

干燥方式对沙枣花品质和挥发性风味成分的影响

赵金梅, 孙蕊, 巩丽莉, 龚钰雯, 焦扬*, 李彩霞, 颀引引, 后爱林
(河西学院生命科学与工程学院, 甘肃 张掖 734000)

摘要:以新鲜沙枣花为原料, 研究真空冷冻干燥、自然阴干和热风干燥3种干燥方式对沙枣花营养成分、氨基酸组成和挥发性风味成分的影响。结果表明: 不同干燥方式沙枣花中营养成分和挥发性风味成分存在显著差异。热风干燥使沙枣花还原糖、蛋白质和总氨基酸含量显著低于其他2种干燥方式 ($P < 0.05$); 真空冷冻干燥中总氨基酸、总酚含量及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除率显著高于其他2种干燥方式 ($P < 0.05$); 热风干燥对沙枣花呈味氨基酸损耗最大, 使其鲜甜味变淡; 而干燥方式对必需氨基酸组成比例影响不大, 组成比例均较接近人体需要氨基酸的比例; 电子鼻检测发现不同干燥方式沙枣花挥发性风味成分存在差异, 利用电子鼻能较好地对不同干燥方式处理的沙枣花进行区分, 真空冷冻干燥和自然阴干的挥发性风味成分与新鲜花序更为接近。对比不同干燥方式, 沙枣花品质和风味以真空冷冻干燥最佳, 综合分析经济性和干燥效果, 自然阴干也是一种较理想的干燥方式。此研究结果为沙枣花干燥及其下游产品的开发提供理论基础和实践依据。

关键词:干燥方式; 沙枣花; 品质; 电子鼻; 挥发性风味成分

Effects of Different Drying Methods on Nutritional and Volatile Aroma Components in Flowers of *Elaeagnus angustifolia*

ZHAO Jinmei, SUN Rui, GONG Lili, GONG Yuwen, JIAO Yang*, LI Caixia, XIE Yinyin, HOU Ailin
(College of Life Sciences and Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract: The effects of three drying methods including vacuum freeze-drying, natural drying in the shade and hot-air drying were investigated on the nutritional composition, amino acid composition and volatile flavor components of *Elaeagnus angustifolia* flowers. The results indicated that *E. angustifolia* flowers dried by various drying methods demonstrated significant differences in terms of nutritional components and volatile flavor components. Hot-air drying brought about a significant reduction in the contents of reducing sugar, protein and total amino acids in *E. angustifolia* flowers than did the two other drying methods ($P < 0.05$). The contents of total amino acids and total phenols and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity in the vacuum freeze-dried sample were significantly higher than those in the samples dried by the other methods ($P < 0.05$). Hot air drying caused the maximum loss of flavor amino acids in the flowers, thereby lightening the umami and sweet tastes. The proportion of essential amino acids in the flowers, close to that needed by human body, was nearly independent of the drying methods. Electronic nose analysis showed significant differences in volatile flavor components among flower samples dried by different methods. The volatile flavor components of the samples dried by vacuum freeze drying and natural drying were more similar to those of fresh flowers. The vacuum freeze dried sample had the best quality and flavor. Taking into account both economy and drying efficiency, natural drying in the shade was also more suitable for *E. angustifolia* flowers. The results of this study provide a theoretical basis and practice rationale for the development of drying techniques for *E. angustifolia* flowers to develop new products.

Keywords: drying methods; *Elaeagnus angustifolia* flowers; quality; electronic nose; volatile aroma components

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191110-100

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 22-0265-06

收稿日期: 2019-11-10

基金项目: 河西学院青年教师科研基金项目 (QN2019010; QN2018007); 河西学院第十批大学生科技创新活动项目 (006)

第一作者简介: 赵金梅 (1988—) (ORCID: 0000-0001-6169-7348), 女, 硕士, 研究方向为农产品贮藏与食品安全。

E-mail: zhaojinmei100@163.com

*通信作者简介: 焦扬 (1973—) (ORCID: 0000-0001-5996-972X), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为天然产物与食品生物技术。

E-mail: yangjiao2808@163.com

引文格式:

赵金梅, 孙蕊, 巩丽莉, 等. 干燥方式对沙枣花品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(22): 265-270.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191110-100. <http://www.spkx.net.cn>

ZHAO Jinmei, SUN Rui, GONG Lili, et al. Effects of different drying methods on nutritional and volatile aroma components in flowers of *Elaeagnus angustifolia*[J]. Food Science, 2020, 41(22): 265-270. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191110-100. <http://www.spkx.net.cn>

