

王辉,牟琴,聂廷,等. 基于相关性与主成分分析法综合评价不同品种甘薯脆片加工适宜性[J]. 江苏农业科学,2020,48(6):173-179. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.06.035

# 基于相关性与主成分分析法综合评价 不同品种甘薯脆片加工适宜性

王辉,牟琴,聂廷,王梅,刘嘉,邓仁菊

(贵州省生物技术研究所,贵州贵阳 550006)

**摘要:**为获得口感、质地良好的甘薯脆片,从全国众多资源中选取常见白薯、红薯、紫薯共 12 个甘薯品种,测定影响甘薯脆片的主要营养成分含量以及不同品种甘薯经过热泵干燥并油炸后甘薯脆片的质构、色差值、含油率等,然后对各指标进行相关性分析和主成分分析。结果显示:不同品种间淀粉、总糖、还原糖含量及含水率差异显著,甘薯脆片硬度与含水率、还原糖含量及含油率呈极显著负相关, $L^*$ 值与含水率、含油率以及还原糖含量呈负相关。通过主成分分析法提取出 3 个主成分可以解释甘薯脆片品质的 81.751%,可较好反映甘薯脆片品质的绝大部分信息,含水率、还原糖含量及硬度等是影响甘薯脆片品质的主要因子,用这 3 个主成分代替原来的 13 个品质因子对甘薯脆片进行综合评判,筛选出品种间适宜加工甘薯脆片的红薯为红薯 407,其次是红薯 ZYKS;紫薯为紫薯 F404,其次是紫薯 13-27-2;白薯为商 19。

**关键词:**品种;甘薯脆片;相关性分析;主成分分析;加工适宜性

**中图分类号:**TS215;S531.09 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)06-0173-07

我国是世界甘薯(*Dioscorea esculenta*)第一生产大国,是我国继水稻、小麦、玉米之后的第四大粮食作物,世界卫生组织(WHO)、美国公共利益科学中心(CSPI)等对数十种常见蔬菜的研究结果表明,甘薯含有丰富的食用纤维、糖、维生素和矿物质等人体必需的重要营养成分<sup>[1-4]</sup>,被誉为世界第七大重要作物,在发展中国家被誉为第 5 位热量的主要来源物质和第 3 位最具有价值的产品<sup>[5]</sup>。

近年来,贵州甘薯企业数量逐年增加,对甘薯品种的需求愈发凸显,甘薯种植主要分布在贵州遵义、铜仁、黔东南等地区。甘薯脆片作为休闲食品的一种,也属于贵州民间的一道特色佳肴,拥有巨大的市场潜力与广阔的发展空间<sup>[6]</sup>。通过调研发现,特别是中国第一特区万山特区老百姓有着几百年吃甘薯脆片的传统,以万山特产刘姐薯片为首带动当地甘薯规模化种植、加工,年产值可达 2 000 万

元,由于品种以及肉色甘薯品质不同,加工成甘薯的脆片颜色、质地也有所不同<sup>[7]</sup>。张宛平发现,淀粉分子在油炸工程中糊化形成脆片的网状结构骨架,水分得以蒸发、迁移,油炸后的山药脆片膨化度高<sup>[8]</sup>。王沛等分析发现,不同原料苹果脆片的含水率与还原糖含量呈极显著正相关,脆度和粗纤维含量呈显著负相关,含水率低的脆片中粗纤维含量较高,其脆度较差<sup>[9]</sup>。吕健等通过建立桃脆片综合品质评价判别函数模型,得出桃脆片综合品质可用还原糖含量、复水比、 $L^*$ 值、粗蛋白含量和膨化度等 5 项核心指标进行评价<sup>[10]</sup>。李臣等通过主成分分析了甘薯香味在甘薯品种间存在显著性差异,淀粉、氨基酸和粗脂肪含量变化量对甘薯香味贡献最大<sup>[11]</sup>。

本试验研究白薯、红薯以及紫薯共 12 个不同品种甘薯的营养成分含量的差异,测定不同品种甘薯制成甘薯脆片的质构、色差值以及含油率,并进行感官评析。然后对各指标进行相关性分析和主成分分析,筛选出适宜制作甘薯脆片的品种,从而为贵州当地特色甘薯脆片工业化生产提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 选用甘薯品种、来源及产地见表 1。

收稿日期:2019-01-28

基金项目:贵州省农业科学院创新专项(编号:黔农科院科技创新[2017]07号);贵州省农业科技攻关项目(编号:黔科合支撑[2016]2554号);贵州省甘薯工程技术研究中心项目(编号:黔科合平台人才[2019]5201号)

