

干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片品质的影响

孙洪蕊¹,杜金鸽²,范杰英³,孟悦¹,张佳霖¹,康立宁^{1*},刘香英^{1*}

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)农产品加工研究所,吉林长春130033;2. 北华大学林学院,吉林吉林132013;3. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)农业生物技术研究所,吉林长春130033)

摘要: 该文为研究干燥方式对油莎豆脆片品质的影响,以全脂油莎豆和脱脂油莎豆为主要原料,研究焙烤干燥和真空微波干燥对全脂/脱脂油莎豆脆片微观结构、质构特性、抗氧化性、游离氨基酸含量以及挥发性风味物质含量的影响。研究结果表明,焙烤干燥-全脂油莎豆脆片(S1)、焙烤干燥-脱脂油莎豆脆片(S2)、真空微波干燥-全脂油莎豆脆片(S3)和真空微波干燥-脱脂油莎豆脆片(S4)的微观结构差异较大,其中S1和S3组织结构疏松,分布均一。S1、S2、S3和S4的硬度分别为258.90、548.40、216.33 g和473.39 g,脆度分别为2.00、1.33、2.33和1.67。S4的DPPH自由基清除能力、铁离子还原能力和游离氨基酸含量明显高于S1、S2和S3。从S1、S2、S3和S4油莎豆脆片样品中检测出9种化合物,主要包括醛类3种、醇类2种、酯类1种、烷烃类1种、烯烃类1种和杂环类1种。S1、S2、S3和S4中天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸这类呈味氨基酸含量相对较高,因此油莎豆适合用来生产脆片。

关键词: 油莎豆脆片;干燥;抗氧化性;游离氨基酸;挥发性风味

Effect of Drying Methods on Quality of Full-fat/Defatted Tiger Nut Crisps

SUN Hongrui¹, DU Jinge², FAN Jieying³, MENG Yue¹, ZHANG Jialin¹, KANG Lining^{1*}, LIU Xiangying^{1*}

(1. Institute of Agro-food Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agriculture Research Center of China), Changchun 130033, Jilin, China; 2. Forestry College, Beihua University, Jilin 132013, Jilin, China; 3. Institute of Agricultural Biotechnology, Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agriculture Research Center of China), Changchun 130033, Jilin, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effect of drying methods on the quality of tiger nut crisps. The effects of baking and vacuum microwave drying on the microstructure, texture properties, antioxidant properties, free amino acid content, and volatile flavor compounds of full-fat/defatted tiger nut crisps were investigated with full-fat tiger nut and defatted tiger nut as main materials. The results showed that the microstructures of baking-full-fat tiger nut crisps (S1), baking-defatted tiger nut crisps (S2), vacuum microwave drying-full-fat tiger nut crisps (S3), and vacuum microwave dry-defatted tiger nut crisps (S4) were quite different, and the microstructures of S1 and S3 were loose and uniform. The hardness values of S1, S2, S3, and S4 were 258.90, 548.40, 216.33, and 473.39 g, respectively, and the crispness values were 2.00, 1.33, 2.33, and 1.67, respectively. The DPPH free radical scavenging capacity, iron ion reduction capacity, and free amino acid content of S4 were significantly higher than those of S1, S2, and S3. Nine compounds were detected from S1, S2, S3, and S4, including three aldehydes, two alcohols, one ester, one alkane, one olefin, and one heterocyclic ring. S1, S2, S3, and S4 had relatively high content of flavoring amino acids such as aspartic acid, glutamic acid, and alanine, so tiger nut was suitable for producing crisps.

Key words: tiger nut crisp; drying; antioxidant; free amino acid; volatile flavor compound

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20210202106N C、20220508120RC、20200502003N C);吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2023RCG007)
作者简介:孙洪蕊(1989—),女(汉),助理研究员,硕士,研究方向:食品科学。

*通信作者:康立宁(1973—),男(汉),研究员,博士,研究方向:食品科学;刘香英(1981—),女(汉),副研究员,硕士,研究方向:农产品加工。

引文格式:

孙洪蕊,杜金鸽,范杰英,等.干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(6):54-59.

SUN Hongrui, DU Jinge, FAN Jieying, et al. Effect of Drying Methods on Quality of Full-fat/Defatted Tiger Nut Crisps[J].

Food Research and Development, 2024, 45(6): 54-59.

