

不同烘制预处理方式下裸仁南瓜籽烘烤工艺的比较

刘战霞, 吴宏*, 郭慧静, 李斌斌, 吴洪斌, 贾文婷, 杨慧*

(新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆石河子 832000)

摘要: 为探究不同烘制预处理方式下对裸仁南瓜籽烘烤工艺的影响, 对裸仁南瓜籽进行晒干 (Sun Dried Unroasted, SDU)、湿盐烤 (Wet Salted Roasted, WSR)、干盐烤 (Dry Salted Roasted, DSR)、无盐烤 (Unsalted Roasted, US) 4 种不同烘制预处理后, 测定并分析烘烤南瓜籽的基本成分、色泽、质构、电子鼻和气味感官评价、脂肪酸、矿物质、总酚和生育酚、抗氧化活性的含量。结果表明: 湿盐烤预处理条件下, 基本营养成分保留效果最佳, 总脂肪酸含量达 99.46 mg/100 g, 不饱和脂肪酸占比 79.50%; 五种矿物质总含量达到 203.96 mg/100 g, 总酚和生育酚含量分别为 2.65、11.65 mg/g; OH、DPPH 和 ABTS⁺ 清除率分别为 55.36%、69.25% 和 85.12%, 均显著高于其他处理组 ($p < 0.05$)。综上所述, 湿盐浸是裸仁南瓜籽烘制过程的一个重要步骤, 湿盐烤工艺为最适宜的南瓜籽烘烤预处理方式。因此, 湿盐烤制的裸仁南瓜籽可制成感官品质优、风味好、抗氧化能力强的植物蛋白食品。

关键词: 预处理; 裸仁南瓜籽; 加工工艺; 抗氧化特性

文章编号: 1673-9078(2023)01-213-221

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.1.0280

Comparison of Roasting Process of Naked Pumpkin Seeds under Different Roasting Pretreatment Methods

LIU Zhanxia, WU Hong, GUO Huijing, LI Binbin, WU Hongbin, JIA Wenting, YANG Hui*

(Institute of Agricultural Products Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China)

Abstract: To explore the effect of different baking pretreatment methods on the roasting process of naked pumpkin seeds, the basic components; color; texture; sensory evaluation by electronic nose; fatty acid, mineral, total phenol, and tocopherol contents; and antioxidant activity of roasted pumpkin seeds were assessed after four different types of roasting pretreatments: sun dried unroasted, wet salted roasted, dry salted-roasted, and unsalted-roasted. The results showed that wet salted roasting pretreatment retained the highest levels of basic nutrients in pumpkin seeds, with a total fatty acid content of 99.46 mg/100 g. Unsaturated fatty acid content accounted for 79.50%. The total contents of five minerals reached 203.96 mg/100 g, and the total phenol and tocopherol contents were 2.65 and 11.65 mg/g, respectively; OH, DPPH, and ABTS⁺ clearance rates were 55.36%, 69.25%, and 85.12%, respectively, which were significantly higher than those in the other treatment groups ($p < 0.05$). Thus, wet salt soaking is an important step and most suitable pretreatment method for roasting pumpkin seeds. Therefore, the naked pumpkin seeds roasted with wet salt can be incorporated into vegetable protein food with good sensory qualities, good flavor, and a strong antioxidant capacity.

Key words: pretreatment; naked pumpkin seed; processing technology; antioxidant property

引文格式:

刘战霞, 吴宏, 郭慧静, 等. 不同烘制预处理方式下裸仁南瓜籽烘烤工艺的比较[J]. 现代食品科技, 2023, 39(1): 213-221

LIU Zhanxia, WU Hong, GUO Huijing, et al. Comparison of roasting process of naked pumpkin seeds under different roasting pretreatment methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 213-221

收稿日期: 2022-03-14

基金项目: 新疆生产建设兵团重点领域科技攻关计划项目 (2019AB027); 新疆兵团第十师北屯市科技计划项目; 新疆生产建设兵团科技合作计划 (2021BC007)

作者简介: 刘战霞 (1992-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 果蔬加工与副产物利用, E-mail: 806796383@qq.com

通讯作者: 吴宏 (1966-) 女, 研究员, 研究方向: 果蔬加工与副产物综合利用, E-mail: 1220112637@qq.com, 共同通讯作者: 杨慧 (1986-) 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果蔬加工与副产物利用, E-mail: 517586505@qq.com

籽用南瓜 (Cucurbitaceae) 是葫芦科植物的重要组成部分, 是遗传和形态上最为多样的南瓜品种, 可分为无壳南瓜 (又称“裸瓜”) 和带壳南瓜^[1,2]。南瓜籽因其蛋白质 (24%~37%), 脂肪 (36%~50%) 和多种生物活性物质 (植物甾醇、矿物质和维生素等) 的含量异常高而闻名, 因此被认为是一种优质的植物蛋白资源和极具营养保健作用的功能性食品或药物^[3,4]。南瓜籽的制备方法主要有炒制和烘烤, 炒制是南瓜籽的传统加工方式, 然而炒制加工过程极易发生油脂氧化酸败, 导致品质下降, 成品价格下跌^[5,6]。相比炒制型南瓜籽, 烘烤型南瓜籽的储藏时间较长, 还会产生具有抗氧化活性的产物, 如多酚类、维生素 E 等^[7]。

