

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.04.019

张青青, 邝吉卫, 党斌, 等. 青海省马铃薯品种(系)用于油炸薯条加工的适宜性及品质分析[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 152-160.
ZHANG Q Q, KUANG J W, DANG B, et al. Analyzing the suitability and quality of potato varieties (lines) from Qinghai province for the production of fried potato fries[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 152-160.

青海省马铃薯品种(系)用于油炸薯条加工的适宜性及品质分析

张青青^{1,2}, 邝吉卫^{2,3}, 党斌^{2,3}, 杨希娟^{2,3}✉

- 青海大学 农牧学院, 青海 西宁 810016;
- 青海大学 农林科学院 青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海 西宁 810000;
- 青海省农林科学院 青藏高原种质资源研究与利用实验室, 青海 西宁 810000)

摘要: 为分析青海省不同品种(系)的马铃薯在油炸薯条品质上的差异, 筛选出适宜用于加工油炸薯条的马铃薯品种(系), 通过选取 21 个具有代表性的马铃薯品种(系)作为原料, 进行油炸薯条加工, 对其基础营养指标和品质特性进行评估, 结合主成分分析、相关性分析和迭代聚类对油炸薯条进行加工适宜性评价。结果表明: 青海省不同品种(系)的马铃薯在营养指标上存在显著差异。主成分分析获得了 5 个主成分, 累计方差贡献率达到 86.43%。通过迭代聚类的综合得分筛选出适宜加工油炸薯条的马铃薯品种(系)分别为青薯 15 号、青薯 14 号和青 11-2-9。对其食用品质进行分析发现, 油炸薯条口感外酥里嫩(感官评分为 62~73 分), 咀嚼性良好(52~53 分), 色泽明亮(a^* 值为 4.0~6.5), 评价结果与实际应用现状相符。有助于青海省马铃薯加工的高效利用, 满足消费需求, 为马铃薯品质改良和专用品种选育提供理论依据。

关键词: 油炸马铃薯条; 适宜性研究; 品质评价; 主成分分析; 迭代聚类

中图分类号: TS201.1;S-3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)04-0152-09

网络首发时间: 2024-06-18 16:53:59

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240618.1033.002>

Analyzing the Suitability and Quality of Potato Varieties (lines) from Qinghai Province for the Production of Fried Potato Fries

ZHANG Qing-qing^{1,2}, KUANG Ji-wei^{2,3}, DANG Bin^{2,3}, YANG Xi-juan^{2,3}✉

- College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;
- Key Laboratory of Agricultural Product Processing on Qinghai-Tibetan Plateau, College of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810000, China;
- Laboratory of Qinghai-Tibetan Plateau Germplasm Resources Research and Utilization, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xining, Qinghai 810000, China)

收稿日期: 2024-01-06

基金项目: 青海省科技厅创新平台建设项目(2022-ZJ-T04)

Supported by: Qinghai Provincial Department of Science and Technology Innovation Platform Construction Project (No. 2022-ZJ-T04)

作者简介: 张青青, 女, 1999 年出生, 在读硕士生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: 2483919985@qq.com

通信作者: 杨希娟, 女, 1980 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: yxjdb@qq.com

Abstract: The objective of this study was to assess the differences in the quality of fried potato fries across various potato varieties (lines) in Qinghai Province, as well as to identify suitable potato varieties (lines) for the production of fried potato fries. Twenty-one representative potato varieties (lines) were selected as raw materials for the production of fried potato fries, and then their fundamental nutritional attributes and quality characteristics were evaluated. The suitability of the fried potato fries was assessed using principal component analysis, correlation analysis, and iterative clustering. The results revealed considerable differences in the nutritional indicators among different potato varieties (lines) in Qinghai Province. Principal component analysis identified five principal components, which accounted for 86.43% of the cumulative variance contribution rate. Leveraging the comprehensive scores from iterative clustering, three suitable potato varieties (lines) for processing fried potato fries were identified, namely, Qingshu 15, Qingshu 14, and Qing 11-2-9. Evaluation of their palatability characteristics demonstrated that the fried potato fries exhibited a crispy exterior and tender interior texture (sensory score of 62~73), favorable chewiness (52~53), and bright color (a^* value of 4.0~6.5), aligning with practical applications. The results achieved efficient utilization of potato processing in Qinghai Province, which could meet consumer demand, and provided a theoretical basis for potato quality improvement and special variety breeding.

Key words: potato fried fries; suitability study; quality evaluation; principal component analysis; iterative clustering

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是茄科茄属的一年生草本双子叶植物, 是继小麦、水稻、玉米之后的第四大农作物^[1-2]。青海省的土壤环境中富含丰富的钾元素, 为农作物生长提供充足的养分, 十分适合马铃薯的生长。在当前农业产业结构调整的过程中, 马铃薯已成为青海省的第二大种植产物, 自 2018 年起, 青海省马铃薯种植面积就达到 144 万亩 $9.6 \times 10^8 \text{ m}^2$, 占全省农作物面积的 18%, 帮助当地人们提升经济收益, 改善了生活条件, 提升了生活水平^[3]。

油炸是一种重要的食品加工方法, 可赋予食品特殊诱人的风味, 被广泛应用于快餐行业、方便食品以及零食加工企业。油炸薯条是深受人们喜爱的煎炸食品, 在马铃薯制品中有近 1/3 的马铃薯被加工成半油炸的冷冻马铃薯油炸品、油炸薯条^[4]。虽然目前青海省马铃薯品种多、种植广、产量足, 但马铃薯薯条加工业发展相对较缓慢, 没有油炸薯条专用马铃薯品种, 究其原因可能是马铃薯品质特性不明、精细加工不足、本底不清、品质评价及加工适宜性和市场定位缺乏。