作者简介:王辉(1989—),男,河南周口人,硕士,助理研究员,主要从事食品加工研究。E-mail:450155684@qq.com。

表 1 甘薯来源名称、来源及产地

类型	甘薯名称	来源	产地
白薯	商 19	贵州省农业科学院	河南
	白薯	贵州省农业科学院	重庆
红薯	407	贵州省农业科学院	四川
	XGM	贵州省农业科学院	广东
	ZYKS	贵州省农业科学院	紫云
	龙 19	贵州省农业科学院	福建
紫薯	紫云红心薯	贵州省农业科学院	紫云
	12-24-2	贵州省农业科学院	甘肃
	F317	贵州省农业科学院	福建
	F404	贵州省农业科学院	福建
	13-27-2	贵州省农业科学院	山西
	F24	贵州省农业科学院	福建

1.1.2 试剂 香满园烹调油(餐饮专用棕榈油),嘉里粮油(防城港)有限公司;石油醚(分析纯),国药集团化学试剂有限公司。乙醇、亚硝酸钠、氢氧化钠、3,5-二硝基水杨酸、无水亚硫酸钠、盐酸、酚酞均为分析纯;所用水为超纯水。

## 1.2 仪器与设备

NH310 便携式计算机色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;TMS-PRO 食品物性分析仪,美国 FTC (Food Technology Corporation) 公司;SOX500 粗脂肪测定仪,济南海能仪器股份有限公司;CP213 电子天平、MB23 含水率测定仪,奥豪斯仪器(常州)有限公司;STML7001 型热泵干燥烘房,上海湿腾电器有限公司。HHS 型电热恒温水浴锅,上海博迅实业有限公司;CP213 型分析天平,奥豪斯(上海)仪器有限公司;UV-2102C 型紫外可见分光光度计,尤尼科(上海)仪器有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 甘薯干片干燥工艺流程 新鲜甘薯→清洗→去皮→切片→汽漂→烘干→成品。

通过预试验最佳工艺选取无害、无芽、眼浅的新鲜甘薯,用流动自来水清洗后去皮、切成 3 mm 厚度片状,放入专用蒸锅中汽漂 4 min 后转移到烘房专用托盘中,将热泵干燥器温度设置到 70 ℃,放入待干燥甘薯片,干燥 3 h 取出待其冷却后,装入自封袋中。

将甘薯干片进行油炸,得到甘薯脆片,测定其含油率、破碎力、硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性,3 次平行,取平均值, $a^*$  值、 $b^*$  值、 $L^*$  值正反面各 3 次平行,取平均值。

1.3.2 甘薯含水率测定 采用常压干燥法,参考国标 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中

水分的测定》<sup>[12]</sup>。

1.3.3 甘薯总糖和还原糖含量测定<sup>[13]</sup> 精确称取一定量的甘薯置于 105 ℃ 的烘箱中干燥至恒质量,并确保葡萄糖为 100.0 mg,用蒸馏水溶解并定容至 100 mL,摇匀,制备成 1.0 mg/mL 葡萄糖标准溶液,分别取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 上述葡萄糖标准溶液依次加入 25 mL 容量瓶中,补足蒸馏水至 1 mL,加入 3.0 mL 3,5-二硝基水杨酸(DNS)溶液,混匀,于沸水浴中加热 5 min,取出后立即冷却,用蒸馏水定容至刻度,摇匀。以空白溶液作为对照,用 1 cm 比色皿在 489 nm 处测定吸光度值。以葡萄糖溶液浓度为横坐标  $x$ 、吸光度值为纵坐标制作标准曲线  $y$ ,为  $y = 0.033 1x - 0.019 3$ ,  $r^2 = 0.999 3$ 。

还原糖含量样品测定:取饮料液 2.000 g,按照标准曲线步骤进行操作。

总糖含量样品测定:取饮料液 2.000 g,加入 10 mL 6 mol/L HCl 溶液和 15 mL 蒸馏水,混匀,在沸水浴中加热 30 min,用碘化钾-碘溶液检查水解程度。待水解完全后,冷却,加入酚酞指示剂 0.2 mL,以 6 mol/L NaOH 溶液中和至溶液呈酚酞变色,定容至 50 mL,即为总糖含量待测样品。取待测液 1 mL,按照标准曲线步骤进行操作。