烘制的预处理方式是一个重要步骤, 确定在烘烤过程之前对种子进行不同预处理对南瓜籽品质的影响极其重要。目前烘制南瓜籽预处理的常用方式有微波预处理和酶解等^[8,9]。孔凡等^[10]研究了适当的微波预处理可以显著增加南瓜籽油中油脂伴随物含量, 提高油脂的氧化稳定性和抗氧化能力。杨蕾等^[11]研究了烘烤对香榧品质的影响, 表明盐作为添加剂, 通过浸泡的方式进入到种子的内部, 不仅可以改善食品的风味, 还可以延长食品的储藏时间。Aktaş 等^[12]研究发现采用连续多次的湿盐法腌制和烘烤工艺, 最大限度地保持南瓜籽及其油脂的质量标准和抗氧化特性。目前, 不同烘制预处理方式研究大多集中于对南瓜籽油的品质的影响, 对于裸仁南瓜籽烘烤工艺的比较的相关研究报道甚少。

基于此, 本研究对南瓜籽进行晒干 (Sun Dried Unroasted, SDU)、湿盐烤 (Wet Salted Roasted, WSR)、干盐烤 (Dry Salted Roasted, DSR)、无盐烤 (Unsalted-Roasted, US) 4 种不同预处理, 测定并分析不同烘烤预处理方式对南瓜籽及其油的品质和抗氧化特性的影响。本研究旨在探讨烘烤加工工艺预处理方式对裸仁南瓜籽的加工效果, 以期获得理化和功能性较好的裸仁南瓜籽加工工艺。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“塞外明珠”品种籽用南瓜为实验材料, 采自第十师北屯市新疆海川三新食品有限公司有机南瓜基地, 需要挑选成熟度良好、个体大小均匀的南瓜籽作为实验材料。清洗后并分成四份, 每份 1 kg, 存放于 15 °C 室温下备用。

1.2 仪器与设备

多层空气对流烘烤炉, 上海喆钛机械制造有限公司; 高

效液相色谱仪, 惠州市华高仪器设备有限公司; CR-400 柯尼卡美能达色度计, 宁波精驰计量仪器设备有限公司; Mars 电感耦合等离子体质谱仪, 美国 PE 公司; TA-XT2i 型质构仪, 宁波精驰计量仪器设备有限公司。

1.3 方法

参照 Aktaş 等^[12]的方法, 略作修改。(1) 晒干 (Sun Dried Unroasted, SDU): 在 10 月份晒干, 测定裸仁南瓜籽的水分含量为 4.50% ± 0.20%, 然后装入聚乙烯袋中并在 15 °C 下储存备用; (2) 湿盐烤 (Wet Salted Roasted, WSR): 在裸仁南瓜籽中加入 3% 的水并搅拌, 然后再加入 5% 的盐并再次充分搅拌以确保分布均匀。然后, 混合物在 175 °C 的多层空气对流烘烤炉中烘烤 15 min, 将种子装入聚乙烯袋中, 在 15 °C 条件下保存;

(3) 干盐烤 (Dry Salted Roasted, DSR): 加入 5% 的盐 (m/m) 并再次充分搅拌以确保均匀分布。然后, 混合物在 175 °C 的多层空气对流烘烤炉中烘烤 15 min, 将种子装入聚乙烯袋中, 在 15 °C 条件下保存; (4) 无盐烤 (Unsalted Roasted, US): 将 3% 的水加入裸仁南瓜籽中搅拌均匀, 然后, 混合物在 175 °C 的多层空气对流烘烤炉中烘烤 15 min, 将种子装入聚乙烯袋中, 在 15 °C 条件下保存。

1.4 测定方法

1.4.1 基本营养指标测定

水分检测: GB 5009.3-2010; 灰分测定: GB 5009.4-2010; 粗蛋白测定: GB/T 5009.5-2010; 膳食纤维成分检测: GB/T 5009.88-2003; 粗油脂检测: GB/T 5009.6-2003; 还原糖含量的测定: GB/T 5009.7-2016; 淀粉含量的测定: GB 5009.9-2016。

1.4.2 色泽的测定

以生裸仁南瓜籽为对照, 用色差仪对各方式下的裸仁南瓜籽样品进行色差测量。在相同自然灯光条件下, 使用色差仪测定样品的红绿度 (a^*), 黄蓝度 (b^*), 亮度 (L^*), 每次测量前使用白板校准, 测定, 重复 3 次。

1.4.3 硬度及脆度的测定

参考杜茜茜等^[13]的方法, 采用 TA-XT2i 型质构仪对不同烘制预处理方式裸仁南瓜籽进行硬度和脆度测定。测试参数为: 触发力 5 g, 测试前速率 3.0 mm/s, 测试速率 2 mm/s, 测试后速率为 10.0 mm/s, 测试距离为 8.0 mm。每种裸仁南瓜籽样品测试 6 次, 取平均值。

1.4.4 电子鼻检测

参考马有川等^[14]的方法略作修改, 南瓜籽研磨后, 将 1 g 的南瓜籽放入 10 mL 的离心管中。加盖密封, 顶空平衡 30 min, 在测量阶段, 以 300 mL/min 的速

度泵入传感器阵列,测量阶段持续 120 s。为减少实验误差,将环境温度保持在 25 °C。电子鼻传感器对应的敏感物质见表 1。

表 1 电子鼻传感器阵列及其性能

Table 1 Electronic nose sensor array and its performance

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对芳香成分灵敏
4	W6S	对氢气灵敏
5	W5C	对芳香成分灵敏
6	W1S	对烃类敏感
7	W1W	对硫化物和萜烯类灵敏
8	W2S	对乙醇和部分芳香成分灵敏
9	W2W	对有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃灵敏