基于此, 本文以青海省不同马铃薯品种 (系) 为原料, 测定原料中的基础营养指标, 制作油炸

薯条, 测定薯条的理化指标。采用相关性分析、主成分分析、迭代聚类等统计方法, 明确青海不同地区马铃薯品种 (系) 的品质特性, 筛选出影响各品质的主要马铃薯品质指标, 分别评价薯条的品质, 筛选出适宜加工马铃薯油炸薯条的品种, 为马铃薯在油炸薯条中的加工利用明确方向, 为企业在原料选择上提供依据和标准, 以实现马铃薯的高效利用, 满足人们的消费需求, 且能为马铃薯品质改良及专用品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验选用参数良好的 21 个马铃薯品种 (系) 进行油炸薯条的品质评价, 由青海省农林科学院生物研究所提供, 种植于青海湟中同一地块。

1.2 仪器与设备

全自动纤维检测仪: FIBRE THERM; 果蔬分条机: 河北省故城县郑口永欣机械厂; QH-139 手推式切片机: 德清极度工艺品有限公司; 口福棕榈油: 益海广州粮油工业有限公司; DF-6L-2 台式双杠双筛电炸炉: 广州市杰冠西厨设备厂; TMS-Pro 高精度专业食品物性分析仪: 美国 FTC

公司；WSC-S 测色色差计：上海精密科学仪器有限公司。硫酸：白银银环化学制造厂；硝酸：成都市科隆化学品有限公司；L(+)-抗坏血酸：国药集团化学试剂有限公司；2,6-二氯酚酞钠：上海伊卡生物技术有限公司，以上试剂均为分析纯。

1.3 实验方法

1.3.1 不同马铃薯品种（系）的基础营养指标

水分：GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》；灰分：GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》；蛋白质：GB/T 31578—2015《粮油检验 粮食及制品中粗蛋白测定》；脂肪：GB 5009—2016《食品中脂肪的测定》；粗纤维：GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》；还原糖：GB 5009.7—2016《食品中还原糖的测定》；总淀粉、直链淀粉：德国 Megazyme 试剂盒。

1.3.2 不同马铃薯品种（系）油炸薯条的加工工艺

参考杨炳南^[5]油炸薯条的加工工艺：新鲜马铃薯→清洗去皮修整→切条（10×10 mm）→油炸（棕榈油、140 °C、13 min）→沥油→品质测定。

1.3.3 不同马铃薯品种（系）油炸薯条的品质指标

1.3.3.1 水分 同 1.3.1。

1.3.3.2 含油率 同 1.3.1。

1.3.3.3 质构特性 采用质构仪对薯条样品进行质构测定，以 D=75 mm 圆盘挤压探头，以样品平台为位移零点，30 mm/min 向下运行，当接触到样品后（即触发力达到 0.15 N 时）以 30 mm/min 的速度向下挤压，使样品发生形变，压缩比 50% 后探头以 30 mm/min 的速度抬起，回到起始位置^[6]。

1.3.3.4 剪切力 应用三点弯曲探头测定样品断裂时的剪切力大小^[7]，每组样品重复测试 5 次，结果取平均值。

1.3.3.5 色度 采用 WSC-S 测色色差计测定，白板校准完成后，将样品填满测量槽，对薯条颜色进行测定，每个样品取 5 个不同的测试点取平均值，记录 L^* 、 a^* 和 b^* 的值^[8-10]。

1.3.3.6 感官评价 由 7 名有品评经验的食品专业人员组成评价小组，感官评价采用百分制^[11]。薯条的感官评分标准见表 1。

表 1 马铃薯油炸薯条感官评价

Table 1. Sensory evaluation of potato fried French fries

项目	评分细则	得分/分
形态 (共 15 分)	条形、长度一致性好，无粘黏，无正常视力可见的外来杂质	11~15
	条形、长度基本一致，粘黏较少，少数杂点或焦斑	6~10
	条形长短不一，较多杂质，粘黏严重	1~5
色泽 (共 15 分)	浅黄色或金黄色，色泽均匀，小于等于 USDA 薯条颜色标准 0 级	11~15
	黄色或深黄色，色泽基本均匀，美国农业部 (USDA) 薯条颜色标准 1~2 级	6~10
	深褐色，USDA 薯条颜色标准 3~4 级	1~5
气味 (共 20 分)	马铃薯特有的薯香味，无焦苦味、哈喇味或其他异味	13~20
	马铃薯特有的薯香味，轻微哈喇味	7~12
	严重异味	1~6
滋味 (共 20 分)	滋味正常，稍有油腻感	13~20
	滋味一般，有油腻感	7~12
	滋味较差，油腻感重	1~6
口感 (共 30 分)	具有油炸薯条特有的外酥里嫩的口感	21~30
	口感一般，整体较硬或较软	11~20
	其他不良口感	1~10

注：特异颜色薯条色泽评价以平均值为准。

Note: The color evaluation of special colored French fries is based on the average value.