所有样品都平行测定 3 次,取  $D_{489 \text{ nm}}$  的平均值,从上述标准曲线计算相应的总糖和还原糖含量(mg/mL)。

1.3.4 甘薯淀粉含量测定 参考曹建康等的《果蔬采后生理生化实验指导》测定甘薯淀粉含量<sup>[14]</sup>,标准曲线与总糖含量测定法一致。

1.3.5 脆片含油率测定 参照国标 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》<sup>[15]</sup>的方法测定脆片含油率。

1.3.6 脆片质构测定 采用美国 FTC 公司 TMS-PRO 物性质构仪进行测定,应用 TPA 模式,测试速度为 3 mm/min,变形百分量为 60%,下降距离为 15 mm,检测起始力为 1.5 N。

1.3.7 脆片色差测定 用便携式色差仪测定,依次读取  $a^*$  值、 $L^*$  值、 $b^*$  值。

1.3.8 感官评析 组织 20 人小组对甘薯脆片进行感官评定评分(表 2),用平均值表示甘薯脆片所得感官评定总分。

## 1.4 数据统计与分析

运用 Excel 2019 软件及 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理、主成分分析及相关性分析。

表 2 甘薯脆片感官评价标准

感官指标(总分)	评价标准	得分范围(分)
颜色(30分)	颜色均匀,呈淡黄色,无油炸过焦色泽	30~25
	颜色较均匀,呈黄色,无油炸过焦色泽	24~20
	色泽一般,有轻微的油炸过焦色泽	19~15
	色泽不好,有严重的油炸过焦色泽	14~10
形状(20分)	片型完整,厚度、大小均匀,分布的气泡均匀	20~18
	片型完整,厚度、大小不均匀,分布的气泡均匀	17~15
	片型不完整,厚度、大小均匀,分布气泡不均匀	14~10
	片型残缺,厚度、大小气泡不均匀	9~6
香气(20分)	干片油炸后的特有香气,无异味	20~18
	油炸后香气较淡,无异味	17~15
	油炸后无香气,无异味	14~10
口感(30分)	酥脆性好,无油腻感,有嚼劲,无焦苦味	30~25
	酥脆性一般,无油腻感,有嚼劲,无焦苦味	24~20
	酥脆性一般,轻微油腻感,有嚼劲,无焦苦味	19~15
	酥脆性不好,有软绵感,无嚼劲,无焦苦味	14~10
	酥脆性不好,有软绵感,无嚼劲,有焦苦味	9~0

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种甘薯营养成分

不同品种的甘薯亲缘关系相差较远,含水率、淀粉含量、还原糖含量有所不同且不同肉色的品种甘薯性状差异巨大<sup>[16]</sup>,还原糖含量、淀粉含量和含水率是影响甘薯脆片色泽的主要因素,还原糖含量越高,在油炸过程中越容易发生“美拉德反应”,生成“类黑蛋白素”等<sup>[17]</sup>物质,使薯片色泽变暗,味道变苦,含水率越高,相对密度越低,甘薯脆片出产率越低,甘薯脆片油炸后含油率越高。由表 3 可知,不同品种甘薯间营养成分含量差异显著( $P < 0.05$ ),还原糖含量范围为 8.94%~14.90%,其中红薯 407 含量最高(14.90%),其次是紫薯 404,红薯龙 9 含

量最低(8.94%)。总糖含量范围为 40.34%~62.12%,其中红薯 407 最高(62.12%),其次是紫薯 F404(61.93%),紫薯 12-24-2 最低(40.34%)。淀粉含量范围为 9.60%~18.18%,其中紫薯 12-24-2 最高(18.18%),其次是红薯 XGM(17.67%),红薯 407 含量最低(9.6%)。含水率范围为 11.04%~33.11%,其中红薯 407 最高(33.11%),其次是紫薯 13-27-2(31.98%),红薯 XGM 最低(19.01%)。

### 2.2 不同品种甘薯脆片品质

由于不同甘薯品种的甜度、质地及品质稳定性之间存在着显著的差异<sup>[18]</sup>,所以其对应的甘薯脆片品质也存在着显著的差异,如表 4 所示,甘薯脆片硬度变化范围为 8.00~16.26 N,其中龙 9 硬度最高