1.4.5 感官评价

感官评价组由 10 名具有较强专业背景的师生组成,分别对不同烘制预处理方式下烘烤南瓜籽的香气进行模糊评价。

表 2 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的香气感官评价

Table 2 Aroma sensory evaluation of naked pumpkin seeds with different pretreatment and roasting processes

分值	香气
90~100	香气浓郁
80~90	香气较浓郁
70~80	有香气
60~70	香气较淡
<60	无香气

1.4.6 脂肪酸组成测定

参照 Syed 等^[15]的方法,分别将烘制南瓜籽粉碎,取 100 g 样品按料液比 1:10 加入石油醚浸提 24 h,经旋转蒸发后得南瓜籽油,4 °C 冷藏,备用。参试样品甲酯化后,经 GC-MS 解析,利用 37 种脂肪酸甲酯混合标准品判断各峰对应的脂肪酸,所得组分结合质谱图及其保留指数定性(取匹配度大于 80 的鉴定结果),结合峰面积归一法计算其相对含量。

1.4.7 南瓜籽矿物质含量测定

参照梁水连等^[16]的方法,略作修改,准确称取 0.5 g 样品于 5 mL 浓硫酸、2 mL 过氧化氢的微波消解罐中,进行消解反应。冷却后转移到 25 mL 容量瓶中,加超纯水定容,混匀备用。每个样品制备平行样,同时制备试剂空白实验。根据 GB 2760-2017《食品安全国家标准食品添加剂使用标准》中的方法进行南瓜籽矿物质含量测定。

1.4.8 维生素 E 含量测定

南瓜籽研磨成粉,准确称取 10 g 样品于 150 mL 圆底烧瓶中,用 $\varphi=70\%$ 乙醇溶液在 30 °C 下萃取 40 min,重复 3 次。5 000 r/min 离心 15 min 后,取上清液于 55 °C 条件下蒸发至干,浓缩物用无水乙醇溶解并定容至 25 mL,并保留残留物。参照国标维生素 E 的测定方法采用高效液相色谱分析。

1.4.9 总酚含量测定

根据宋悦等^[17]提取南瓜籽的总酚类化合物,略作修改。提取:采用福林-酚比色法进行总酚含量测定,称取 1 g 南瓜籽样品加入 30 mL $\varphi=70\%$ 乙醇溶液,超声提取 90 min,经 10 000 r/min 离心 5 min 后,取上清液,重复上述提取 3 次,样液待用。测定:取试样提取液,稀释 10~20 倍。再取制备好的样品稀释液 1.00 mL 于 25 mL 刻度试管中,加入 6.00 mL 去离子水,1.0 mol/L Folin-Phenol 试剂 1.00 mL,摇匀,放置 6 min,再各加入 10.6% 的碳酸钠溶液 4.00 mL,摇匀,室温静置 60 min,用去离子水稀释至刻度,摇匀,在 760 nm 处测定吸光度。标准曲线:使用没食子酸作为标准品,以 70% 乙醇溶液为空白对照,绘制标准曲线,曲线方程为 $y=0.0085x+0.7128$,相关系数 $R^2=0.9972$ 。

1.4.10 抗氧化性测定

1.4.10.1 提取液制备

参照总酚提取方法稍作修改。南瓜籽研磨成粉,准确称取 2 g 样品于具塞试管中,加入 70% 乙醇溶液 10 mL,超声波萃取 90 min,5 000 r/min 离心 10 min 后,取上清液,重复 3 次,合并上清液备用。

1.4.10.2 DPPH 清除活性的测定

参照黎云龙^[18]的方法略作修改。在反应体系中加入待测液 3 mL 和 5 mmol DPPH 乙醇溶液 5 mL,混匀,室温静置 30 min,以 5 mL 无水乙醇和 3 mL 蒸馏水的混合液为参比,测定 517 nm 处吸光度,并按式

(1) 计算 DPPH 清除率(记为 D ,%)。

$$D = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A_0 —空白液的吸光度;

A_1 —样品液的吸光度。

1.4.10.3 ABTS⁺ 清除能力测定

参照黎云龙^[18]的方法。将 7 mmol/L 的 ABTS⁺ 水溶液与 2.45 mmol/L 的过硫酸钾水溶液在暗处反应 16 h,得到 ABTS⁺ 离子液;使用前将离子液在 734 nm 波长处的吸光度调整为 0.700 ± 0.02 ,30 °C 条件下平衡 30 min;取 2.0 mL ABTS⁺,加入 0.2 mL 待测样品,室温混匀反应 20 min 后,于 734 nm 波长处测定吸光

度。ABTS⁺清除率(记为*F*, %)计算见式(2)。

$$F = \frac{A_2 - A_3}{A_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

*A*₂——空白液的吸光度;

*A*₃——样品液的吸光度。

1.4.10.4 OH清除能力的测定

参照王天梅^[19]的方法略作修改。向试管中分别加入6 mmol/L的FeSO₄溶液、6 mmol/L的H₂O₂溶液、6 mmol/L的水杨酸和待测液各2 mL, 37 °C反应1 h, 测定517 nm处吸光度, 并按式(3)计算OH清除率(记为*B*, %)。

$$B = \frac{A_4 - A_5}{A_4} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

*A*₄——空白液的吸光度;

*A*₅——样品液的吸光度。

1.5 数据分析

统计学分析本研究采用随机区组设计, 设3个重复。所得数据采用SPSS Statistics 21软件程序进行方差分析, 均值比较采用Duncan检验。采用Origin 2021软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的基本成分分析

南瓜籽仁是一种优质的植物蛋白资源^[20]。不同预处理烘烤工艺南瓜籽的水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白质、粗纤维、淀粉、可溶性还原糖、不饱和脂肪酸见