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据的基础处理，SPSS 26.0 对数据进行统计分析、主成分分析和聚类分析，Origin 2022 绘制图形，数据以平均值±标准差表示，每个实验至少重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 不同马铃薯品种（系）的基础营养指标

21 个马铃薯品种的水分、灰分等 8 个基础营养含量见表 2。由表 2 可知，21 种不同马铃薯品种（系）的基础营养含量存在显著差异。水分含量在 69.50~85.00 之间，青薯 14 号最高，青薯 15 号最低；灰分含量在 0.42~1.55 之间，Q072605 最高，L16101-8 最低；蛋白质在 6.32~11.48 之间，互薯 6 号最高，青薯 15 号最低；脂肪在 4.68~7.06 之间，庄 15-11-48 最高，青薯 15 号最低；粗纤维在 1.36~4.89 之间，青 10-7-1 最高、青 11-2-9 最低；总淀粉在 44.36~85.36 之间，互薯 5 号最高，互薯 6 号最低；直链淀粉在 13.62~41.55 之间，青

表 2 不同马铃薯品种(系)的基础营养含量

Table 2 Basic nutrient contents of different potato varieties (lines)

品种(系)名称	水分/(g/100g)	灰分/(g/100g)	蛋白质/%	脂肪/(g/100g)	粗纤维/(g/100g)	总淀粉/%	直链淀粉/%	还原糖/%
青薯 9 号	76.74±0.19g	0.95±0.02b	7.69±0.01r	6.37±0.62a	2.48±0.61h	62.92±0.01f	41.55±0.00a	8.70±0.05c
青薯 14 号	84.95±0.07a	0.58±0.03i	9.52±0.00j	6.26±0.06a	3.35±0.33c	62.97±0.01e	22.28±0.01f	9.96±0.08a
青薯 15 号	69.64±0.20n	0.78±0.02e	6.33±0.01t	4.81±0.02e	3.13±0.14d	62.97±0.00e	16.77±0.01r	7.35±0.04i
青 08-29	78.37±0.13d	0.65±0.01h	11.33±0.01b	5.55±0.19b	3.76±0.02b	52.17±0.01o	37.78±0.01b	8.72±0.05c
青 11-2-9	76.02±0.01h	0.62±0.03h	10.15±0.01g	5.80±0.13a	1.48±0.17i	58.36±0.01i	18.32±0.01k	7.32±0.02i
L1150-22	73.72±0.06j	0.56±0.01j	8.24±0.01o	6.45±0.87a	2.63±0.29g	58.15±0.01j	17.24±0.00p	7.94±0.02d
青 11-6-6	78.50±0.13d	0.46±0.00k	8.07±0.01p	5.66±0.38a	3.36±0.42b	74.01±0.01b	13.63±0.01u	7.19±0.01j
天 14-22-28	77.20±0.10f	0.95±0.03b	8.07±0.01p	5.86±0.18a	3.50±0.02b	49.27±0.01r	20.24±0.01h	7.83±0.01e
青 10-2-27	70.02±0.02m	0.48±0.00k	6.81±0.01s	5.19±0.72d	3.64±0.01b	63.22±0.00d	18.04±0.00m	7.76±0.02f
庄 15-11-48	72.90±0.00k	0.76±0.00e	8.57±0.00n	6.61±0.42a	3.94±0.09b	56.74±0.01k	17.62±0.01o	7.84±0.01e
青薯 2 号	77.27±0.24f	0.71±0.01g	7.83±0.01q	5.40±0.13c	3.68±0.13b	61.34±0.01h	15.32±0.03s	7.53±0.02h
Q072605	77.95±0.00e	1.53±0.03a	9.25±0.01k	6.51±0.58a	3.27±0.24c	52.17±0.01o	21.92±0.02g	7.72±0.02f
L16101-8	75.21±0.02i	0.43±0.02k	10.07±0.01i	5.47±0.08b	3.25±0.00c	54.41±0.01m	16.83±0.00q	9.17±0.01b
青 10-7-1	81.53±0.02b	0.46±0.05k	10.51±0.01e	5.98±0.07a	4.89±0.01a	72.24±0.00c	37.55±0.01c	6.42±0.02k
互薯 5 号	79.44±0.15c	0.88±0.00d	10.13±0.01h	5.67±0.59a	3.53±0.30b	85.36±0.00a	18.85±0.01i	9.16±0.02b
D0732-23	70.46±0.17l	0.73±0.04f	8.88±0.00l	5.78±0.35a	2.82±0.01e	62.26±0.01g	26.16±0.01d	7.20±0.03j
通薯 2 号	72.79±0.07k	0.70±0.04g	8.82±0.01m	5.66±0.04a	2.70±0.06f	56.58±0.01l	15.07±0.01t	7.93±0.01d
青 12-7-8	76.30±0.01h	0.57±0.03i	10.38±0.01f	6.15±0.39a	3.25±0.01c	53.17±0.01n	18.42±0.02j	7.56±0.02h
D0913-27	79.21±0.13c	0.86±0.01d	10.84±0.01c	5.24±0.65d	3.31±0.25c	52.07±0.01p	17.95±0.00n	7.65±0.01g
青 12-4-4	75.26±0.34i	0.91±0.01c	10.75±0.00d	5.29±0.11d	2.32±0.45h	49.29±0.00q	18.13±0.01l	7.55±0.02h
互薯 6 号	78.50±0.06d	0.97±0.03b	11.48±0.01a	5.80±0.78a	3.54±0.11b	44.37±0.01s	24.15±0.00e	7.82±0.01e
平均值±标准差	76.28±3.76	0.74±0.25	9.22±1.44	5.78±0.57	3.23±0.70	59.24±9.34	21.61±7.77	7.92±0.80
变化范围	69.50~85.00	0.42~1.55	6.32~11.48	4.68~7.06	1.36~4.89	44.36~85.36	13.62~41.55	6.40~10.04
变异系数%	4.93	33.78	15.62	9.86	21.67	15.77	35.96	10.10

