

郭 嘉,刘春菊,任晗慈,等. 不同联合干燥方法对山药片质地结构及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):213-217.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.040

# 不同联合干燥方法对山药片质地结构及品质的影响

郭 嘉<sup>1,2</sup>, 刘春菊<sup>1,2</sup>, 任晗慈<sup>1</sup>, 李大婧<sup>1</sup>, 宋江峰<sup>1</sup>, 张钟元<sup>1</sup>, 顾千辉<sup>3</sup>

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013;  
3. 三只松鼠股份有限公司, 安徽芜湖 241000)

**摘要:**为了研究不同联合干燥对山药片的质构与品质的影响,采用热风-冻干、冻干-热风、膨化-冻干、冻干-膨化 4 种方法联合干燥山药片,分析山药片的收缩率、孔隙结构、硬脆度、复水特性等质地结构与品质指标的差异。结果表明,热风-冻干山药片具有较高的硬脆度及较小复水性,皱缩严重,具有较低的孔隙率;冻干-热风和膨化-冻干对山药片结构改变最小,具有较高的复水比;冻干-膨化山药片的体积收缩率和直径收缩率显著低于其他 3 种联合干燥( $P < 0.05$ ),孔隙率显著高于其他 3 种联合干燥( $P < 0.05$ ),硬脆度适中,同时具有较高的感官综合评分。本试验结果为山药片联合干燥的生产应用提供了一定的技术支撑。

**关键词:**山药片;联合干燥;质地结构;品质

**中图分类号:**TS255.36 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)22-0213-05

山药(*Dioscorea opposita*)为薯蓣科薯蓣属植物的地下块茎,是一种药食同源作物,是世界上仅次于木薯、土豆和红薯的第四大块根植物<sup>[1]</sup>。山药富含淀粉、黏液多糖、尿囊素、黏液蛋白、皂苷、多酚氧化酶和铁、钙、锌等多种营养素,具有调节免疫、抗氧化、抗衰老、降血糖、降血脂、调节脾胃、抗突变、抗肿瘤等功效<sup>[2-3]</sup>,是粮、菜、药兼用的多用途特色作物,也是我国重要的补充粮食作物。新鲜山药水分含量高,易腐烂变质,对贮藏环境要求非常苛刻,极易发生冻伤、发芽、呼吸加速等现象,造成了山药的大量损失。

干燥是一种延长蔬菜保质期的有效方法,可降低蔬菜的含水量,抑制微生物繁殖,减少营养成分损失及降低钝化酶活性等<sup>[4-6]</sup>。目前市面上的山药片主要采用的是油炸、冷冻干燥及热风干燥等方法,油炸可赋予物料很好的质地结构,口感酥脆,但其含油量高,可产生有害物质,贮藏期间易发生脂肪氧化等不良反应;冷冻干燥很好地保持了山药的色香味形,但加工成本高,干燥时间长,口感绵软;热风干燥具有生产成本低、低能耗等优势,但产品

皱缩严重,硬度大,口感无法让消费者接受<sup>[1,7-8]</sup>。近几年联合干燥受到了各位专家学者的关注,可发挥各个干燥方法的优势,生产出品质优良、质地可调控、迎合市场的山药片产品。因此,本研究以怀山药为研究对象,探讨热风-冻干、冻干-热风、膨化-冻干、冻干-膨化 4 种联合干燥方法对山药片的收缩率、孔隙结构、硬脆度、复水特性等质地结构及品质指标的影响,获得一种最适宜的山药片联合干燥方法,为山药片加工产业发展提供一定的理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

山药品种为怀山药,购于南京苏果超市。

### 1.2 仪器与设备

质构仪(CT3 25K),购自美国博勒飞公司;色差仪(WSC-S),购自上海精密科学仪器有限公司;紫外-可见分光光度计(TU-1810),购自北京普析通用仪器有限公司;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9073B5-III),购自上海新苗医疗器械制造有限公司;台式高速离心机(TG16-WS),购自长沙湘仪离心机仪器有限公司;高效压差膨化干燥设备(QDPH-20),购自天津市勒德新材料科技有限公司。

