与简析. 山东农业科学, 2011(7): 21-24
Fan L N, Lu J L, Zhang H Y, Wang Q M, Xie B T, Dong S X, Zhang L M. Screening and evaluation of sweet potato strains with low amylose content. Shandong Agricultural Sciences, 2011(7): 21-24
- [48] 耿朝辉. 丘陵区土层厚度和土壤耕作方式对甘薯生长及产量和品质的影响. 雅安: 四川农业大学, 2013
Geng Z H. Effects of soil depth and soil tillage method on the sweet potato's growth, yield and quality in hilly region. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2013
- [49] Arifina E V, Rahmawati N, Lahay R R. Analysis of physiological characters and yield quality of several sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes at various watering levels in rainfed paddy field. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 454: 012173
- [50] 张瑞明. 气象条件对甘薯栽培和品质的影响. 合肥: 安徽农业大学, 2007
Zhang R M. Effect on the sweet potato quality and cultivation of weather. Hefei: Anhui Agricultural University, 2007
- [51] 张贺,尹昱婷,王娟紫,陈冰霞,李永新,霍艳荣,陆国权,杨虎清. 不同肉色甘薯块根抗氧化活性和食味比较. 食品科技, 2020, 45(3): 69-73
Zhang H, Yin Y T, Wang J Z, Chen B X, Li Y X, Huo Y R, Lu G Q, Yang H Q. Comparison of antioxidant activity and taste of sweet potato tubers with different flesh-color. Food Science and Technology, 2020, 45(3): 69-73
- [52] 沈升法,项超,吴列洪,李兵,罗志高. 甘薯块根可溶性糖组分特征及其与食味的关联分析. 中国农业科学, 2021, 54(1): 34-45
Shen S F, Xiang C, Wu L H, Li B, Luo Z G. Analysis on the characteristics of soluble sugar components in sweetpotato storage root and its relationship with taste. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(1): 34-45