表 3 不同甘薯主要营养品质

品种	还原糖含量(%)	总糖含量(%)	淀粉含量(%)	含水率(%)
白薯商 19	11.97 ± 0.06d	45.02 ± 0.22b	12.05 ± 0.73d	26.33 ± 0.32d
白薯	10.02 ± 0.12c	55.32 ± 0.02g	11.14 ± 0.18c	25.01 ± 0.09c
红薯 407	14.90 ± 0.24f	62.12 ± 0.62i	9.60 ± 0.43a	33.11 ± 0.11h
红薯 XGM	11.90 ± 0.35d	54.63 ± 0.28f	17.67 ± 0.24h	19.01 ± 0.14b
红薯 ZYKS	13.46 ± 0.56f	48.29 ± 0.16c	11.97 ± 0.15cd	30.11 ± 0.21f
红薯龙 9	8.94 ± 0.61a	40.64 ± 0.62a	14.66 ± 0.42f	11.04 ± 0.32a
紫云红心薯	11.13 ± 0.13d	53.86 ± 0.51e	11.08 ± 0.61c	29.56 ± 0.27e
紫薯 12-24-2	9.07 ± 0.36b	40.34 ± 0.37a	18.18 ± 0.32i	19.35 ± 0.16b
紫薯 F317	12.63 ± 0.11ef	45.86 ± 0.19b	15.77 ± 0.17g	19.80 ± 0.26b
紫薯 F404	14.05 ± 0.16f	61.93 ± 0.29h	10.09 ± 0.72b	30.55 ± 0.62f
紫薯 13-27-2	12.16 ± 0.26e	50.74 ± 0.38d	10.85 ± 0.42b	31.98 ± 0.52g
紫薯 F24	10.13 ± 0.18c	53.47 ± 0.91e	13.22 ± 0.12e	19.44 ± 0.42b

注: $n=3$ ;同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

(16.26 N), 红薯 ZYKS 最低(8.00 N)。胶黏性变化范围为 1.20~3.33 N, 其中红薯 407 胶黏性最大(3.33 N), 紫云红心薯最低(1.20 N)。咀嚼性变化范围为 2.09~4.95 N, 其中紫薯 12-24-2 咀嚼性最大(4.95 N), 紫薯 F404 咀嚼性最低(2.09 N)。弹性变化范围为 2.04~4.10 N, 其中红薯 407 最高(4.10 N), 紫云红心薯弹性最低(2.04 N)。品种间甘薯花青素含量具有差异性<sup>[19]</sup>, 因此色差不仅受到品种肉色影响, 还与甘薯含水率、甘薯片油炸温度、油炸时间有关, 红薯 407 甘薯片油炸后含油率最高(18.58%), 紫薯 F24 甘薯脆片含油率最低(10.59%), 紫薯有花青素“大王”的美称<sup>[20]</sup>, 所以不同肉色甘薯脆片色差值具有显著差异( $P < 0.05$ )。其中, 红薯 407 色差值  $a^*$  值最高(24.92), 紫薯 12-24-2 色差值  $a^*$  值最低(15.40); 红薯 XGM 色差值  $b^*$  最高(54.37), 紫薯 F24  $b^*$  值最低(9.07); 紫薯 13-27-2 色差值  $L^*$  值最低(10.66), 红薯 407 色差值  $L^*$  值最高(72.00)。

### 2.3 不同品种甘薯与甘薯脆片品质相关性分析

甘薯含水率是影响甘薯脆片含油率及硬度的重要因素<sup>[21]</sup>, 由表 5 可知, 不同品质甘薯块与甘薯脆片品质指标中, 硬度与胶黏性、弹性、 $a^*$  值、含油率、还原糖含量及含水率呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 与咀嚼性、淀粉含量及感官呈显著正相关( $P < 0.05$ )。胶黏性与咀嚼性、淀粉含量、感官得分呈负相关( $P > 0.05$ ), 与弹性及含水率呈正相关( $P > 0.05$ )。咀嚼性与含油率、还原糖含量、总糖含量以及含水率呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 与淀粉含量以及感官呈极显著正相关性( $P < 0.01$ )。弹性与含油率、还原糖含量呈显著正相关, 与淀粉含量及感官得分呈负相关。含水率与含油率、 $a^*$  值及还原糖含量呈极显著正相关性<sup>[22]</sup> ( $P < 0.01$ ), 与硬度、淀粉含量及咀嚼性呈极显著负相关( $P < 0.01$ ), 与感官得分呈负相关。 $L^*$  与含油率、还原糖含量及含水率呈负相关性, 与淀粉含量及感官得分呈正相关。含油率与还原糖含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与淀粉含量呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。还原糖含量与感官得分呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 淀粉含量与感官得分呈正相关。综上所述, 甘薯还原糖含量越高, 产品色泽越差, 含水率越高, 硬度越低, 所以应该选择还原糖含量尽量少、干物质及淀粉含量高的甘薯作为原料<sup>[23]</sup>。