沙枣花为胡颓子科胡颓子属植物沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* L.) 的花, 沙枣生长于海拔1 000~1 500 m的沙漠地区, 是我国西北地区天然野生的防风固沙植物, 其花呈淡黄色, 5~6月份开花, 气味浓郁宜人, 有“飘香沙漠的桂花”之称^[1]。《中国沙漠地区药用植物》记载沙枣花具有止咳平喘的功能, 可用于治疗慢性气管炎、关节炎等疾病^[2], 在民间已有很长的应用历史, 是维吾尔族医常用药材。沙枣花中芳香油占比为0.2%~0.4%, 除药用外也可用于提取高级香精油, 同时还富含黄酮等多酚类功能性成分以及矿物质元素, 有研究报道, 沙枣花醇提物还能够抑制自由基诱导的肝脏脂质过氧化损伤作用, 提高机体清除氧自由基能力^[3-5]。沙枣花作为一种西北特色沙生植物资源亟待合理开发利用, 近年来沙枣花作为原辅料也更多的出现在一些加工食品的研发专利中, 如沙枣花茶、沙枣花粉养生茶、山楂片、饼干、面包以及冰激凌等^[6-10]。

在沙枣花的相关产品开发与研究中, 原料以新鲜花序为主^[14-5], 但沙枣花花期短且新鲜花序难以贮存, 采后易发生各种生理形态变化, 大大降低了其商品价值和食用价值。通过干燥保存并对其进行加工利用可以提高其附加值, 但在干燥过程中, 营养成分及挥发性风味物质易发生变化从而影响品质^[11-12], 且不同干燥方式对产品品质影响差异较大。徐晓飞等^[13]研究发现真空干燥对香菇的品质影响最小。盛金凤等^[14]研究发现60℃热泵干燥综合品质较好, 适合大批量干燥火龙果花。高琦等^[15]发现冷冻干燥山药脆片的综合得分最高, 其香气品质最佳。郭刚军等^[16]研究发现60℃热风干燥对辣木叶营养、功能成分与氨基酸影响最小。挥发性风味是决定沙枣花品质和大众接受度的重要因素, 研究表明^[17]不同加工方式对风味成分种类和相对含量也有影响。电子鼻可以快速准确地检测出不同挥发性风味成分的类型, 对样品间挥发性风味成分差异的研究也非常有效^[18]。

目前关于沙枣花干燥的研究鲜有报道, 更缺少综合比较不同干燥方式对沙枣花营养成分、氨基酸组成、挥发性成分影响的研究报道。为了最大程度保留沙枣花的营养成分与挥发性风味物质, 优选干燥模式, 本实验选择真空冷冻干燥、热风干燥和自然阴干3种方式, 分析其对沙枣花营养成分、氨基酸组成的影响, 采用电子鼻分析其对挥发性风味成分的影响, 以期对沙枣花资源的合理开发和综合利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜沙枣花花序采自甘肃省酒泉市瓜州县锁阳城镇周边, 挑选整理后进行干燥, 之后装入密封袋置于4℃冰箱贮存。干燥前沙枣花初始含水量为(61.16±0.42)%, 3种干燥方式制得样品水分均控制在10%以下。

硫酸钾、硫酸铜、氢氧化钠、氯化钠、石油醚、硼酸、氢氧化钠、乙酸锌、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾、无水碳酸钠、无水乙醇等, 均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

PEN3电子鼻 德国Airsense公司; WGL-230B电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司; L-8800型全自动氨基酸分析仪 日本日立公司; 722型紫外-可见分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司; HD-200型万能粉碎机 上海比朗仪器有限公司; SCIENTZ-100F真空冷冻干燥机 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 干燥方法

真空冷冻干燥: 新鲜沙枣花均匀铺散在托盘上, 冷冻温度-30℃, 冷冻时间4 h, 真空13 Pa, 冷阱温度-60℃, 总运行时间24 h。

热风干燥: 将盛有新鲜沙枣花的物料盘放入恒温鼓风箱, 干燥温度60℃, 干燥时间1 h。

自然阴干: 将盛有新鲜沙枣花的物料盘置于通风室内, 室内温度(24±2)℃, 空气相对湿度(40±2)%, 自然阴干48 h。

1.3.2 相关指标测定

蛋白质含量测定参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》, 采用凯氏定氮法; 氨基酸含量测定参照GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》, 用氨基酸分析仪定性、定量分析其中17种氨基酸; 还原糖含量测定参考GB 5009.7—2016《食品中还原糖的测定》, 采用直接滴定法; 脂肪含量测定参考GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》, 采用索氏抽提法。