### 1.3 不同联合干燥山药片制备

新鲜山药清洗去皮后切成厚度为 5 mm、直径为

收稿日期:2020-09-10

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0400900)。

作者简介:郭 嘉(1997—),女,山西大同人,硕士研究生,主要从事果蔬加工与质量控制研究。E-mail:1125330362@qq.com。

通信作者:李大婧,博士,研究员,主要从事果蔬加工与综合利用研究。E-mail:lidajing@163.com。

5 cm 的山药片,沸水烫漂 2 min,立即冷水冷却,沥干后备用。

**1.3.1 热风-冻干山药片** 将沥干后的山药片平铺于干燥盘上,放入预热至 70 ℃ 的热风干燥箱中干燥 1.5 h,使山药片水分含量达到 40% 左右,将山药片取出后放入 4 ℃ 冰箱中均湿过夜。将均湿后的山药片平铺放于真空冷冻干燥机中,将物料在 -40 ~ -30 ℃ 下冷冻 3 ~ 4 h,打开真空泵,使冻干仓真空度小于 30 Pa,打开加热开关,开始真空冷冻干燥,山药片中心温度与加热温度一致时表示到达干燥终点,得到热风-冻干山药片产品。

**1.3.2 冻干-热风山药片** 将沥干后的山药片平铺放于真空冷冻干燥机中,将物料在 -40 ~ -30 ℃ 下冷冻 3 ~ 4 h,打开真空泵,使冻干仓真空度小于 30 Pa,打开加热开关,开始真空冷冻干燥,8 h 后山药片水分含量达到 40% 左右,将山药片取出后放入 4 ℃ 冰箱中均湿过夜,将均湿后的山药片平铺于干燥盘上,放入预热至 70 ℃ 的热风干燥箱中,干燥至水分含量在 5% 以下,获得冻干-热风山药片产品。

**1.3.3 膨化-冻干山药片** 将沥干后的山药片平铺于干燥盘上,放入物料罐中,升温至 95 ℃ 保温 10 min,瞬间泄压,然后 65 ℃ 真空干燥 3 h,使山药片的水分含量达到 40% 左右,将山药片取出后放入 4 ℃ 冰箱中均湿过夜。将均湿后的山药片平铺放于真空冷冻干燥机中,将物料在 -40 ~ -30 ℃ 下冷冻 3 ~ 4 h,打开真空泵,使冻干仓真空度小于 30 Pa,打开加热开关,开始真空冷冻干燥,山药片中心温度与加热温度一致时表示到达干燥终点,获得膨化-冻干山药片产品。

**1.3.4 冻干-膨化山药片** 将沥干后的山药片平铺放于真空冷冻干燥机中,将物料在 -40 ~ -30 ℃ 下冷冻 3 ~ 4 h,打开真空泵,使冻干仓真空度小于 30 Pa,打开加热开关,开始真空冷冻干燥,8 h 后山药片水分含量达到 40% 左右,将山药片取出放入 4 ℃ 冰箱中均湿过夜。将均湿后的山药片平铺于干燥盘上,放入物料罐中,升温至 95 ℃ 保温 10 min,瞬间泄压,然后 65 ℃ 真空干燥,干燥至山药片水分含量低于 5%,获得冻干-膨化山药片产品。

#### 1.4 测试方法

**1.4.1 收缩率测定** 在烧杯中盛入足够浸没试样的水,放置在电子天平上,用金属针插入试样上,把插有试样的金属针浸入水中 1 ~ 2 cm,天平稳定后迅速读取增加的质量(g),即为试样的体积( $\text{cm}^3$ )。

用游标卡尺测量干燥前与干燥后山药片的直径。

$$Y_1 = \frac{V_1}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $Y_1$  为体积收缩率,%; $V_1$  为干燥后体积, $\text{cm}^3$ ; $V_0$  为干燥前体积, $\text{cm}^3$ 。

$$Y_2 = \frac{D_1}{D_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $Y_2$  为直径收缩率,%; $D_1$  为干燥后直径,cm; $D_0$  为干燥前直径,cm。

**1.4.2 体积密度、颗粒密度和孔隙度测定** 山药片的体积密度是质量与体积的比值。颗粒密度的测定参照 Zielinska 等的方法<sup>[9]</sup>,用高速粉碎机将山药片打成粉末。准确称量 50 mL 标准比重瓶的质量及 50 mL 二甲苯的质量,取 2.000 g 左右样品放入比重瓶中并称质量,将无水二甲苯加入标准比重瓶中称质量。

$$\rho_0 = \frac{0.864 \times (m_3 - m_1)}{m_2 + (m_3 - m_1) - m_4} \quad (3)$$

式中: $\rho_0$  为颗粒密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ ; $m_1$  为比重瓶质量,g; $m_2$  为比重瓶和二甲苯的质量,g; $m_3$  为样品和比重瓶的质量,g; $m_4$  为样品、二甲苯和比重瓶的质量,g。