表 4 不同品种甘薯脆片品质指标

品种	硬度(N)	胶黏性(N)	咀嚼性(N)	弹性(N)	$a^*$ 值	$b^*$ 值	$L^*$ 值	含油率(%)	感官得分
白薯商 19	12.86 ± 1.12d	2.13 ± 1.04b	2.78 ± 0.98a	2.96 ± 1.12ab	22.63 ± 0.82d	28.31 ± 1.52f	71.20 ± 1.37i	17.44 ± 0.23e	76.90 ± 4.32b
白薯	10.16 ± 1.32c	2.43 ± 0.94b	3.23 ± 1.72c	2.15 ± 1.19a	21.46 ± 1.62c	32.61 ± 0.97h	61.30 ± 1.82g	13.35 ± 0.52d	84.57 ± 5.72f
红薯 407	8.30 ± 1.02a	3.33 ± 1.68c	2.90 ± 1.29ab	4.10 ± 0.29c	24.92 ± 2.06f	50.84 ± 0.83k	72.00 ± 2.42i	18.58 ± 0.28f	83.28 ± 5.02e
红薯 XGM	16.00 ± 2.22h	2.10 ± 1.74b	4.54 ± 1.49d	2.04 ± 1.43a	22.51 ± 1.42d	54.37 ± 1.02i	66.00 ± 2.02h	12.81 ± 0.41c	87.85 ± 6.54h
红薯 ZYKS	8.00 ± 1.42a	3.10 ± 0.81c	3.05 ± 2.01c	4.06 ± 2.02c	23.18 ± 2.12e	43.36 ± 1.74j	32.22 ± 2.02d	18.03 ± 0.90f	85.57 ± 4.17g
红薯龙 9	16.26 ± 2.62h	1.70 ± 1.08a	4.64 ± 1.06d	2.56 ± 1.32a	15.78 ± 2.11a	30.81 ± 2.05g	71.39 ± 3.11j	11.98 ± 0.02b	87.92 ± 6.09h
紫云红心薯	15.46 ± 1.65g	1.20 ± 1.05a	3.12 ± 1.26c	2.09 ± 1.61a	23.53 ± 1.62e	11.98 ± 0.49c	48.01 ± 2.62f	17.45 ± 0.14e	87.42 ± 4.64h
紫薯 12-24-2	16.13 ± 3.21h	2.63 ± 2.25b	4.95 ± 1.43d	2.66 ± 1.04a	15.40 ± 1.26a	42.18 ± 1.58i	71.41 ± 1.98k	10.74 ± 0.52a	89.01 ± 6.09i
紫薯 F317	13.60 ± 3.07e	2.20 ± 1.2b	3.01 ± 1.04c	2.67 ± 1.17a	20.92 ± 1.65c	10.46 ± 1.47b	44.39 ± 2.64e	10.93 ± 0.21a	79.42 ± 3.99d
紫薯 F404	8.13 ± 1.71a	3.70 ± 1.67c	2.09 ± 2.16a	3.04 ± 1.29b	24.29 ± 1.53f	14.24 ± 2.09e	21.59 ± 1.75b	18.52 ± 0.28f	71.14 ± 4.87a
紫薯 13-27-2	9.20 ± 1.81b	3.30 ± 1.93c	2.98 ± 1.63ab	2.75 ± 2.01a	21.66 ± 1.42c	13.49 ± 1.38d	10.66 ± 3.72a	17.51 ± 0.33e	78.00 ± 6.14c
紫薯 F24	14.03 ± 1.05f	2.93 ± 2.09bc	2.92 ± 1.89ab	2.12 ± 1.32a	19.36 ± 2.05b	9.07 ± 2.16a	32.05 ± 1.65c	10.59 ± 0.25a	85.42 ± 7.03g

注:  $n = 5$ 。

表 5 甘薯块与甘薯脆片品质指标相关性分析

品质指标	相关系数												
	硬度	胶黏性	咀嚼性	弹性	$a^*$ 值	$b^*$ 值	$L^*$ 值	含油率	还原糖含量	总糖含量	淀粉含量	含水率	感官得分
硬度	1.000												
胶黏性	-0.780**	1.000											
咀嚼性	0.717**	-0.456	1.000										
弹性	-0.686*	0.569	-0.327	1.000									
$a^*$ 值	-0.639*	0.283	-0.734**	0.377	1.000								
$b^*$ 值	-0.013	0.047	0.521	0.373	0.012	1.000							
$L^*$ 值	0.490	-0.512	0.588*	-0.05	-0.292	0.630*	1.000						
含油率	-0.696*	0.340	-0.614*	0.595*	0.779**	0.044	-0.291	1.000					
还原糖含量	-0.725**	0.547	-0.660*	0.697*	0.848**	0.104	-0.320	0.718**	1.000				
总糖含量	-0.564	0.453	-0.590*	0.145	0.771**	-0.002	-0.285	0.500	0.620*	1.000			
淀粉含量	0.760**	-0.379	0.806**	-0.404	-0.665*	0.280	0.393	-0.789**	-0.517	-0.617*	1.000		
含水率	-0.787**	0.503	-0.712**	0.530	0.809**	-0.052	-0.433	0.876**	0.731**	0.617*	-0.779**	1.000	
感官得分	0.587*	-0.515	0.759**	-0.259	-0.482	0.459	0.499	-0.489	-0.579*	-0.339	0.503	-0.482	1.000