注: 标有不同的小写字母表示有显著差异性, $P < 0.05$ 下同。

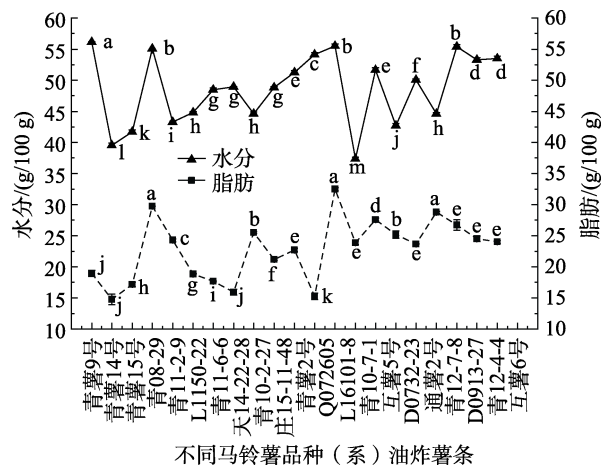
Note: Different lowercase letters indicate significant differences, $P < 0.05$, the same below.

薯 9 号最高, 青 11-6-6 最低; 还原糖在 6.40~10.04 之间, 青薯 14 号最高, 青 10-7-1 最低; 水分和脂肪含量的变异系数较小, 说明含量分布相对稳定; 其余 6 个指标的变异系数较大, 含量分布不稳定, 数据之间的差异较大, 主要由于原料品种特性不同及土壤肥力等客观条件差异。

2.2 不同马铃薯品种油炸薯条的水分和含油率

适宜的水分含量和含油率能够赋予马铃薯油炸薯条好的酥脆性和口感^[12]。根据实验设计, 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的水分含量和含油率见图 1。

由图 1 可知, 21 个马铃薯品种(系)油炸薯条中, 水分含量在 37.05%~56.18%之间, 青薯 9 号(56.15%)和 L16101-8(55.48%)的水分含量最高, 青 10-7-1 的水分含量(37.35%)最低; 青 08-29、L16101-8、D0913-27 3 个品种(系)油炸



注: 标有不同的小写字母表示同一指标内有显著差异性, $P < 0.05$ 下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences in the same indicator, $P < 0.05$, the same below.

图 1 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的水分含量和含油率
Fig.1 Water content and oil content of potato fries of different potato varieties (lines)

薯条的水分含量为 55.06%~55.48%且相互之间无显著性差异;水分含量除了影响消费者的喜好外,对薯条的酥脆性和货架期亦有显著影响。此外,21 个马铃薯品种(系)油炸薯条的含油率在 14.74%~32.50%之间,其中青 12-7-8 含油率(15.93%)最高, Q072605 含油率(6.98%)最低,青 12-7-8 和青 10-7-1 制备的油炸薯条的含油率较高,为 14.96%~15.93%但相互之间无显著性差异($P < 0.05$);目前市场上部分油炸食品含油率高达 50%左右^[13],存在的主要质量问题是产品含油率过

高,对消费者来说,高脂肪、高热量不利于身体的健康,其次增加了产品氧化的可能性,缩短了货架期。可以发现相同工艺下不同马铃薯品种(系)油炸薯条的水分和含油率差异明显,这与其组成成分含量及其组织结构的差异有关^[14-15]。

2.3 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的质构特性

质地是除了颜色外影响薯条品质的重要因素之一,薯条具有不均匀的质地,内部和外部的质地应结合在一起考虑^[16]。不同马铃薯品种(系)油炸薯条的质构特性见表 3。

表 3 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的质构特性

Table 3 Structural characteristics of French fries in different potato varieties (lines)

品种(系)名称	硬度/N	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ	剪切力/N
青薯 9 号	19.76±9.16f	0.21±0.03g	1.84±0.24e	5.44±2.23g	10.17±4.64f	1.72±0.01e
青薯 14 号	49.40±4.26a	0.35±0.02a	2.27±0.26a	20.60±0.69a	46.81±6.96a	3.67±0.01a
青薯 15 号	42.28±14.75a	0.38±0.04a	2.60±0.13a	18.73±7.21a	49.11±20.64a	1.95±0.02d
青 08-29	18.94±7.26f	0.24±0.03f	1.76±0.22f	5.60±1.86g	10.10±4.22f	1.05±0.01f
青 11-2-9	42.74±8.32a	0.34±0.04a	2.44±0.41a	17.91±3.22a	44.34±13.58a	3.45±0.01a
L1150-22	15.33±6.37g	0.37±0.10a	2.18±0.68b	7.26±3.77e	17.54±11.68d	3.45±0.01a
青 11-6-6	28.49±9.40c	0.34±0.06a	2.31±0.24a	12.20±5.09c	29.02±13.97c	2.77±0.01c
天 14-22-28	23.42±0.40d	0.27±0.01c	2.28±0.11a	8.06±0.54d	18.30±0.43d	2.17±0.00d
青 10-2-27	19.14±2.55f	0.33±0.04a	2.41±0.11a	7.80±0.75d	18.84±2.40d	2.62±0.01c
庄 15-11-48	17.30±3.16g	0.34±0.04a	2.24±0.17a	7.30±1.95e	16.37±4.51d	1.27±0.01f
青薯 2 号	15.90±5.52g	0.37±0.02a	2.29±0.23a	7.08±2.22e	16.52±6.62d	0.75±0.01h
Q072605	24.16±7.63d	0.34±0.03a	2.41±0.13a	9.55±2.62d	23.26±7.37d	2.73±0.57c
L16101-8	17.66±2.43g	0.24±0.00f	1.93±0.18d	5.66±1.14g	10.82±1.68f	0.67±0.01i
青 10-7-1	20.25±5.31f	0.37±0.01a	2.71±0.08a	8.89±2.77d	24.08±7.26d	3.66±0.01a
互薯 5 号	28.66±4.90b	0.30±0.01a	2.10±0.27b	11.04±2.22d	23.58±7.19d	1.06±0.01f
D0732-23	26.89±2.88d	0.36±0.04a	2.58±0.17a	11.99±2.26d	31.08±6.91b	3.37±0.01b
通薯 2 号	36.98±7.13a	0.27±0.02b	2.34±0.19a	12.88±3.53b	30.62±11.11b	1.95±0.01d
青 12-7-8	32.38±11.74b	0.38±0.08a	2.25±0.22a	13.66±2.15b	30.90±6.32b	2.70±0.01c
D0913-27	34.66±4.94b	0.26±0.03d	1.86±0.22e	11.89±1.60d	21.94±2.53d	0.34±0.01j
青 12-4-4	27.53±5.84d	0.26±0.02e	2.27±0.11a	9.29±2.42d	21.00±4.95d	1.09±0.01f
互薯 6 号	20.76±3.55e	0.23±0.03f	1.96±0.13c	6.27±0.99f	12.39±2.67e	0.94±0.02g
平均值±标准差	26.79±11.15	0.31±0.06	2.24±0.33	10.43±4.94	24.13±13.31	2.07±1.08
变化范围	8.28~59.05	0.19~0.46	1.39~2.81	2.91~27.04	4.06~72.75	0.34~3.68
变异系数/%	41.62	19.35	14.73	47.36	55.16	52.17