表3。由表3可以看出, 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的基本营养成分营养成分保留较好的依次为: 湿盐烤(WSR) > 干盐烤(DSR) > 无盐烤(US) > 晒干(SDU)。湿盐烤(WSR)工艺下的水分、粗脂肪、粗蛋白质、不饱和脂肪酸显著高于其他预处理烘烤工艺(*p* < 0.05)。在烘烤过程之前对种子进行不同预处理对南瓜籽及其油脂特性的影响极其重要。晒干(SDU)工艺下的水分、粗脂肪、粗蛋白质显著低于其他预处理烘烤工艺(*p* < 0.05), 主要是由于南瓜籽在晒干过程中不能从外界吸收无机盐, 脂肪和蛋白质含量最低, 灰分的相对含量增加, 这与付家园等^[8]研究的烘烤处理南瓜籽品质结果相一致。结果表明, 湿盐烤(WSR)处理对瓜籽的基本营养成分保留效果最佳, 是防止烘烤过程中发生氧化的有效方法。

2.2 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽色泽的影响

色泽对市售产品来说至关重要, 决定了产品的感官品质及商品价值。南瓜籽的*L*^{*}、*a*^{*}和*b*^{*}值如表2所示。如表4所示, 烘烤过程导致亮度下降(*L*^{*}值较低)(*p* < 0.05)。正*a*^{*}值表示红色, 在烘烤前从湿盐渍南瓜籽*a*^{*}值更高(*p* < 0.05)。另一方面, 正*b*^{*}值表示黄色强度, 一般来说, 烤制样品的黄色强度较高(*p* < 0.05)。湿盐烤(WSR)预处理烘烤工艺*L*^{*}、*a*^{*}和*b*^{*}值分别为9.48, -13.48和2.65。但与湿盐烤(WSR)预处理不同, 晒干(SDU)方式下南瓜籽中发生了褐变, 其主要表现为亮度下降, 色泽发白, 黄色变浅。这说明与晒干(SDU)和无盐烤(US)相比, 经过湿/干盐烤预处理后的南瓜籽颜色较亮, 这可能是由于盐浸预处理防止南瓜籽细胞结构的破坏, 这与宋悦等^[17]对于不同预处理对热风干燥及真空冷冻干燥黄桃片色泽的影响研究相一致。结果表明, 从色泽角度考虑, 盐烤(WSR)处理对瓜籽的色泽保留效果最佳。

表3 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的基本成分分析

Table 3 Analysis of basic components of naked pumpkin seeds with different pretreatment and roasting processes

质量分数(干基)	不同预处理工艺			
	晒干(SDU)	湿盐烤(WSR)	干盐烤(DSR)	无盐烤(US)
水分/%	4.53±0.03 ^b	4.56±0.04 ^b	4.51±0.01 ^b	4.86±0.02 ^a
灰分/%	4.30±0.13 ^a	4.14±0.05 ^b	3.53±0.02 ^d	3.84±0.13 ^c
粗脂肪/%	41.36±0.15 ^b	42.81±0.19 ^a	40.15±0.25 ^d	40.51±0.12 ^c
粗蛋白质/%	34.26±0.10 ^c	35.24±0.12 ^a	33.55±0.11 ^d	32.54±0.42 ^b
粗纤维/%	16.30±0.11 ^a	16.04±0.14 ^b	14.51±0.10 ^c	15.44±0.06 ^d
不饱和脂肪酸/%	82.60±0.51 ^d	90.25±0.42 ^a	87.41±0.15 ^b	85.55±0.13 ^c
可溶性还原糖/(mg/100 g)	35.60±0.26 ^a	35.70±0.25 ^a	34.00±0.21 ^c	34.80±0.32 ^b
淀粉/(mg/100 g)	10.71±0.03 ^b	10.85±0.03 ^a	10.82±0.06 ^a	10.86±0.08 ^a

注: 同行不同小写字母代表样品间存在显著差异(*p* < 0.05)。表4~6同。

表 4 不同预处理烘烤工艺对南瓜切片色泽的影响

Table 4 Effects of different pretreatment and roasting processes on color of pumpkin slices

样品	颜色		
	L*	a*	b*
晒干 (SDU)	9.55±0.16 ^a	-7.52±0.22 ^d	1.86±0.03 ^d
湿盐烤 (WSR)	9.48±0.25 ^a	-13.48±0.53 ^a	2.65±0.02 ^b
干盐烤 (DSR)	8.36±0.16 ^b	-11.55±0.2 ^b	2.36±0.01 ^c
无盐烤 (US)	8.47±0.15 ^b	-11.18±0.53 ^c	2.86±0.02 ^a

2.3 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽硬度和脆度分析

硬度和脆度反映了南瓜籽的食用口感,硬度越小、脆度越大的南瓜籽产品感官评价越好。从图 1 可以看出,SDU(晒干)处理下南瓜籽硬度较大,脆性较差,而 WSR(湿盐烤)南瓜籽硬度较低,脆性相对较好。WSR 和 DSR 处理组的南瓜籽脆性不存在显著性差异 ($p>0.05$)。经过 WSR 和 DSR 处理后,南瓜籽硬度均有所增加,这主要是南瓜籽在加入水和盐后,在水和盐的混合物中保存过夜,添加的水将有足够的时间渗透过夜,种子吸收了更多的水分,最大程度保持了原有形状,硬度小^[21]。对比不同处理组,WSR、DSR 和 US 处理组南瓜籽硬度最适中,3 个不同处理组间脆性差异不显著 ($p>0.05$)。经过 WSR、DSR 处理后,黄桃片的脆度均显著增加 ($p<0.05$)。但经过 WSR、DSR 处理后的南瓜籽脆度略高于 US 处理组,这可能是由于增加的固形物导致烘烤样品结构变坚固以及弹性降低,使得 WSR 及 DSR 处理后南瓜籽脆度增加。综合以上结果,从质构角度看,湿盐法是保持裸仁南瓜籽酥脆度的有效方法。