1.3.3 总酚的提取与含量测定^[19-20]

采用福林-肖卡法测定沙枣花中的总酚含量。

酚类物质的提取: 称取0.5 g样品粉末, 加入20 mL提

取溶剂(70%乙醇溶液)超声浸提1 h, 3 000 r/min离心10 min, 取上清液, 残渣重复上述方法再提取1次, 合并上清液, 定容至50 mL容量瓶中, 转入50 mL试剂瓶中得酚类物质提取物, 置于4 °C条件下保存。

总酚含量的测定: 称取0.1 g没食子酸, 用蒸馏水溶解, 定容至100 mL, 吸取上述溶液1 mL, 定容至50 mL, 使溶液质量浓度为0.02 mg/mL。分别取0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5 mL和1.8 mL没食子酸标准液, 加入10 mL容量瓶中, 加6 mL水, 摇匀, 再加0.5 mL福林-酚试剂, 充分摇匀, 1 min之后, 加入20%碳酸钠溶液1.5 mL, 混匀, 加蒸馏水补足体积至10 mL, 避光反应60 min后, 于765 nm波长处比色, 测定吸光度, 结果以没食子酸表示, 以没食子酸质量浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 制作标准曲线, 得到回归方程为 $y=0.1184x+0.0066$ ($R^2=0.9991$)。

取待测样品酚类提取物0.5 mL, 按照制作标准曲线方法测定, 在标准曲线上计算出总多酚含量, 换算为每克干燥沙枣花中含有的总多酚量(mg)。

1.3.4 DPPH自由基清除能力测定^[21]

称取12.5 mg 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)溶解到无水甲醇溶液中, 定容到100 mL, 使用时再稀释到25 mg/L, 并现配现用。取1.3.3节酚类物质提取物100 μ L样品加到3.9 mL DPPH-甲醇溶液中, 避光反应30 min后于517 nm波长处测定吸光度, 对照以相同体积的提取溶剂代替样品提取液, 按下式计算DPPH自由基清除率:

$$\text{DPPH自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_x - A_{x_0}}{A_0}\right) \times 100$$

式中: A_x 为加入样品溶液后的吸光度; A_{x_0} 为样品溶液本底的吸光度; A_0 为空白对照液的吸光度。

1.3.5 电子鼻分析检测

准确称取粉碎的各干燥粉末样品1.00 g, 粉碎的新鲜沙枣花花序2.32 g, 分别置于40 mL顶空瓶中加盖密封, 35 °C水浴静置15 min, 使样品香气达到平衡。用电子鼻对其进行测定, 每个样品平行测定3次。

电子鼻参数设置: 样品间隔1 s, 样品准备时间5 s, 测试时间60 s, 传感器清洗时间100 s, 自动调零时间10 s、自动稀释0、内部流量400 mL/min、进样流量400 mL/min。传感信号在40 s后基本稳定, 选定信号采集时间为50~53 s。

1.4 数据处理

采用SPSS 20.0软件进行统计分析, 显著水平($P<0.05$)。用OriginLab 8.0软件作图。

电子鼻数据分析: 运用Winmuster软件对数据进行主成分分析(principal component analysis, PCA)与传感器贡献率分析。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对沙枣花营养成分的影响

表1 不同干燥方式沙枣花营养成分
Table 1 Contents of major nutritional components of *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

干燥方式	蛋白质 质量分数/%	总氨基酸含量/ (mg/g)	总酚含量/ (mg/g)	DPPH自由基 清除率/%	粗脂肪 质量分数/%	还原糖 质量分数/%
真空冷冻干燥	19.21±0.44 ^a	150.73±0.13 ^a	14.25±0.02 ^a	51.67±0.50 ^a	11.93±0.15 ^a	6.69±0.17 ^a
自然阴干	18.89±0.41 ^a	136.78±0.94 ^b	12.08±0.08 ^b	33.59±0.33 ^b	12.23±0.85 ^b	6.20±0.16 ^b
热风干燥	15.68±0.41 ^b	74.98±0.12 ^c	12.16±0.02 ^b	39.18±0.39 ^b	12.23±0.71 ^a	5.78±0.34 ^b