注：\*、\*\*表示相关显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。

2.4 不同品种甘薯与甘薯脆片品质的主成分分析

由表 6 可知,前 3 个主成分的初始特征值均大于 1,其中主成分 1 的方差贡献率为 56.343%,主成分 2 的方差贡献率为 16.093%,主成分 3 的方差贡献率为 9.315%,累积方差贡献率为 81.751%,解释了绝大部分信息。因此提取前 3 个主成分代替原 13 个指标评价甘薯脆片品质,达到降维的目的。根据综合评价的需要,故采用前 3 个主成分来代替原来的 13 个指标变量。

表 6 主成分的初始特征值及累积贡献率

成分	初始特征值	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
1	7.325	56.343	56.343
2	2.092	16.093	72.436
3	1.211	9.315	81.751
4	0.763	5.872	87.623
5	0.597	4.594	92.217
6	0.435	3.343	95.559
7	0.273	2.100	97.660
8	0.131	1.007	98.667
9	0.123	0.943	99.609
10	0.043	0.328	99.938
11	0.008	0.062	100.000
12	$9.99 \times 10^{-17}$	$7.69 \times 10^{-16}$	100.000
13	$-5.14 \times 10^{-17}$	$-3.95 \times 10^{-16}$	100.000

表 7 为主成分在各指标上的因子载荷矩阵,该矩阵反映了品质指标对此主成分负荷相对大小和作用的方向,即该指标对主成分的影响程度<sup>[24]</sup>。由表 7 可知,主成分 1 载荷值较高且符号为正的指标为含水率、还原糖含量、 $a^*$  值以及含油率,这 4 个指标对主成分 1 产生正向影响;载荷值较高且符号为负的品质指标有硬度、咀嚼性以及淀粉含量,载荷值分别为 -0.902、-0.871、-0.836,这 3 个指标对主成分 1 产生负向影响,说明主成分 1 越大,  $a^*$  值、含水率、还原糖含量及含油率越高,而硬度、咀嚼性及淀粉含量越会降低,其他品质特性基本不变。同理,在主成分 2 中,载荷值较高且符号为正的指标为  $b^*$  值和  $L^*$  值,载荷值分别为 0.954、0.614。胶黏性在主成分 3 中负向影响且较大载荷值的是胶黏性,说明主成分 3 基本反映了这些指标的信息。

2.5 不同品种甘薯脆片品质综合评判

为了消除不同单位和数据的影响,须对各指标原始数据进行标准化处理,转化成均值为 0、标准差

表 7 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵

品质指标	载荷值		
	主成分 1	主成分 2	主成分 3
硬度 $x_1$	-0.902	-0.129	0.267
胶黏性 $x_2$	0.657	0.080	-0.641
咀嚼性 $x_3$	-0.871	0.371	-0.091
弹性 $x_4$	0.594	0.576	-0.394
$a^*$ 值 $x_5$	0.843	0.135	0.432
$b^*$ 值 $x_6$	-0.159	0.954	-0.027
$L^*$ 值 $x_7$	-0.546	0.614	0.303
含油率 $x_8$	0.839	0.219	0.224
还原糖含量 $x_9$	0.856	0.272	-0.009
总糖含量 $x_{10}$	0.707	0.043	0.350
淀粉含量 $x_{11}$	-0.836	0.112	-0.229
含水率 $x_{12}$	0.899	0.111	0.148
感官得分 $x_{13}$	-0.701	0.383	0.196