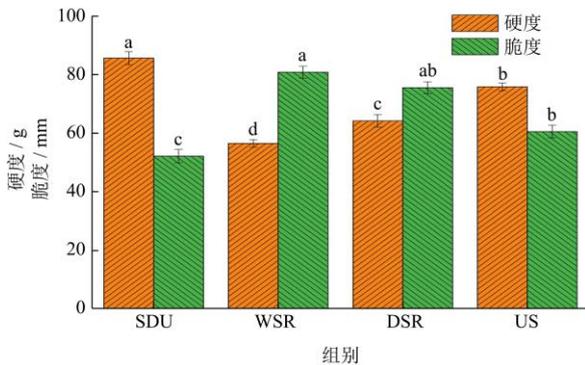


图 1 4 种预处理烘烤工艺对裸仁南瓜籽硬度和脆度的影响

Fig.1 Effects of four pretreatment and roasting processes on the texture of naked pumpkin seeds

注: WSR(湿盐烤); DSR(干盐烤); US(无盐烤); SDU(晒干)。小写字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。

2.4 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的电子鼻和气味感官评价分析

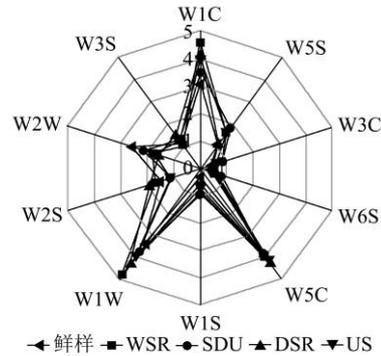


图 2 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽电子鼻传感器响应值雷达图

Fig.2 Radar map of sensor response value of electronic nose sensor of naked pumpkin seeds with different pretreatment and roasting processes

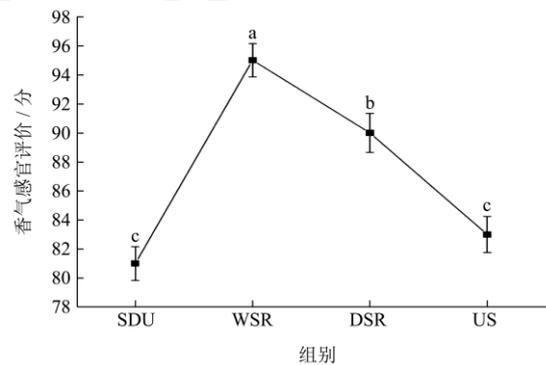


图 3 4 种预处理烘烤工艺对裸仁南瓜籽香气感官评价的影响

Fig.3 Effects of four pretreatment and roasting processes on sensory evaluation of odor of naked pumpkin seeds

电子鼻是一种模拟人类嗅觉系统的分析仪器^[22],是一种无损的方法,其检测过程简单、快速。雷达图可直观地表征不同处理气味的差异性。各传感器的响应特性如表 1 所示。如图 2 为不同预处理烘烤工艺后经过标准化处理的裸仁南瓜籽电子鼻响应值雷达图,由图可知,在烘烤南瓜籽样品检测过程中,W1C、W1W 和 W5C 传感器较敏感,并且,不同烘烤南瓜籽样品的 W1C、W1W 和 W5C 响应值存在显著差异,说明不同烘烤南瓜籽样品的芳香类和萜烯类物质含量存在显著差异。对比不同预处理组的气味的差异性,湿盐烤 (WSR) 处理组芳香类和萜烯类物质响应值最高。图 3 显示了 4 种预处理烘烤工艺对裸仁南瓜籽香气感官评价的影响。分析结果表明,对比不同处理组,WSR(湿盐烤)南瓜籽香气最浓郁,经 WSR(湿盐烤)的南瓜籽香气与其他三组存在明显差异,这说明

盐浸处理对南瓜籽气味影响较大。US（无盐烤）处理组与SDU（晒干）处理组的南瓜籽差异不显著。综上所述，根据电子鼻和气味感官评价指标，表明湿盐法烘烤工艺更有利于保留南瓜籽的特征香气。

2.5 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽对脂肪酸组成的影响

样品甲酯化后，经GC-MS解析，所得组分结合质谱图及其保留指数定性，以峰面积归一法定量，鉴定出不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽脂肪酸组成和相对含量见表5。目前研究表明，不饱和脂肪酸有降血脂、抗血栓、降血压等作用，南瓜籽油是富含不饱和脂肪酸的高级食用油，南瓜籽脂肪酸构成以油酸和亚油酸为主^[23]。由表5可以看出，晒干（SDU）处理组的南瓜籽总脂肪酸含量低于烘烤的南瓜籽（ $p<0.05$ ），含量为83.81 mg/100 g，湿盐烤（WSR）处理组的南瓜籽总脂肪酸含量达99.46 mg/100 g，显著高于晒干（SDU）及干盐烤（DSR）和无盐烤（US）处理组（ $p<0.05$ ），这与陈田等^[24]的研究结果一致，这说明在湿盐烘烤过程中，湿盐处理对脂肪酸具有较