注: 同一指标不同小写字母表示差异显著, ($P<0.05$)。下表同。

对比3种干燥方式下沙枣花中主要营养成分变化, 由表1可知, 各样品中蛋白质、总氨基酸和还原糖含量均为真空冷冻干燥>自然阴干>热风干燥, 其中热风干燥显著低于其他2种干燥方式($P<0.05$); 总酚含量与DPPH自由基清除率为真空冷冻干燥>热风干燥>自然阴干; 3种干燥方式对粗脂肪含量的影响无显著差异($P>0.05$)。

从粗脂肪含量变化幅度看, 干燥方式对其影响较小。蛋白质、总氨基酸和还原糖量变化原因在于不同干燥方式致使沙枣花中各组分产生相互转化以及分解^[14], 可能与干燥过程中蛋白质降解和美拉德反应有关。真空冷冻干燥使沙枣花总酚及DPPH自由基清除率显著高于其他2种干燥方式, 这是由于真空冷冻干燥处理温度低, 有利于多酚类、黄酮类化合物的保存, 而热风干燥则会在一定程度上破坏多酚、黄酮的分子结构以致其含量降低, 此结果与刘露等^[22]研究结果一致。总体来说, 真空冷冻干燥对沙枣花各营养成分的保持最好, 自然阴干次之。

2.2 干燥方式对沙枣花氨基酸含量与组成的影响

2.2.1 不同干燥方式沙枣花氨基酸含量与组成分析

由表2可知, 不同干燥方式沙枣花中均含有常见的17种氨基酸, 且必需氨基酸种类齐全。各类游离氨基酸中含量最高的为天冬氨酸, 其次为谷氨酸、亮氨酸、脯氨酸、丙氨酸, 半胱氨酸和蛋氨酸含量较少。对比不同干燥方式沙枣花中各类游离氨基酸、总氨基酸、总必需氨基酸含量依次为真空冷冻干燥>自然阴干>热风干燥, 不同干燥方式之间差异显著($P<0.05$)。其中热风干燥处理对其损耗最大, 热风干燥总氨基酸含量只有真空冷冻干燥的49.74%。故干燥处理虽然没有明显改变氨基酸组成, 但使各类氨基酸含量发生了变化, 总体来说, 真空冷冻干燥对沙枣花中氨基酸的影响最小。

表2 不同干燥方式沙枣花氨基酸含量与组成

Table 2 Amino acid composition of *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

氨基酸	含量/(mg/g)		
	真空冷冻干燥	自然阴干	热风干燥
天冬氨酸Asp	27.83±0.18 ^a	26.81±0.87 ^a	13.60±0.11 ^b
苏氨酸Thr*	7.41±0.12 ^a	6.56±0.05 ^b	3.80±0.10 ^c
丝氨酸Ser	8.38±0.03 ^a	7.92±0.11 ^b	4.11±0.02 ^c
谷氨酸Glu	21.53±0.08 ^a	18.21±0.02 ^b	8.83±0.07 ^c
甘氨酸Gly	7.33±0.07 ^a	6.62±0.02 ^b	3.34±0.02 ^c
丙氨酸Ala	10.42±0.02 ^a	9.34±0.05 ^b	5.44±0.06 ^c
半胱氨酸Cys	0.60±0.01 ^a	0.47±0.00 ^b	0.27±0.00 ^c
缬氨酸Val*	8.63±0.03 ^a	7.91±0.05 ^b	4.74±0.02 ^c
蛋氨酸Met*	1.99±0.08 ^a	1.90±0.03 ^a	1.24±0.02 ^b
异亮氨酸Ile*	7.59±0.17 ^a	6.83±0.02 ^b	3.87±0.03 ^c
亮氨酸Leu*	12.77±0.08 ^a	11.69±0.06 ^b	6.31±0.12 ^c
酪氨酸Tyr	3.62±0.11 ^a	3.31±0.03 ^b	1.92±0.06 ^c
苯丙氨酸Phe*	7.66±0.08 ^a	7.36±0.05 ^b	4.47±0.07 ^c
赖氨酸Lys*	5.64±0.06 ^a	5.04±0.06 ^b	2.76±0.04 ^c
组氨酸His	3.04±0.02 ^a	2.69±0.08 ^b	1.54±0.05 ^c
精氨酸Arg	4.84±0.01 ^a	4.43±0.05 ^b	2.45±0.05 ^c
脯氨酸Pro	11.45±0.01 ^a	9.68±0.14 ^b	6.27±0.06 ^c
必需氨基酸	51.69±0.12 ^a	47.30±0.06 ^b	27.21±0.13 ^c
总氨基酸	150.73±0.13 ^a	136.78±0.94 ^b	74.98±0.12 ^c