孔隙率依照下式计算:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) \times 100\% \quad (4)$$

式中: $\varepsilon$  为孔隙度; $\rho$  为体积密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ ; $\rho_0$  为颗粒密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

**1.4.3 色泽的测定** 色差仪经零校正、白板校正后测定不同联合干燥山药片的色泽。其中  $L^*$  值为亮度变量,测定值越大则表示样品表面亮度越高。 $a^*$  为红色或绿色值,正值表示红色,负值表示偏绿色,绝对值越大则说明红色或绿色越深。 $b^*$  为黄色或蓝色值,正值表示黄色,负值表示偏蓝色,绝对值越大说明黄色或蓝色越深<sup>[10]</sup>。 $\Delta E$  是描述山药片干燥前后色泽的变化,其公式为

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (5)$$

式中: $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$  和  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  分别代表干燥前和干燥后山药片的亮度、红色度和黄色度。

**1.4.4 硬度和脆度测定** 山药片硬度和脆度测定参照魏秋羽的方法<sup>[11]</sup>稍作修改。采用 CT3 25K 型质构仪,测试条件如下:探头为 TA10,夹具为 TA-BT-KIT,测试类型为压缩,测试速率为 0.50 mm/s,测后速率为 0.50 mm/s,测试距离为 3 mm。硬度表

现为压缩过程中出现的最大压力峰值,单位为 g;脆度表现为压缩过程中出现的第 1 个明显的压力峰值,单位为 g。每种样品做 10 次平行,结果取其均值。

1.4.5 复水性测定 山药片复水性能以复水比表示<sup>[12]</sup>,将干燥后的山药片称质量,在水中浸泡 30 min,取出沥水 20 min,接着用滤纸除去山药片表面水分,再次称质量。

$$R = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $R$  为复水性,%; $m_1$  为复水后山药片质量,g; $m_0$  为复水前山药片质量,g。

1.4.6 复水山药片 TPA 测定 不同联合干燥的山药片复水后测定质构,采用 CT3 25K 型质构仪测定,选用 TA25/1000 圆柱型探头;目标类型:TPA;目标值:1.0 mm;触发点负荷:10 g;测试速度:0.5 mm/s;循环次数:2 次。

1.4.7 多糖含量测定 采用苯酚-硫酸法测定样品中的多糖含量,根据郭金龙等的方法<sup>[13]</sup>稍作修改。采用水浸提法提取样品中的多糖,以不同浓度葡萄糖标准溶液做标准曲线。

干燥后的山药片经研磨后得到山药粉,称取 2 g 于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 蒸馏水,超声辅助浸提 30 min 后过滤,称取滤液于 50 mL 容量瓶中,沉淀再次浸提,滤液定容至 50 mL。移取稀释 20 倍后的浸提液 0.1 mL 于试管中,加入蒸馏水至 3 mL,再加入 1 mL 6% 的苯酚溶液,摇匀。再加 6 mL 浓硫酸,摇匀后放置 30 min,以空白对照在 490 nm 处测吸光度。平行测定 3 次,结果参照葡萄糖标准曲线计算多糖含量。

1.4.8 感官评定 邀请江苏省农业科学院农产品加工研究所经过基本感官分析培训、熟悉评价的描述词的 10 名学生对产品进行感官评价。样品被随机提供给评价员,每位评价员单独进行评价,相互之间不接触交流,样品评定之间用清水漱口。评定标准:形态是指样品外观是否平整,形状是否保持完好;色泽是指饱满度、均匀性、组织内部均匀性;味道是指样品是否保留山药原有香气;口感是指咀嚼样品时样品是否软硬适中,酥脆可口;硬度是指用切牙咬住样品时是否费力;可接受度是指综合感受样品的可接受度,是否能被大部分人所喜爱。评价采用 9 点强度标度,由高到低依次表示相应感官特征由强到弱的变化,即 9 表示极强;8 表示很强;7

表示较强;6 表示稍强;5 表示中等;4 表示稍弱;3 表示较弱;2 表示很弱;1 表示极弱。

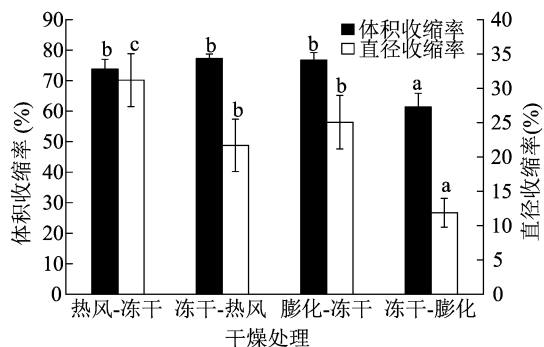
## 1.5 数据处理

使用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行统计分析,利用 ANOVA 检验对结果进行差异显著性分析,绘图使用软件 Origin 8.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同联合干燥对山药片收缩率的影响