由表 3 可知,21 个马铃薯品种(系)油炸薯条中,硬度、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性和剪切力均有显著差异,其中青薯 14 号硬度、胶粘性、剪切力最大;青薯 9 号内聚性、胶粘性最小;青 08-29 弹性、咀嚼性最小;L1150-22 硬度最小,青 12-7-8 内聚性最大,青 10-7-1 弹性最大,青薯 15 号咀嚼性最大,D0913-27 剪切力最小。综合分析下,青薯 15 号的质构特性较好,

品质良好的薯条要硬度适中,以满足广大消费者的需求。

2.4 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的色度

食品的色泽是感官评价食品品质的一个重要因素,薯条的色泽是筛选适合不同用途需要的加工型品种的关键参数之一^[13]。其中 a^* 代表色偏红, a^* 代表色偏绿色; b^* 代表色偏黄色, b^* 代表色偏蓝色; L^* 值在 0~100 范围内值越大

代表越亮。不同马铃薯品种(系)油炸薯条的色度见表 4。

由表 4 可知, 21 个马铃薯品种(系)油炸薯条中, L^* 值在 41.14~61.96 之间且有显著差异, 其中 D0913-27 L^* 值最大, 表明薯条表面越亮, 青 08-29 L^* 值最小, 因为青 08-29 为红皮红肉品种, 薯条表面较暗; a^* 值在 1.37~12.70 之间且有显著差异, 青 08-29 a^* 值最大, Q072605、L16101-8、互薯 5 号、互薯 6 号 a^* 值最小, 且之间差异不显著; b^* 值在 5.38~39.40 之间也有显著差异, 青薯 14 号 b^* 值最大、青 08-29 b^* 值最小。因此油炸薯条可以选择 L^* 值相对低, b^* 值相对大的马铃薯品种(如青薯 14 号), 以保持原料自然的金黄颜色, 消费者更容易接受。

表 4 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的色度
Table 4 Chroma of fried potato fries from different potato varieties (lines)

品种名称	L^*	a^*	b^*	E
青薯 9 号	53.63±0.06l	3.46±0.01j	32.09±0.06h	48.96±0.02h
青薯 14 号	55.58±0.03h	3.98±0.06f	39.08±0.52a	52.11±0.05c
青薯 15 号	51.83±0.03q	6.50±0.08b	32.44±0.03g	51.15±0.05d
青 08-29	41.31±0.18s	12.56±0.19a	5.46±0.08p	54.44±0.23a
青 11-2-9	55.06±0.01i	6.22±0.08c	31.88±0.08h	48.19±0.06i
L1150-22	59.76±0.03c	2.52±0.06h	30.03±0.03l	42.72±0.01p
青 11-6-6	55.71±0.02g	4.23±0.07f	29.82±0.03l	46.11±0.01l
天 14-22-28	55.17±0.12i	5.48±0.72d	34.61±0.07f	49.58±0.14f
青 10-2-27	54.94±0.01j	5.19±0.01d	35.73±0.02d	50.39±0.00e
庄 15-11-48	52.72±0.03o	2.34±0.04h	31.67±0.09j	49.30±0.03g
青薯 2 号	55.90±0.04f	3.46±0.02j	30.52±0.02k	46.23±0.02l
Q072605	45.79±0.05r	1.47±0.05i	27.31±0.01n	52.99±0.04b
L16101-8	53.20±0.02n	3.91±0.06f	32.00±0.07h	49.32±0.02g
青 10-7-1	58.72±0.01e	6.63±0.03b	36.39±0.06c	48.32±0.04i
互薯 5 号	53.96±0.08k	1.76±0.07i	29.56±0.03m	47.04±0.09k
D0732-23	52.33±0.04p	4.10±0.04f	32.44±0.04g	50.30±0.04e
通薯 2 号	53.48±0.06m	4.69±0.04e	32.15±0.05h	49.31±0.07g
青 12-7-8	60.19±0.05b	1.42±0.04i	38.52±0.02b	47.91±0.02j
D0913-27	61.95±0.01a	3.87±0.01f	35.25±0.09e	44.72±0.05m
青 12-4-4	59.16±0.02d	3.47±0.05j	31.79±0.03i	44.42±0.04n
互薯 6 号	55.70±0.09g	1.66±0.08i	26.55±0.03o	44.00±0.07o
平均值±标准差	54.57±4.64	4.26±2.49	31.20±6.72	48.48±3.02
变化范围	41.14~61.96	1.37~12.70	5.38~39.40	42.71~54.65
变异系数	8.50	58.45	21.54	6.23