注: *必需氨基酸。

2.2.2 不同干燥方式沙枣花呈味氨基酸组成分析

根据氨基酸呈味特性不同,将其分为鲜味、甜味、芳香族氨基酸等。谷氨酸与天冬氨酸呈现很强的鲜味,甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸和脯氨酸表现出纯厚的甜味,芳香族氨基酸为包括苯丙氨酸和酪氨酸^[23-24]。对不同干燥方式沙枣花呈味氨基酸组成进行分析,结果见表3。

表3 不同干燥方式沙枣花呈味氨基酸组成

Table 3 Flavor amino acid composition of *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

干燥方式	鲜味氨基酸		甜味氨基酸		芳香族氨基酸	
	含量/(mg/g)	相对含量/%	含量/(mg/g)	相对含量/%	含量/(mg/g)	相对含量/%
真空冷冻干燥	49.36	32.77	37.58	24.93	11.28	7.49
自然阴干	45.03	32.53	33.56	24.54	11.06	8.09
热风干燥	22.43	29.92	19.16 ^c	25.56 ^c	6.40	8.53

由表3可知,沙枣花中含有丰富的鲜味氨基酸和甜味氨基酸以及少量的芳香族氨基酸,其中呈现鲜味的天冬氨酸、谷氨酸,呈现甜味的丙氨酸、脯氨酸含量均较高,这些呈味氨基酸共同组成了沙枣花特有的鲜甜味。沙枣花中鲜味氨基酸与甜味氨基酸平均相对含量分别达到31.20%和25.05%,且平均呈味氨基酸总量占氨基酸总量的64.79%,表明沙枣花中呈味氨基酸相对占比较大,沙枣花氨基酸含量的变化将会对其风味产生一定影响。同时,研究发现不同干燥处理沙枣花的各呈味氨基酸含量差异较大,分别为真空冷冻干燥>自然阴干>热

风干燥,热风干燥对沙枣花呈味氨基酸损耗最大,使其鲜甜味变淡,其鲜味氨基酸含量只有真空冷冻干燥的45.44%,真空冷冻干燥对沙枣花中呈味氨基酸的影响较小,沙枣花风味保持最好。

2.2.3 不同干燥方式沙枣花中必需氨基酸组成评价

食物蛋白质营养价值的优劣主要取决于其所含必需氨基酸的种类、数量和组成比例,其组成比例越接近人体需要氨基酸的比例,则质量越优,营养价值越高^[25]。根据不同干燥方式沙枣花中各氨基酸含量,计算出必需氨基酸占总氨基酸的质量分数,并与WHO/FAO标准模式谱^[16,26]进行比较,结果见表4。

表4 不同干燥方式沙枣花中人体必需氨基酸占总氨基酸的质量分数与WHO/FAO标准模式谱比较

Table 4 Ratios of essential amino acids to total amino acids in *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods in comparison with WHO/FAO recommended pattern

必需氨基酸	必需氨基酸占总氨基酸质量分数/%			WHO/FAO标准模式谱
	真空冷冻干燥	自然阴干	热风干燥	
异亮氨酸	5.03	5.00	5.16	4.0
亮氨酸	8.47	8.55	8.42	7.0
赖氨酸	3.74	3.68	3.69	5.5
蛋氨酸+半胱氨酸	1.71	1.74	2.02	3.5
酪氨酸+苯丙氨酸	7.49	7.80	8.53	6.0
苏氨酸	4.92	4.79	5.07	4.0
缬氨酸	5.73	5.79	6.33	5.0
合计	37.09	37.34	39.21	35

由表4可以看出,真空冷冻干燥和自然阴干沙枣花占总氨基酸质量分数最高的是亮氨酸,分别为8.47%和8.55%,其次是酪氨酸+苯丙氨酸,质量分数分别为7.49%和7.80%。在热风干燥沙枣花中酪氨酸+苯丙氨酸相对含量最高(8.53%),其次是亮氨酸(8.42%)。3种干燥方式沙枣花中除赖氨酸与蛋氨酸+胱氨酸以外其他氨基酸含量以及必需氨基酸占比均高于标准模式谱。说明不同干燥方式沙枣花与推荐的人体必需氨基酸相比,必需氨基酸含量丰富且组成比例均较接近人体必需氨基酸的比例,具有一定的营养价值。