好的保护作用。对比不同预处理组的脂肪酸含量，湿盐烤（WSR）处理组效果最佳。

2.6 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽矿物质含量的影响

南瓜籽的矿物质含量见表6。矿物质对维持人体正常的代谢与生理功能有着非常重要的作用，南瓜籽中含有丰富的人体健康所必需的微量营养素^[25]。由表6可知，南瓜籽仁含有丰富的矿物质元素，其中K的含量最高，达到155.84 mg/100 g；不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽矿物质含量的影响存在显著差异。可以看出，湿盐烤（WSR）工艺裸仁南瓜籽中的钾、镁、钙、磷、锌含量分别为155.84、8.62、16.74、25.56、5.35 mg/100 g，其含量均高于其他处理组的矿物质的含量。相比其他三组处理，湿盐烤（WSR）南瓜籽的矿物质含量均有不同程度的降低，可能是由于湿盐渗透处理保留了南瓜籽较多的水分损失，进而减少了矿物质的流失。结果表明，湿盐法是保持裸仁南瓜籽矿物质含量的有效方法。

表5 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽对脂肪酸组成的影响

Table 5 Effects of nude pumpkin seeds with different pretreatment and roasting processes on fatty acid composition

名称 (mg/100 g)	不同预处理工艺			
	晒干 (SDU)	湿盐烤 (WSR)	干盐烤 (DSR)	无盐烤 (US)
油酸 18:1	30.36±0.14 ^c	35.23±0.04 ^a	35.06±0.02 ^{ab}	33.27±0.08 ^b
亚油酸 18:2	39.28±0.06 ^c	43.66±0.11 ^a	41.87±0.15 ^b	41.06±0.17 ^b
亚麻酸 18:3	0.11±0.02 ^c	0.18±0.04 ^a	0.14±0.03 ^b	0.12±0.04 ^c
棕榈酸 16:0	11.41±0.14 ^d	12.67±0.12 ^a	12.43±0.11 ^b	12.25±0.14 ^c
硬脂酸 18:0	6.34±0.11 ^d	7.36±0.07 ^a	6.73±0.04 ^b	6.59±0.06 ^c
花生酸 20:0	0.31±0.05 ^c	0.36±0.10 ^a	0.33±0.11 ^b	0.28±0.11 ^d
总脂肪酸含量	83.81±0.10 ^d	99.46±0.11 ^a	94.56±0.16 ^b	88.57±0.15 ^c
不饱和脂肪酸的占比/%	78.45	79.50	79.39	78.41

表6 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽对矿物质含量的影响

Table 6 Effects of nude pumpkin seeds with different pretreatment and roasting processes on mineral content

名称 (mg/100 g)	不同预处理工艺			
	晒干 (SDU)	湿盐烤 (WSR)	干盐烤 (DSR)	无盐烤 (US)
Mg	8.05±0.11 ^c	8.62±0.22 ^a	8.30±0.14 ^b	8.26±0.13 ^b
Ca	14.63±0.09 ^d	16.74±0.15 ^a	15.53±0.24 ^b	15.14±0.10 ^c
K	140.24±0.21 ^b	155.84±0.34 ^a	141.34±0.11 ^b	139.64±0.24 ^c
Na	0.69±0.03 ^c	0.85±0.16 ^a	0.77±0.03 ^b	0.76±0.07 ^b
P	20.55±0.16 ^d	25.56±0.12 ^a	22.64±0.23 ^b	22.14±0.15 ^c
Zn	5.06±0.15 ^c	5.35±0.14 ^a	5.24±0.06 ^b	5.21±0.11 ^b
总量	189.22±0.15 ^c	203.96±0.11 ^a	193.64±0.21 ^b	190.95±0.11 ^c

2.7 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽总酚和生育酚含量的影响

图 4 分别为不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽的总酚和生育酚含量的变化。可以看出不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽总酚和生育酚含量存在显著性差异 ($p < 0.05$)。晒干南瓜籽总酚和生育酚含量分别为 1.25、7.35 mg/g。SDU 处理造成总酚和生育酚含量的降低主要是由于 SDU 处理过程中发生的溶质迁移和水分流失, 进一步造成部分水溶性营养物质的损失^[26]。DSR 处理组的南瓜籽总酚和生育酚含量均高于 SDU 处理组, 这可能是由于添加盐后进而使得 DSR 处理组的总酚和生育酚随着水分的流失而损失较少; 此外, 对比 3 种处理, WSR 处理组的南瓜籽总酚和生育酚含量相对较高, 分别为 2.65、11.65 mg/g, 可能是因为这可能是由于添加的盐渗透后进而使得 DSR 处理组的总酚和生育酚随着水分的流失而损失较少^[27]。因此湿盐烘烤工艺是保持裸仁南瓜籽总酚和生育酚成分的有效方法。

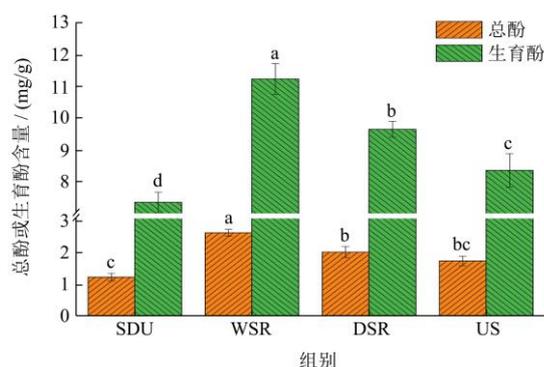


图 4 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽总酚和生育酚含量的影响
Fig.4 Effects of different pretreatment and roasting processes on total phenolic and tocopherol contents in naked pumpkin seeds