2.5 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的感官评价

根据实验设计, 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的感官评价见图 2。

由图 2 可知, 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的感官评价存在差异, 青 08-29 形态较好、天 14-22-28 和 D0732-23 形态较差; 青薯 2 号色泽、气味、滋味较好; L1150-22 口感较好, 天 14-22-28 色泽较差, D0732-23 气味、滋味、口感较差; 人为主观评价与仪器客观测定的结果相吻合。

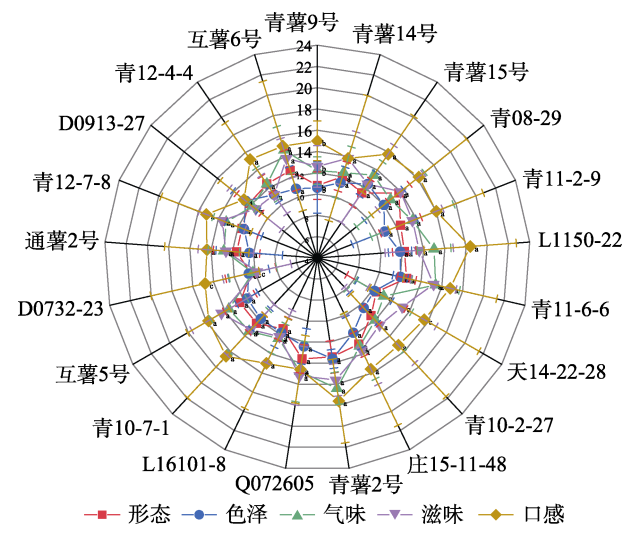


图 2 不同马铃薯品种(系)油炸薯条的感官评价
Fig.2 Sensory evaluation of fried French fries in different potato varieties (lines)

2.6 相关性分析

对校正集 21 个不同马铃薯品种(系)薯条的 16 个指标进行相关性分析, 结果如图 3。

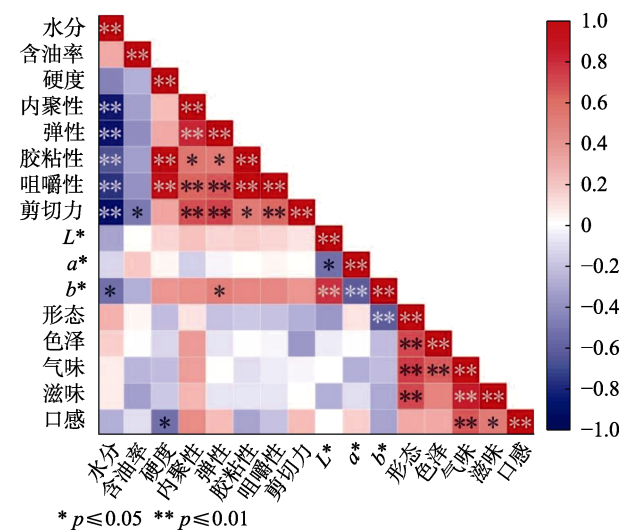


图 3 21 个不同马铃薯品种(系)薯条的 16 个指标相关性分析
Fig.3 Correlation analysis of 16 indexes of fries of 21 different potato varieties (lines)

图 3 表明,薯条内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、剪切力和水分呈极显著负相关, b^* 和水分呈显著负相关,剪切力和含油率呈显著负相关,胶粘性、咀嚼性和硬度呈极显著正相关,口感和硬度呈显著负相关,弹性、咀嚼性、剪切力和内聚性呈极显著正相关,胶粘性和内聚性呈显著正相关,咀嚼性、剪切力和弹性呈极显著正相关,胶粘性、 b^* 和弹性呈显著正相关,咀嚼性和胶粘性呈极显著正相关,剪切力和胶粘性呈显著正相关,剪切力和咀嚼性呈极显著正相关, a^* 和 L^* 呈显著负相关, b^* 和 L^* 呈极显著正相关, b^* 和 a^* 呈极显著负相关,形态和 b^* 值呈极显著负相关,色泽、气味、滋味和形态呈极显著正相关,气味和色泽呈极显著正相关,滋味、口感和气味呈极显著正相关,口感和滋味呈显著正相关。

2.7 主成分分析 (PCA)

以水分含量等所有筛选出的 16 个指标为数据集,综合 PCA 分析,对 21 个样品进行区分。

由表 5 可知,主成分累计方差贡献率达到 86.426%,5 个主成分已包含了样品的绝大部分信息^[15]。用 16 个指标的主成分载荷除以主成分相对应的特征值开平方根得到主成分中每个指标所对应的系数即特征向量,以特征向量为权重构建主成分得分的函数表达式^[17]。不同马铃薯品种(系)油炸薯条成分矩阵 a 见表 6。

表 5 马铃薯薯条各指标的总方差解释
Table 5 Interpretation of the total variance for each indicator of potato fries

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/%	总计	方差百分比	累积/%
1	5.391	33.695	33.695	5.391	33.695	33.695
2	3.584	22.399	56.094	3.584	22.399	56.094
3	2.032	12.703	68.797	2.032	12.703	68.797
4	1.734	10.836	79.634	1.734	10.836	79.634
5	1.087	6.792	86.426	1.087	6.792	86.426