收缩率是衡量干燥果蔬组织结构变化的重要指标。从图 1 中可以看出,热风-冻干、冻干-热风和膨化-冻干 3 种联合干燥的体积收缩率差异不显著,热风-冻干的直径收缩率最严重,其次是冻干-热风和膨化-冻干,冻干-膨化的体积收缩率和直径收缩率均显著低于其他 3 种联合干燥( $P < 0.05$ ),这可能是由于热风干燥过程水分蒸发较慢,细胞因失水引起原生质体的收缩,细胞形态无法支撑膨化下降压力,造成细胞组织的皱缩<sup>[14]</sup>。对于膨化干燥,在物料水分含量较高的情况下,即使瞬间膨化快速脱除水分,但仍然不能使物料组织骨架结构立即形成,在后续的真空干燥过程中仍然会造成细胞组织结构的皱缩,因此对于热风-冻干和膨化-冻干第一阶段的热风和膨化干燥均造成了组织结构的收缩,第二阶段的冻干也仅是维持第一阶段的结构形态。对于冻干-热风和冻干-膨化第一阶段的冻干很好地保持了山药片原有组织结构,第二阶段膨化干燥的瞬间膨化快速脱除水分,使得水分含量降低的大分子物质形成组织骨架结构,同时产生的膨化力促使组织结构产生一定的膨胀作用,进一步减少了细胞组织结构的收缩,而热风干燥干燥速率慢,仍然会产生一定的皱缩。



不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。图 2 至图 4 同  
图 1 不同联合干燥对山药片收缩率的影响

2.2 不同联合干燥对山药片体积密度、颗粒密度和孔隙度的影响

孔隙度是果蔬干制品质地结构特征的重要参数,孔隙度越大说明样品中孔隙空间体积越大<sup>[11]</sup>。如图 2 所示,冻干-膨化具有较小的体积密度、颗粒密度和较高的孔隙度,这可能是由于干燥过程中其他

3 种联合干燥对山药片组织结构造成了较大的皱缩,而冻干-膨化收缩最小,具有较大的体积。同时也可以看出,冻干-膨化具有较高的孔隙率,显著高于其他 3 种联合干燥( $P<0.05$ ),这与“2.1”节显示的冻干-膨化样品收缩率较小相一致,较大的体积可以赋予物料组织中较大的孔结构,孔隙率增加。

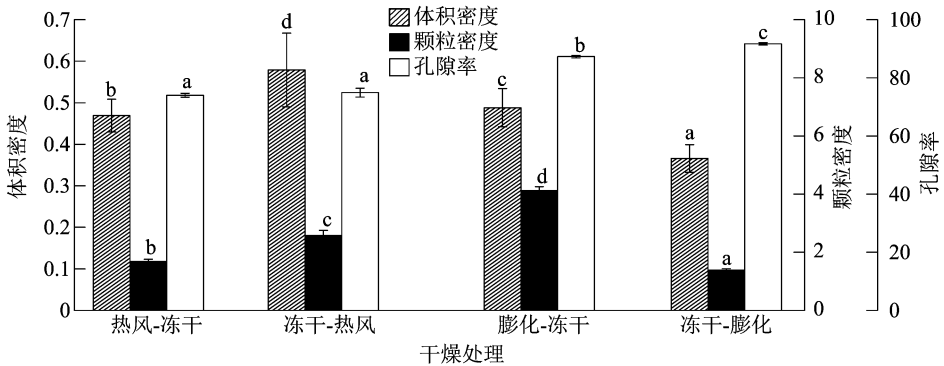


图2 不同联合干燥对山药片体积密度、颗粒密度和孔隙度的影响

2.3 不同联合干燥对山药片色泽的影响

从表 1 可以看出,新鲜山药具有较低的  $L^*$  值,4 种联合干燥山药片  $L^*$  值均显著高于新鲜山药( $P<0.05$ ),热风-冻干、膨化-冻干和冻干-膨化具有较高的  $L^*$  值;4 种联合干燥方式均引起了  $a^*$  值的增加,但 4 种联合干燥方式间的  $a^*$  值差异不显著;新鲜山药的  $b^*$  值显著低于 4 种联合干燥山药片;冻