2.2.4 氨基酸比值系数法对不同干燥方式沙枣花中蛋白质营养价值的评价

为了更好地阐述沙枣花的营养价值,对比不同干燥方式对其营养价值的影响,采用WHO/FAO提出的评价蛋白质营养价值的必需氨基酸模式,计算样品中必需氨基酸的氨基酸比值(ratio of amino acid, RAA)、氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, RC)和比值系数分(score of ratio coefficient of amino acid, SRC),从而对沙枣花氨基酸进一步分析^[27-28]。

表5 不同干燥方式沙枣花必需氨基酸的RAA、RC、SRC
Table 5 Analysis of RAA, RC and SRC in *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

干燥方式	指标	必需氨基酸							SRC
		异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋氨酸+半胱氨酸	酪氨酸+苯丙氨酸	苏氨酸	缬氨酸	
真空冷冻干燥	RAA	1.26	1.21	0.68	0.49	1.25	1.23	1.15	69.50
	RC	1.21	1.17	0.66	0.47	1.20	1.19	1.10	
自然阴干	RAA	1.25	1.22	0.67	0.50	1.30	1.20	1.20	69.26
	RC	1.20	1.17	0.64	0.48	1.25	1.15	1.15	
热风干燥	RAA	1.29	1.20	0.67	0.58	1.42	1.27	1.27	69.76
	RC	1.17	1.09	0.61	0.53	1.29	1.15	1.15	

由表5可以看出,不同干燥方式沙枣花各种必需氨基酸中,RC最小者为蛋氨酸+半胱氨酸,即第1限制氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸,第2限制性氨基酸为赖氨酸。不同干燥方式沙枣花必需氨基酸的SRC为69.26~69.76,超过薏苡仁(41.25~53.62)^[28]、辣木叶(63.88~67.58)^[16],与大米SRC(70.5)^[29]非常接近。总体来说不同干燥方式沙枣花中各种必需氨基酸的含量较均衡,营养价值较高。

2.3 干燥方式对沙枣花挥发性风味成分的影响

2.3.1 电子鼻对沙枣花芳香特征的响应

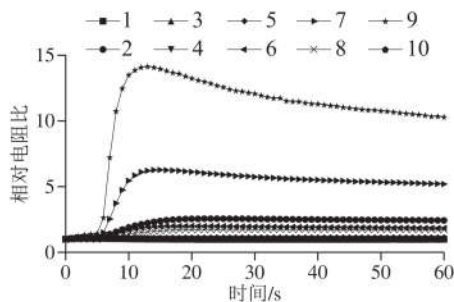


图1 传感器对自然阴干处理的沙枣花挥发性风味成分感应电阻比变化的响应图

Fig. 1 Sensor responses to changes in resistance ratio of volatile aroma components of *E. angustifolia* flowers naturally dried in the shade

从图1可知,刚开始时相对电阻比较低,随着芳香气体不断吸入,该比值迅速增大并达到最大值,随后逐渐趋于平缓,达到稳定的状态。样品在50~53 s之间信号曲线较为平稳,本实验采用稳定状态下50~53 s处的信号作为分析的时间点。由图1可知,电子鼻对沙枣花的挥发性风味成分有明显的响应,并且各传感器对沙枣花的响应各不相同,其中传感器9、7较其他传感器有更高的相对电阻比值。这表明利用电子鼻PEN3系统检测沙枣花的挥发性风味成分可行。

2.3.2 PCA结果

PCA累计贡献率越大,越能反映样品的信息,样品间坐标上距离越大,则差异越大^[30]。通过PCA图可以判定电子鼻是否能区分不同干燥方式处理下沙枣花的香

气。从图2可以看出,第1主成分贡献率为94.28%,第2主成分贡献率为4.28%,总贡献率为98.56%,表明2个主成分能够反映原始数据的信息。且不同样品在PCA图中的分布呈现明显区别,其中新鲜花序与各干燥样品在横轴坐标上均有差异性,说明干燥处理改变了沙枣花挥发性风味物质。真空冷冻干燥与新鲜花序在第1主成分上距离最近,自然阴干与新鲜花序在第2主成分上距离最近,说明真空冷冻干燥和自然阴干的挥发性风味成分与新鲜花序更为接近。而热风干燥与其他干燥处理的样品在第1主成分上距离较大,说明热风干燥样品的挥发性物质与新鲜花序及其他干燥处理的样品差异较大。自然阴干与真空冷冻干燥样品虽然在第1主成分上距离较近,但在第2主成分上则完全可以分开。总体来看,利用PCA使新鲜花序及各干样均能被较好地地区分开,可以达到区分不同沙枣花样品的目的。