由表 6 可知,影响油炸薯条品质的第一主成分因子为咀嚼性、水分、胶粘性,第二主成分因子为气味和滋味,第三主成分因子为 a^* 值。以 3 个主成分中每个主成分的值占有提取主成分的值之和的比值为权重,构建综合评价模型 $F:F=$

$0.337 * F_1 + 0.224 * F_2 + 0.127 * F_3$ 。不同马铃薯品种(系)油炸薯条品质综合评价结果见表 7。

表 6 油炸薯条成分矩阵 a
Table 6 Composition matrix of fried French fries a

指标	1	2	3	4	5
水分	-0.858	-0.192	-0.022	0.352	-0.172
含油率	-0.413	-0.317	0.043	-0.041	0.722
硬度	0.700	-0.164	0.419	0.516	-0.013
内聚性	0.684	0.580	-0.120	-0.144	0.236
弹性	0.771	0.261	-0.041	-0.316	0.071
胶粘性	0.833	0.021	0.352	0.396	0.052
咀嚼性	0.886	0.090	0.339	0.256	0.051
剪切力	0.749	0.196	0.035	-0.427	-0.219
L^*	0.360	-0.155	-0.720	0.197	0.298
a^*	-0.114	-0.010	0.770	-0.409	0.233
b^*	0.684	-0.249	-0.603	0.179	0.017
形态	-0.407	0.714	0.223	0.277	0.118
色泽	-0.205	0.655	0.010	0.391	0.392
气味	-0.168	0.886	-0.201	0.219	-0.053
滋味	-0.187	0.816	-0.001	0.177	-0.306
口感	-0.102	0.700	-0.181	-0.519	0.118

表 7 油炸薯条品质综合评价结果
Table 7 Comprehensive evaluation results of the quality of the fried French fries

品种名称	F1	F2	F4	F5	F	排名
青薯 9 号	-1.840	-2.480	-0.510	-3.570	-1.620	21
青薯 14 号	3.740	-0.110	2.590	-2.050	1.600	2
青薯 15 号	2.930	0.910	0.820	1.010	1.680	1
青 08-29	-4.490	0.880	-2.080	1.250	-0.660	17
青 11-2-9	2.450	0.650	0.170	0.580	1.310	3
L1150-22	0.070	2.480	-2.450	-0.200	-0.060	11
青 11-6-6	0.480	2.710	0.430	-1.360	0.700	4
天 14-22-28	0.240	-1.960	-2.250	-3.300	-0.900	18
青 10-2-27	0.480	-1.280	-2.720	0.310	-0.500	15
庄 15-11-48	-0.930	0.880	-0.050	-0.270	-0.280	14
青薯 2 号	-1.590	4.210	0.940	1.940	0.400	8
Q072605	-0.560	2.680	1.520	-3.790	0.410	7
L16101-8	-2.480	-2.100	0.180	2.060	-1.260	20
青 10-7-1	1.660	1.470	-3.270	2.430	0.580	5
互薯 5 号	-0.890	0.350	1.660	0.510	-0.060	10
D0732-23	2.140	-2.760	-3.080	1.150	-0.080	12
通薯 2 号	0.670	-1.670	0.690	-0.990	0.010	9
青 12-7-8	1.650	-0.150	1.020	2.020	0.540	6
D0913-27	-0.850	-2.660	4.450	2.820	-0.270	13
青 12-4-4	-0.620	-1.660	0.750	1.160	-0.530	16
互薯 6 号	-2.260	-0.380	1.160	-1.700	-1.000	19

由表 7 可知,青薯 15 号油炸薯条的品质综合得分最高为 1.680,其次是青薯 14 号(1.600)、青 11-2-9(1.310)、青 11-6-6(0.700)等。

2.8 迭代聚类

对 21 个马铃薯品种油炸薯条综合评价指标进行排序,排在前 5 位的品种是青薯 15 号、青薯 14 号、青 11-2-9、青 11-6-6 和青 10-7-1,这些品

种也是目前广泛种植的用于加工油炸薯条的品种(系);而排序靠后的部分马铃薯品种(系)是当前农贸市场常见的菜薯品种,结果与实际应用情况相符。对 21 个马铃薯品种(系)的油炸薯条综合排名进行聚类分析,将 21 个品种的油炸薯条综合排名初步划分适宜、基本适宜、不适宜 3 类(表 8)。

表 8 21 个马铃薯油炸薯条综合排名分类
 Table 8 Comprehensive ranking classification of 21 potato fries

聚类类别	分类标准	品种(系)个数	品种(系)名称
适宜	$Y \geq 1.310$	3	青薯 15 号、青薯 14 号、青 11-2-9
基本适宜	$-0.500 < Y \leq 1.310$	11	青 11-6-6、青 10-7-1、青 12-7-8、Q072605、青薯 2 号、通薯 2 号、互薯 5 号、L1150-22、D0732-23、D0913-27、庄 15-11-48
不适宜	$Y \leq -0.500$	7	青 10-2-27、青 12-4-4、青 08-29、天 14-22-28、互薯 6 号、L16101-8、青薯 9 号

注:Y 为油炸薯条综合排名。


Note: Y is the comprehensive ranking of fried French fries.