为 1 的无量纲数据 ( $Zx_1 \sim Zx_{13}$ )。用各指标变量的主成分载荷值 (表 7) 除以主成分相对应的初始特征值、再开平方根, 便得到 3 个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 3 个主成分的表达式:

$$y_1 = -0.333 \times Zx_1 + 0.242 \times Zx_2 - 0.321 \times Zx_3 + 0.219 \times Zx_4 + 0.311 \times Zx_5 - 0.058 \times Zx_6 - 0.201 \times Zx_7 + 0.309 \times Zx_8 + 0.316 \times Zx_9 + 0.261 \times Zx_{10} - 0.308 \times Zx_{11} + 0.332 \times Zx_{12} - 0.259 \times Zx_{13};$$

$$y_2 = -0.089 \times Zx_1 + 0.055 \times Zx_2 + 0.256 \times Zx_3 + 0.398 \times Zx_4 + 0.093 \times Zx_5 + 0.659 \times Zx_6 + 0.424 \times Zx_7 + 0.151 \times Zx_8 + 0.188 \times Zx_9 + 0.029 \times Zx_{10} + 0.077 \times Zx_{11} + 0.076 \times Zx_{12} + 0.264 \times Zx_{13};$$

$$y_3 = 0.242 \times Zx_1 - 0.582 \times Zx_2 - 0.082 \times Zx_3 - 0.358 \times Zx_4 + 0.392 \times Zx_5 - 0.024 \times Zx_6 + 0.275 \times Zx_7 + 0.203 \times Zx_8 - 0.008 \times Zx_9 + 0.318 \times Zx_{10} - 0.208 \times Zx_{11} + 0.134 \times Zx_{12} + 0.178 \times Zx_{13}。$$

以 3 个主成分及每个主成分对应的特征值占有所有提取主成分总的特征值之和的比例为权重, 计算主成分综合模型:

$$y_{\text{综合}} = 0.56343y_1 + 0.16093y_2 + 0.09315y_3。$$

在主成分分析的基础上, 根据综合得分模型计算不同品种甘薯脆片的综合得分, 结果如表 8 所示, 综合得分越高, 说明该品种的甘薯脆片综合品质越好。由表 8 可知, 在主成分 1 的  $y_1$  中, 红薯 407 的得分最高, 为 2.57 分, 其次是红薯 ZYKS, 为 2.09 分, 再次是紫薯 F404, 为 1.02 分; 由表 7 知, 主成分 2 中含水率、还原糖含量以及含油率的影响最显著, 说明红薯 407、紫云红心薯、紫薯含水率、还原糖含量以及含油率在 12 个甘薯品种中表现较优。其次是主成分 2 中  $b^*$  值、 $L^*$  值以及主成分 3 中  $a^*$  值的载荷值较大, 说明红薯 407、红薯 ZYKS、紫薯 F404 色泽较其他品种颜色更佳, 而甘薯脆片颜色是一个影响甘薯脆片出产率的重要因素。经综合分析可知, 红薯中红薯 407 在综合排名中排名第一, 最适宜制作为甘薯脆片, 其次是红薯 ZYKS; 紫薯中紫薯 F404 综合排名最高, 适宜制作为甘薯脆片, 其次是紫薯 13-27-2; 白薯中商 19 综合得分最高, 适宜制作为甘薯脆片。

表 8 甘薯脆片主成分得分及排序

品种	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_{\text{综合}}$	综合排序
白薯商 19	0.49	-0.25	0.14	0.03	5
白薯	0.32	-0.58	0.09	-0.46	8
红薯 407	1.44	1.18	1.35	2.57	1
红薯 XGM	-0.01	-0.70	1.39	-0.41	7
红薯 ZYKS	0.24	1.56	0.47	2.09	2
红薯龙 9	-1.38	-0.50	0.54	-1.19	10
紫云红心薯	1.28	-2.11	-0.04	-1.74	12
紫薯 12-24-2	-1.83	0.46	0.86	-0.24	6
紫薯 F317	-0.66	-0.15	-0.83	-0.79	9
紫薯 F404	0.82	0.84	-1.42	1.02	3
紫薯 13-27-2	0.03	0.68	-1.36	0.40	4
紫薯 F24	-0.73	-0.43	-1.19	-1.26	11