注: 不同小写字母代表样品间存在显著差异 ($p < 0.05$)。

2.8 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽抗氧化性的影响

4 种烘烤预处理工艺对裸仁南瓜籽 DPPH 清除率、ABTS⁺ 清除率和 OH 清除率的影响见图 5。由图 5 可知, 不同烘烤预处理工艺较晒干组裸仁南瓜籽 DPPH 清除率有显著影响 ($p < 0.05$)。与晒干组相比 (45.05%), 无盐烤和湿/干盐烤组裸仁南瓜籽 DPPH 的清除能力显著提高 ($p < 0.05$), 分别为 55.15%、69.25% 和 65.53%, 烤制组显著高于晒干组 ($p < 0.05$), 可能是高温处理会加速释放相关清除因子, 提高其利

用度^[28]。与湿盐烤比较, 干盐烤组裸仁南瓜籽 DPPH 清除率略有下降 (65.53%), 并无显著差异, 而无盐烤处理组裸仁南瓜籽 DPPH 清除率 (55.15%) 显著降低 ($p < 0.05$), 可能是因为在水和盐的混合物吸收了更多的水分, 导致抗氧化活性有所降低; 不同烘烤预处理工艺较晒干组对裸仁南瓜籽的 ABTS⁺ 清除率的影响显著不同 ($p < 0.05$), 4 种烘烤预处理工艺对裸仁南瓜籽 ABTS⁺ 清除率整体都较高。湿盐烤和干盐烤组处理的裸仁南瓜籽 ABTS⁺ 清除能力分别为 85.12% 和 75.13%, 显著高于晒干组 (61.04%) ($p < 0.05$), 湿/干盐烤组又显著高于无盐烤组 ($p < 0.05$); 晒干组裸仁南瓜籽 OH 清除率为 40.55%, 与无盐烤组 (40.55%) 相似, 无显著性区别; 干盐烤组裸仁南瓜籽 OH 清除率为 42.32%, 显著低于湿/干盐烤组 ($p < 0.05$); 湿盐烤和干盐烤处理的 OH 清除率分别为 55.36% 和 50.47%, 显著高于干盐烤组 ($p < 0.05$), 整体趋势与总酚变化非常类似。

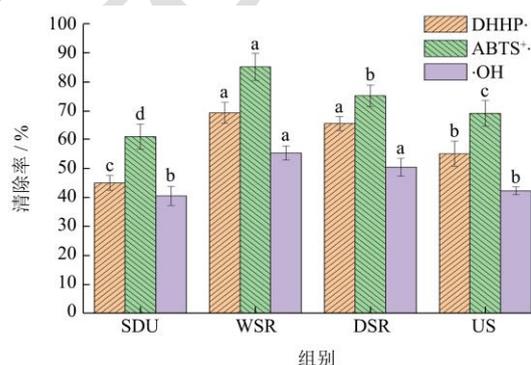


图 5 不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽抗氧化能力的影响
Fig.5 Effects of different pretreatment and roasting processes on the antioxidant capacity of naked pumpkin seeds

注: WSR (湿盐烤); DSR (干盐烤); US (无盐烤); SDU (晒干)。小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.9 抗氧化指标的相关性分析

对 4 种烘烤预处理工艺的裸仁南瓜籽抗氧化能力、总酚含量和自由基清除率进行相关性分析, 分析结果如表 7 所示。由表 7 结果表明, 裸仁南瓜籽的总抗氧化能力与 ABTS⁺ 清除率含量呈极显著相关, 而与总酚、DPPH 清除率和 OH 清除率均呈显著正相关, 表明 4 种烘烤预处理工艺影响裸仁南瓜籽的总酚含量以及各三种自由基清除能力最终影响其总抗氧化能力; 但裸仁南瓜籽中总酚含量与三种自由基清除能力相关性却各不相同, 与 ABTS⁺ 清除率是极显著相关, 与 DPPH 清除率和 OH 清除率显著相关; 裸仁南瓜籽的 3 种自由基清除能力之间, ABTS⁺ 清除率与 DPPH 清除率和 OH 清除率显著相关。

表 7 抗氧化指标的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of antioxidant indexes

项目	总抗氧化能力	总酚	OH 清除率	DPPH 清除率	ABTS ⁺ 清除率
总抗氧化能力	1				
总酚	0.983*	1			
OH 清除率	0.981*	0.951*	1		
DPPH 清除率	0.987*	0.956*	0.951*	1	
ABTS ⁺ 清除率	0.999**	0.999**	0.965*	0.962*	1

注: *表示显著性相关 ($p < 0.05$), **表示极显著相关 ($p < 0.01$)。

3 结论

本实验研究了不同预处理烘烤工艺裸仁南瓜籽对品质的影响。结果表明,南瓜籽经过湿盐处理过夜,然后进行烘烤工艺,南瓜籽及其油的品质和抗氧化性能都保持最好,其中总脂肪酸含量达 99.36 mg/100 g,五种矿物质总含量达到 201.96 mg/100 g,总酚和生育酚含量分别为 2.65、11.65 mg/g。经过湿盐处理后,南瓜籽酥脆度最佳、芳香类和萜烯类物质响应值最高。因此,湿盐浸是南瓜籽烘制过程的一个重要步骤,确定在烘烤过程之前对种子进行湿盐处理对南瓜籽品质的影响也极其重要。此外,通过对抗氧化能力、总酚含量、自由基清除率的测定,表明湿盐烤和的裸仁南瓜籽中抗氧化能力显著高于晒干、干盐烤和无盐烤预处理加工的裸仁南瓜籽,干盐烤和无盐烤之间区别不显著;进一步分析 4 种裸仁南瓜籽中抗氧化能力与自由基清除能力的相关性,表明裸仁南瓜籽的总抗氧化能力与 ABTS⁺ 清除率呈极显著相关,而与总酚含量和 DPPH 清除率和 OH 清除率均呈显著正相关;裸仁南瓜籽的 3 种自由基清除能力之间,ABTS⁺ 清除率与 DPPH 清除率和 OH 清除率显著相关。本研究旨在探讨烘烤加工工艺预处理方式对裸仁南瓜籽的加工效果,以期获得理化和功能性较好的裸仁南瓜籽加工工艺。