干-热风的  $\Delta E$  值显著低于其他 3 种联合干燥方法( $P<0.05$ ),而其他 3 种联合干燥的  $\Delta E$  值差异不显著,这可能是由于冻干会造成物料组织色泽变白,原有颜色变淡(这也是  $L^*$  值升高的原因),而与新鲜山药具有较高的色差,山药片的色泽呈现亮白色,更加易于消费者接受。

表 1 不同联合干燥对山药片体色泽的影响

处理	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
新鲜山药	54.09 ± 0.770 8a	-1.46 ± 0.128 3a	0.14 ± 0.008 2a	
热风-冻干	87.42 ± 2.353 4c	-0.33 ± 0.261 7b	13.50 ± 0.092 0c	35.94 ± 2.147 0b
冻干-热风	74.73 ± 2.525 4b	-0.02 ± 0.231 1b	14.82 ± 2.822 0c	25.55 ± 2.373 4a
膨化-冻干	85.44 ± 2.359 4c	-0.15 ± 0.343 4b	12.61 ± 0.475 9bc	33.78 ± 2.089 5b
冻干-膨化	85.48 ± 2.404 9c	-0.46 ± 0.053 5b	9.74 ± 0.796 0b	32.87 ± 2.157 3b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.4 不同联合干燥对山药片硬度和脆度的影响

硬度和脆度是果蔬干制产品的重要质地结构特性,对产品品质起决定性的作用。如图 3 所示,热风-冻干山药片的硬度和脆度均最大,这可能与热风-冻干山药片的收缩率较大有关,皱缩造成组织致密的质地结构,提高了山药片的硬度和脆度。冻干-热风和膨化-冻干中的热处理比较温和,对冻干结构产生的绵软质地改变不大,具有较低的硬度和脆度。冻干-膨化山药片的硬度和脆度均显著低于热风-冻干,但显著高于冻干-热风和膨化-冻干,这可能是由于冻干后物料中水分含量少,在

瞬间膨化快速脱除大量水分的同时加速了组织结构骨架的形成,造成硬度和脆度的提高。

2.5 不同联合干燥对山药片复水性的影响

复水性是果蔬干制产品结构变化的重要指标,复水比越大组织结构破坏越小<sup>[15]</sup>。如图 4 所示,冻干-热风和膨化-冻干山药片的复水比最大,冻干-膨化山药片次之,热风-冻干山药片最小,说明冻干-热风和膨化-冻干对山药片的结构变化影响最小,这与“2.4”节中冻干-热风和膨化-冻干的硬度和脆度最小结果一致,这可能是由于这 2 种联合干燥中的热处理相对较温和,对物料结构影

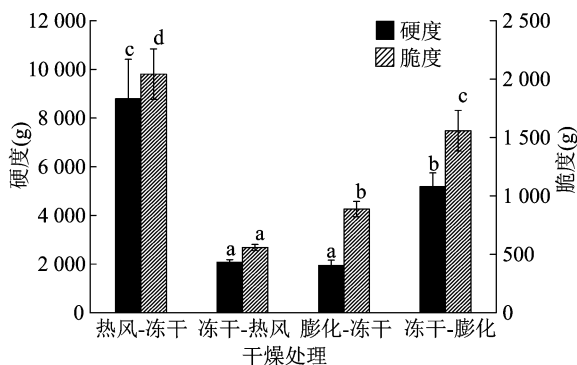


图3 不同联合干燥对山药片硬度和脆度的影响

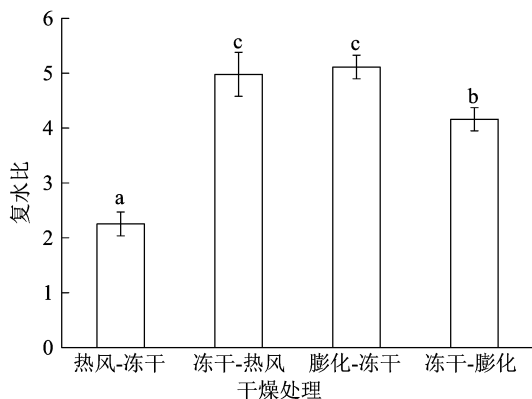


图4 不同联合干燥对山药片复水性的影响

响较小,而以冻干体现出来的绵软和复水性好为主,而热风-冻干的第一阶段的热风干燥脱除水分时会造成严重皱缩,复水时很难复原。

## 2.6 不同联合干燥对山药片感官品质的影响

如图5所示,热风-冻干山药片具有较高的硬度得分,较低的形态、色泽、口感和可接受度得分;冻干-热风和膨化-冻干山药片具有较高的山药风味,具有较低的硬度;冻干-膨化山药片具有较高的形态、色泽、口感和可接受度得分,硬度和山药香味较低。总体来说,冻干-膨化山药片具有较高的感官综合评分,可接受度较高。