3 结论

为研究不同马铃薯品种(系)加工油炸薯条的适宜性,搜集 21 个青海省不同马铃薯品种(系)为研究对象,采用人工感官和仪器测定相结合,以各指标值和主成分综合得分为评价标准,再通过相关性分析及迭代聚类,筛选出适宜加工马铃薯油炸薯条的品种 3 个,分别为青薯 15 号、青薯 14 号、青 11-2-9,感官评价、口感、质构特性都较高,色泽明亮、形态完整、口感外酥里嫩,评价结果与实际应用现状相符,为青海省马铃薯产业选择特定油炸薯条品种(系)具有一定的指导意义。

参考文献:

- 郭佳欢,马奔驰,陈杰盼. PEG-8000 胁迫下马铃薯组培苗抗旱性鉴定与评价[J]. 现代农业科技, 2023, (21): 59-62.
 GUO J H, MA B C, CHEN J P. Identification and evaluation of drought resistance of potato tissue cultured seedlings under PEG-8000 stress[J]. Modern Agricultural Technology, 2023, (21): 59-62.
- 吴宇昊,祝振洲,李书艺. 马铃薯淀粉改性技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(21): 208-213.
 WU Y H, ZHU Z Z, LI S Y. Research progress on potato starch modification technology[J]. Food Research and Development, 2023, 44 (21): 208-213.
- 寇玉花. 青海省马铃薯机械化生产现状与生产效益分析[J]. 农业工程技术, 2021, 41 (17): 94796.
- KOU Y H. Analysis of the current situation and production benefits of mechanized potato production in Qinghai Province[J]. Agricultural Engineering Technology, 2021, 41 (17): 94796.
- 张晖,李培燕,吴港城. 基于传质特性研究油种类对煎炸薯条质构的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30 (1): 10-18.
 ZHANG H, LI P Y, WU G C. Study on the effect of oil types on the texture of fried french chips based on mass transfer characteristics[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30 (1): 10-18.
- 杨炳南,张小燕,赵凤敏. 不同马铃薯品种的不同加工产品适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 301-308.
 YANG B N, ZHANG X Y, ZHAO F M. Evaluation of suitability for different processed products of different potato varieties[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015, 31 (20): 301-308.
- 欧阳玲花,朱雪晶,何家林. 不同品种马铃薯用于真空油炸薯条的适宜性[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(19): 230-236.
 OUYANG L H, ZHU X J, HE J L. The suitability of different varieties of potatoes for vacuum frying of French fries[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47 (19): 230-236.
- 张小燕. 马铃薯多组分近红外预测及加工油炸薯片适宜性研究[D]. 中国农业机械化科学研究院, 2013.
 ZHANG X Y. Research on multi component near infrared prediction of potato and suitability for processing fried potato chips[D]. China Academy of Agricultural Mechanization Science, 2013.
- 范飞,陆宁,张宇. 预处理结合真空油浴制备紫薯脆片工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(7): 155-160.
 FAN F, LU N, ZHANG Y. A study on the preparation of purple potato crispy chips by pretreatment combined with vacuum oil

- bath[J]. Food Research and Development, 2022, 43 (7): 155-160.
- [9] 陈康瑞, 程远霞, 王灵昭. 不同包装材料和包装方式对鲜切马铃薯品质的影响[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2022, 31(3): 80-84.
CHEN K R, CHENG Y X, WANG L Z. The influence of different packaging materials and methods on the quality of fresh cut potatoes[J]. Journal of Jiangsu Ocean University (Natural Science Edition), 2022, 31 (3): 80-84.
- [10] 蔡雪梅, 彭毅秦, 何莲, 等. 不同品种马铃薯炒制加工品质的评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(22): 283-289.
CAI X M, PENG Y Q, HE L. Evaluation of the quality of stir frying and processing of different varieties of potatoes[J]. Food Industry Technology, 2021, 42 (22): 283-289.
- [11] 张建辉, 徐晓云, 王克勤. 油炸马铃薯条的感官评价与仪器测定指标的相关分析[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 237-240.
ZHANG J H, XU X Y, WANG K Q. Correlation analysis between sensory evaluation and instrumental measurement indicators of fried potato chips[J]. Food Science, 2013, 34 (14): 237-240.
- [12] 李耀, 刘海波, 金雪冻. 不同品种马铃薯干片及其油炸脆片品质的比较[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 152-159.
LI Y, LIU H B, JIN X D. Comparison of the quality of dried potato chips and fried crisps of different varieties[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48 (12): 152-159.
- [13] 宋昱, 孟令冬, 王娟娟. 油炸食品中可食性膜的应用现状及研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42 (23): 219-224.
SONG Y, MENG L D, WANG J J. The current application status and research progress of edible films in fried foods[J]. Food Research and Development, 2021, 42 (23): 219-224.
- [14] SONG X J, ZHANG M, MUJUMDAR A S. Effect of vacuum-microwave predrying on quality of vacuum-fried potato chips[J]. Drying Technology, 2007, 25(12): 2021-2026.
- [15] DEHGHANNYA J, NAGHAVI E A, CHANBARZADEH B. Frying of potato strips pretreated by ultrasound-assisted air-drying[J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2016, 40(4): 583-592.
- [16] 王聪, 彭毅秦, 乔明锋. 基于仪器测定的油炸马铃薯条感官特征分析[J]. 中国调味品, 2022, 47(4): 178-183.
WANG C, PENG Y Q, QIAO M F. Analysis of sensory characteristics of fried potato chips based on instrument measurement[J]. Chinese Seasoning, 2022, 47 (4): 178-183.
- [17] 杨健, 康建平, 张星灿. 马铃薯全粉对面条品质影响的主成分分析研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27 (1): 17-23.
YANG J, KANG J P, ZHANG X C. Principal component analysis of the effect of potato flour on noodle quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27 (1): 17-23. 

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。