### 3 讨论与结论

不同品种及肉色的甘薯的主要营养成分含量

及化学组成不同, 加工制成的甘薯脆片也存在一定差异, 表现在产品的色泽、风味、外观以及口感等多方面, 通过试验得出, 不同品种及肉色甘薯之间的

淀粉、总糖、还原糖含量及含水率差异显著,将不同品种甘薯制成甘薯脆片产品后质构分析、色差及含油率也呈现一定的差异性。通过相关性分析得出,甘薯脆片硬度与含水率、还原糖含量及含油率呈极显著负相关( $P < 0.01$ ), $L^*$ 值与含水率、含油率以及还原糖含量呈负相关,含水率与总糖含量和还原糖含量呈极显著正相关,与淀粉含量呈极显著负相关。再通过主成分分析法提取出3个主成分,可以解释甘薯脆片品质的81.751%,它们的贡献率分别为56.343%、16.093%和9.315%。在此分析结果基础上建立主成分综合得分模型,对不同品种的甘薯脆片品质进行综合评分,筛选出适宜加工甘薯脆片的品种,红薯中红薯407在综合排名中排名第一,最适宜制作为甘薯脆片,其次是红薯ZYKS;紫薯中紫薯F404综合排名最高,适宜制作为甘薯脆片,其次是紫薯13-27-2;白薯中商19综合得分最高,适宜制作为甘薯脆片。由于甘薯原料的品质不仅受品种的影响,还与生长地区的地质条件、生长季节等因素有很大关系,加之感官评价的主观性,故分析结果也会存在差异。在今后的研究中,应扩大采样范围,加强研究的深入性,使研究结果更具有实用价值,从而为甘薯脆片加工企业提供有效的依据。

#### 参考文献:

- [1] 马代夫,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业及产业技术的发展与展望[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):969-973.
- [2] 杜海敏. 解读WHO推荐的最佳食品榜[J]. 家庭医生(新健康),2007(11):42-43.
- [3] 杨立明,陈赐生. 浅谈甘薯综合开发利用[J]. 国外农学(杂粮作物),1995(2):44-45.
- [4] 刘庆昌. 甘薯在我国粮食和能源安全中的重要作用[J]. 科技导报,2004(9):21-22.
- [5] Mohan C. Advances in horticultur biotechnology: molecular markers and marker assisted selection - vegetables, ornamentals and tuber crops[M]. India: Westville Publishing House, 2011:187-230.
- [6] 梁曹雯. 甘薯食品加工利用[J]. 食品安全导刊,2016(26):79-81.
- [7] 黄英,张波,武晓娟,等. 基于主成分分析的绿豆沙加工用品种筛选[J]. 食品科学,2012,33(13):104-107.
- [8] 张宛平. 油炸山药豆脆片工艺研究及货架期预测[D]. 武汉:武汉轻工大学,2014.
- [9] 王沛,毕金峰,白沙沙,等. 不同原料品种的苹果脆片品质评价及其相关性分析[J]. 食品与机械,2012,28(2):9-14,26.
- [10] 吕健,刘璇,毕金峰,等. 桃变温压差膨化脆片品质评价研究[J]. 中国农业科学,2016,49(4):802-812.
- [11] 李臣,王永徐,邱天越,等. 不同品种甘薯香味组分差异性分析[J]. 中国粮油学报,2019,34(2):45-52.
- [12] 食品安全国家标准食品中含水率的测定:GB 5009.3—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:1-2.
- [13] 程柳,李静. 3,5-二硝基水杨酸法测定山楂片中还原糖和总糖含量[J]. 轻工科技,2016,208(3):25-28.
- [14] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
- [15] 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:1-2.
- [16] 赵大伟,徐宁生,李国芳,等. 不同肉色甘薯产量和农艺性状相关性分析[J]. 西南农业学报,2018,31(7):1360-1365.
- [17] 余善鸣,马兴胜,庞文强,等. 马铃薯在冷藏中还原糖的变化对油炸马铃薯片色泽影响的研究[J]. 冷藏技术,1994(1):13-18.
- [18] Laurie S M, Calitz F J, Adebola P O, et al. Characterization and evaluation of South African sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] land races[J]. South African Journal of Botany, 2013(85):10-16.
- [19] 唐忠厚,魏猛,陈晓光,等. 不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价[J]. 中国农业科学,2014,47(9):1705-1714.
- [20] 苏旺. 白薯、红薯、紫薯营养有什么区别[J]. 农村新技术,2018(3):56.
- [21] 吴列洪,沈升法,李兵. 甘薯品种干率与油炸薯片含油量和硬度间的相关性[J]. 中国粮油学报,2009,24(11):47-49.
- [22] Hagenimana V, Karuri E G, Oyunga M A. Oil content in fried processed sweetpotato products[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1998,22(2):15.
- [23] 刘文秀,杜润鸿,彭鉴君,等. 影响油炸薯片质量的主要因素及其分析[J]. 粮油加工与食品机械,2001(5):22-23.
- [24] Ha S K, Wilkins C L, Abidi S L. Analysis of antimycin A by reversed-phase liquid chromatography/nuclear magnetic resonance spectrometry[J]. Analytical Chemistry, 1989,61(5):404-408.