## 3 结论

不同联合干燥方法对山药片的质地结构及品质具有显著影响,热风-冻干山药片收缩严重,孔隙率低,硬度和脆度较高,而复水性最小,具有较低的感官评价;冻干-热风和膨化-冻干山药片表现出较低的硬脆度及较高的复水比,说明这2种联合干燥加工对山药细胞结构影响最小;冻干-膨化山药片具有较低的体积收缩率和直径收缩率,孔隙率高,硬脆度和复水比适中,表现出较高的感官综合评分及较高的可接受度。因此,冻干-膨化山药片

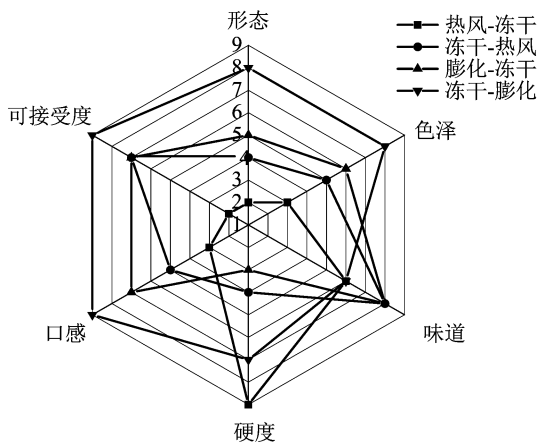


图5 不同联合干燥对山药片感官品质的影响

联合干燥技术可以用于山药片生产,丰富山药加工产品种类,为山药干燥产业提供一定的数据支撑。

## 参考文献:

- [1] 李琳琳. 脉冲喷动协同微波冷冻干燥山药的品质与能耗减损研究[D]. 无锡:江南大学,2019.
- [2] 李定金. 山药片的干燥特性研究及其风味脆片的研制[D]. 大连:大连工业大学,2018.
- [3] 任广跃,任丽影,张伟,等. 正交试验优化怀山药微波辅助真空冷冻干燥工艺[J]. 食品科学,2015,36(12):12-16.
- [4] 孟建升,蒋俊春,郑志安,等. 3种干燥方式对山药片干燥动力学和品质的影响[J]. 中草药,2019,50(11):2575-2582.
- [5] 聂希瑞,郭元照,秦文. 不同干燥方式对山药全粉品质的影响[J]. 食品与发酵科技,2017,53(4):27-31,44.
- [6] 王海鸥,扶庆权,陈守江,等. 不同真空冷冻干燥方法对杏鲍菇片干燥特性及品质的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(4):904-912.
- [7] 黄略略,乔方,叶晓梦,等. 不同干燥方式对铁棍山药品质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(11):1210-1215.
- [8] 杨瑞丽,刘斌,关文强,等. 山药片3种不同干燥方式的比较[J]. 食品科技,2013,38(9):65-67.
- [9] Zielinska M, Sadowski P, Blaszcak W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)[J]. LWT-Food Science and Technology,2015,62(1):555-563.
- [10] 秦影,汤海青,欧昌荣,等. 超高压处理对大黄鱼糜水分状态 and 蛋白质结构的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(23):246-252.
- [11] 魏秋羽. 芋头脆片热风联合真空微波干燥研究[D]. 南京:南京师范大学,2016.
- [12] 狄建兵,李泽珍,李春芳. 山药真空干燥工艺的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2013,33(2):126-129.
- [13] 郭金龙,陈有君,孙国琴,等. 苯酚-硫酸法测定杏鲍菇多糖方法的研究[J]. 食品科学,2008,29(12):555-558.
- [14] 刘春菊,王海鸥,李大婧,等. 干燥方式对黄秋葵茶品质及体外抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报,2018,34(4):913-920.
- [15] 陆学中,刘亚男,张德榜,等. 高湿预处理对怀山药热风干燥特性及复水性的影响[J]. 食品与机械,2017,33(11):147-151,183.