参考文献

- [1] Wang L, Liu F, Li T, et al. Enzyme assisted extraction, purification and structure analysis of the polysaccharides from naked pumpkin seeds [J]. Applied Sciences, 2018, 8(10): 1866
- [2] Koklu M, Sarigil S, Ozbek O. The use of machine learning methods in classification of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2021, 68(7): 2713-2726
- [3] Dotto J M, Chacha J S. The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: A review [J]. Scientific African, 2020, 10: e00575
- [4] 刘战霞,贾文婷,杨慧,等.南瓜子加工利用研究进展[J].食品与生物技术学报,2022,41(3):1-7
- [5] 郭道远.南瓜子烘炒工艺条件优化及其对微结构、贮藏特性的影响[D].安徽:安徽工程大学,2020
- [6] 冯玉超,于金池,何宇,等.化学动力学法预测炒制南瓜籽的货架期[J].农产品加工,2015,22:16-19
- [7] Peng M, Lu D, Liu J, et al. Effect of roasting on the antioxidant activity, phenolic composition, and nutritional quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds [J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8
- [8] 付家园,吴文标.微波与烤箱烘烤灭酶对新水剂法提取南瓜籽油的影响[J].中国油脂,2022,47(1):4-9
- [9] 杨晨,孔凡,雷芬芬,等.球磨辅助酶解制备南瓜籽 ACE 抑制肽[J].中国油脂,2021,46(9):22-27
- [10] 孔凡,杨晨,雷芬芬,等.微波预处理对压榨南瓜籽油品质的影响[J].中国油脂,2021,46(11):1-6
- [11] 杨蕾,赵获,胡渊渊,等.不同加工方式香榧香气物质和油脂品质的比较分析[J].浙江农林大学学报,2022,39(1):22-31
- [12] Aktaş N, Gerçekaslan K E, Uzlaşır T. The effect of some pre-roasting treatments on quality characteristics of pumpkin seed oil [J]. OCL, 2018, 25(3): A301
- [13] 杜茜茜,易建勇,毕金峰,等.细胞壁多糖对真空冷冻干燥再造型苹果脆片质构的影响[J].中国食品学报,2022,22(1): 144-154
- [14] 马有川,毕金峰,易建勇,等.预干燥方式和水分转换点对真空冷冻联合干燥苹果脆片品质的影响[J].中国食品学报, 2021, 21(9):110-120
- [15] Syed Q A, Akram M, Shukat R. Nutritional and therapeutic importance of the pumpkin seeds [J]. Seed, 2019, 21(2): 15798-15803
- [16] 梁水连,吕岱竹,周若浩,等.香蕉中 5 种矿物质元素含量测定及营养评价[J].食品科学,2019,40(24):241-245
- [17] 宋悦,金鑫,毕金峰,等.超声辅助渗透处理对热风干燥及真空冷冻干燥黄桃片品质的影响[J].食品科学,2020,41(15): 177-185
- [18] 黎云龙,于震宇,郇海燕,等.骏枣多糖提取工艺优化及其抗

- 氧化活性[J].食品科学,2015,36(4):45-49
- [19] 王天梅,王华磊,李丹丹,等.多花黄精非药用部位活性成分及抗氧化性比较[J].食品与机械,2022,38(1):57-60
- [20] 何海艳,刘梦婷,杨爱萍,等.南瓜籽蛋白源血管紧张素转化酶抑制肽的制备及其降血压活性[J].食品科学,2021,42(23):214-220
- [21] 侯皓男,毕金峰,陈芹芹,等.压差闪蒸干燥改善红枣脆片理化和营养品质的研究[J].现代食品科技,2019,35(11):161-169
- [22] Zhu D, Ren X, Wei L, et al. Collaborative analysis on difference of apple fruits flavour using electronic nose and electronic tongue [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 260: 108879
- [23] Shaisundaram V S, Karikalan L, Chandrasekaran M. Experimental investigation on the effect of cerium oxide nanoparticle fuel additives on pumpkin seed oil in CI engine [J]. International Journal of Vehicle Structures & Systems, 2019, 11(3): 255-258
- [24] 陈田,戴思慧,沈鹏原,等.裸仁南瓜籽油活性成分分析及抗氧化能力评价[J].食品与机械,2018,34(10):152-157
- [25] Valdés Garc í A, Beltrán Sanahuja A, Karabagias I K, et al. Effect of frying and roasting processes on the oxidative stability of sunflower seeds (*Helianthus annuus*) under normal and accelerated storage conditions [J]. Foods, 2021, 10(5): 944
- [26] Bozkir H, Rayman E A, Serdar E, et al. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 54: 135-141
- [27] Nyam K L, Tan C P, Lai O M, et al. Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils [J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1396-1403
- [28] 王娟娟,刘丹,李应天,等.5种加工工艺的醋泡黑豆风味和抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2022,38(3):211-218,236