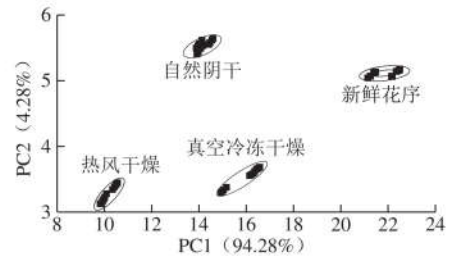


图2 不同干燥方式沙枣花样品的PCA图

Fig. 2 PCA analysis of *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

2.3.3 传感器贡献率分析

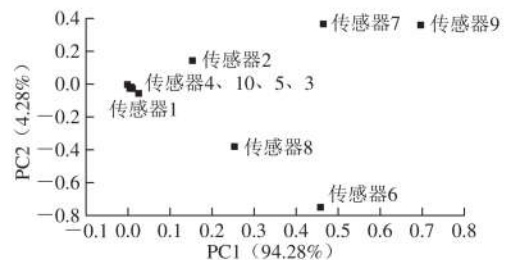


图3 不同干燥方式下沙枣花样品的传感器贡献率分析图

Fig. 3 LA analysis of *E. angustifolia* flowers dried using different drying methods

传感器贡献率分析可以帮助区分当前模式下传感器的相对重要性,如果传感器贡献率越高,则该传感器的识别能力越强^[31]。由图3可知,第1主成分和第2主成分总贡献率为98.56%,表明利用此分析方法可以区分10种传感器对不同干燥方式沙枣花挥发性风味物质的敏感程度。结果表明:9号传感器对第1主成分贡献率最大,7号、6号次之;7号传感器对第2主成分贡献率最大,9号、2号次之;其中9号和7号传感器在第1、2主成分上贡献率都很大,是区别不同干燥方式下沙枣花挥发性物质

的主要传感器。传感器9 (W2W) 对芳香成分, 有机硫化物敏感, 传感器7 (W1W) 对萜烯类、无机硫化物敏感, 传感器6 (W1S) 主要对甲烷类等短链烷烃灵敏, 传感器8 (W2S) 对醇醚醛酮类灵敏。由此说明4种沙枣花的风味差异主要表现在芳香成分、有机硫类、萜烯类和无机硫化物上, 在短链烷烃和醇醚醛酮类上也存在一定差异。

3 结论

真空冷冻干燥、自然阴干和热风干燥后沙枣花中的总酚、DPPH自由基清除率、蛋白质和还原糖含量存在显著差异, 粗脂肪含量差异不显著。对比不同干燥方式, 沙枣花品质以真空冷冻干燥最佳, 自然阴干次之。不同干燥方式对沙枣花氨基酸含量有较大影响, 对必需氨基酸组成比例的影响不大。真空冷冻干燥样品的各类游离氨基酸、总氨基酸、总必需氨基酸和呈味氨基酸含量均最高。不同干燥方式沙枣花必需氨基酸含量丰富且组成比例均较接近人体必需氨基酸的比例, 营养价值较高。电子鼻检测发现不同干燥方式下沙枣花挥发性风味成分存在差异, PCA可以良好区分不同干燥方式。由传感器贡献率分析得出不同干燥方式沙枣花的风味差异主要表现在芳香成分、有机硫类、萜烯类和无机硫化物上, 在短链烷烃和醇醚醛酮类上也存在一定差异。

综合表明, 沙枣花品质和风味以真空冷冻干燥最佳, 但真空冷冻干燥能耗大, 处理量少, 而自然阴干沙枣花品质和风味整体较好, 且设备要求低, 处理量大, 也可以作为一种较理想的干燥方式。干燥后的沙枣花风味较好, 且富含蛋白质、氨基酸和酚类物质, 具有较高开发利用价值。

参考文献:

- 丁嘉文, 陈易彤, 谢晓, 等. 四种不同方法提取沙枣花挥发物的成分分析[J]. 植物科学学报, 2015, 33(1): 116-125. DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2015.10116.
- 张万年, 刘泽鹰, 王哲民. 沙枣树药用价值和有效成分研究的进展[J]. 中草药, 1986, 17(7): 41-44.
- 王基云. 宁夏沙枣花黄酮成分及其抗氧化活性的研究[D]. 银川: 宁夏医科大学, 2010. DOI:10.7666/d.d125935.
- 王雅, 赵坤, 赵萍, 等. 沙枣花精油提取工艺优化及开花周期精油含量质量研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 92-94. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2008.05.012.
- 乔海军, 杨继涛, 杨晰, 等. 沙枣花挥发油化学成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 233-235.
- 郑涛. 沙枣花茶的制备方法: CN1049086[P]. 1991-02-13[2019-11-01]. <http://dbpub.cnki.net/Grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&filename=CN1049086&dbname=SCPD2010&v=>.
- 李国正. 一种高钙冰淇淋及其制备方法: CN104082505A[P]. 2014-10-08[2019-11-01]. <http://dbpub.cnki.net/Grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&filename=CN104082505A&dbname=SCPD2014&v=>.
- 张跃, 陶勇, 邓玉民. 一种麦香果蔬山楂片及其制备方法: CN104026498A[P]. 2014-09-10[2019-11-01]. <http://dbpub.cnki.net/Grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&filename=CN104026498A&dbname=SCPD2014&v=>.
- 秦义山. 一种香芋蜂蜜面包及其制备方法: CN104472616A[P]. 2015-04-01[2019-11-01]. <http://dbpub.cnki.net/Grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&filename=CN104472616A&dbname=SCPD2015&v=>.
- 孟令军, 牛仁立. 一种玫瑰花美容养颜茶及其制备方法: CN104186836A[P]. 2014-12-10[2019-11-01]. <http://dbpub.cnki.net/Grid2008/dbpub/detail.aspx?dbcode=SCPD&filename=CN104186836A&dbname=SCPD2014&v=>.
- GIRI S K, PRASAD S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 512-521. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021.
- 涂宝军, 陈尚龙, 马庆昱, 等. 3种干燥方式对香菇挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 106-110. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201419022.
- 徐晓飞, 向莹, 张小爽, 等. 不同干燥方式对香菇品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 259-261. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.17.037.
- 盛金凤, 李丽, 李昌宝, 等. 不同干燥方式对火龙果花品质特性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 98-103. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2016.02.019.
- 高琦, 张建超, 陈佳男, 等. 基于主成分分析法综合评价4种干燥方式对山药脆片香气品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 175-180. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820026.
- 郭刚军, 胡小静, 徐荣, 等. 干燥方式对辣木叶营养、功能成分及氨基酸组成的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 39-45. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811007.
- 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 25-30. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604005.
- NOGUEROLPATO R, GONZÁLEZÁLVAREZ M, GONZÁLEZBARREIRO C, et al. Evolution of the aromatic profile in Garnacha Tintorera grapes during raisining and comparison with that of the naturally sweet wine obtained[J]. Food Chemistry, 2013, 139(14): 1052-1061. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.12.048.
- OKARTER N, LIU C S, SORRELLS M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food Chemistry, 2010, 119(1): 249-257. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.06.021.
- CHU Y F, SUN J, WU X Z, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6910-6916. DOI:10.1021/jf020665f.
- 赵金梅, 高贵田, 薛敏, 等. 不同品种猕猴桃果实的品质及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 118-122. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201409024.
- 刘露, 孙连立, 裴运林, 等. 不同干燥方式对金线莲黄酮体外活性影响的研究[J]. 广东农业科学, 2018, 45(3): 107-113. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2018.03.017.
- 杨包梅, 姚丽贤, 国彬, 等. 不同品种荔枝果实游离氨基酸分析[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 249-252.
- 谢鸿根, 林旗华, 陈源, 等. 盐碱环境火龙果花、茎和果实氨基酸分析[J]. 福建农业学报, 2017, 32(5): 568-571. DOI:10.19303/j.issn.1008-0384.2017.05.019.
- 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 113-118. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718018.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Energy and protein requirement: report of joint FAO/WHO[R]. Geneva: WHO, 1973: 62-64.
- 石芳, 李瑶, 杨雅轩, 等. 不同干燥方式对松茸品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 141-147. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201805022.
- 乐巍, 吴德康. 江苏引种栽培不同居群薏苡仁氨基酸分析[J]. 中药材, 2010, 33(2): 189-191. DOI:10.13863/j.issn1001-4454.2010.02.004.
- 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价-氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 10(2): 187-190.
- GU X, SUN Y, TU K, et al. Predicting the growth situation of *Pseudomonas aeruginosa* on agar plates and meat stuffs using gassensors[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 38721. DOI:10.1038/srep38721.
- PEI F, YANG W, MA N, et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 343-350. DOI:10.1016/j.lwt.2016.05.004.