油莎豆营养丰富,富含脂肪、蛋白质、淀粉等营养素以及甾醇、皂苷和生物碱等生物活性物质^[1-2],具有降血脂、降血糖等生理特性^[3-4],可预防冠心病、结肠癌、糖尿病、肥胖症、心血管疾病等多种疾病^[5]。近年来,油莎豆作为新兴油料作物在我国发展迅速,基于油莎豆原料的新型食品开发也成为研究热点^[6-8]。脆片类休闲食品是深受大众喜爱的休闲食品之一,市场规模不断扩大,产品种类日益丰富。随着生活水平日益提升,人们对于休闲食品的选择更多地聚焦于营养、健康^[9]。脆片的原材料不再拘泥于马铃薯,而是采用纯天然的水果和新鲜蔬菜制备脆片产品,如甘薯脆片、山药脆片和香蕉脆片等^[10]。目前脆片的生产主要采用高温油炸工艺,但由于油炸温度较高且含油率高,长期食用对健康不利^[11]。因此,探索合适的干燥方式是开发新型健康即食油莎豆脆片食品的关键。

焙烤干燥是利用烤箱内的高温环境使原料成熟膨化,它的主要工作原理是通过设备内的温度差使物料中的水分蒸发,物料组织内部结构发生膨化而形成多孔状的结构,达到酥脆的口感^[12]。真空微波干燥是一种新型的干燥方式,该技术克服了真空干燥和微波干燥原有的缺点,将微波和真空结合起来,充分发挥了两者的优势。真空微波干燥是在真空室中进行工作,利用微波对物料的直接作用,使物料内部的水分迅速蒸发,得到干燥产品^[13]。目前,关于脆片干燥方式的研究多集中于胡萝卜脆片、芒果脆片以及食用菌脆片等,而油莎豆脆片以及干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片品质影响的研究未见报道。基于此,本研究以全脂油莎豆和脱脂油莎豆为原料,研究焙烤干燥和真空微波干燥2种干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片品质的影响,以期油莎豆脆片干燥方式的选取以及油莎豆的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

油莎豆:产自吉林省松原市;总抗氧化能力(DPPH法)试剂盒:苏州梦犀生物医药科技有限公司;铁离子还原能力试剂盒:上海棕益科技有限公司;三氯乙酸(分析纯):湖北鑫润德化工有限公司。

1.2 仪器与设备

SLG-30 双螺杆挤压膨化机:杭州誉球机械有限公司;JXCZ 面团整型机:北京东孚久恒仪器技术有限公司;XC-24B 烤箱:广州红菱电热设备有限公司;HWL-

B 箱式真空微波干燥设备:天水华圆制药设备科技有限责任公司;500/VP 扫描电子显微镜:德国卡尔-蔡司公司;1260 II 高效液相色谱仪、G2641A 气相色谱-质谱联用(gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS)仪:美国安捷伦公司;FA25 高速均质机:上海弗鲁克流体机械制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 油莎豆脆片的制备

全脂/脱脂油莎豆粉的制备:将脱皮油莎豆洗净,60℃干燥5h,将干燥后的油莎豆粉碎过60目筛,得到全脂油莎豆粉;利用索氏抽提法对全脂油莎豆粉进行脱脂处理,得到脱脂油莎豆粉。调整全脂/脱脂油莎豆粉的含水量为15%,利用双螺杆挤压膨化机对油莎豆粉进行挤压处理,参数设置为螺杆转速18Hz、喂料速率15Hz、1区~4区机筒温度60、80、100、120℃。将挤压后的油莎豆粉置于恒温干燥箱中60℃干燥5h,粉碎后过60目筛,得到全脂/脱脂油莎豆粉。

全脂/脱脂油莎豆脆片的制备:将全脂/脱脂油莎豆粉与水混合,水添加量分别为22%和45%。揉混6min,静置5min,将静置后的面团进行压片处理(参数设置:滚轮间距1.2mm、压片3次),切割成长3cm、宽1cm的长方形薄片。分别利用焙烤干燥(参数设置:上火170℃、下火140℃、焙烤时间12min)。和真空微波干燥(参数设置:微波温度40℃、微波时间4min、微波功率4kW)2种干燥方式对油莎豆薄片进行干燥,获得4种脆片,分别为焙烤干燥-全脂油莎豆脆片(S1)、焙烤干燥-脱脂油莎豆脆片(S2)、真空微波干燥-全脂油莎豆脆片(S3)、真空微波干燥-脱脂油莎豆脆片(S4)。

1.3.2 微观结构测定

参考朱翠平^[14]的试验方法,将油莎豆脆片粉碎,对样品进行前处理,利用扫描电子显微镜对油莎豆脆片的微观结构进行拍照观察。

1.3.3 质构特性测定

油莎豆脆片的硬度和脆度的测定参考朱翠平^[14]的方法并稍作修改。质构仪参数设置:探头为P/0.5S球形探头、触发力为5g、模式为压缩、测前速度及测试速度均为1.0mm/s、距离为3mm。

1.3.4 抗氧化性测定

采用分光光度法测定油莎豆脆片的抗氧化性,利用总抗氧化能力(DPPH法)试剂盒和铁离子还原能力试剂盒测定油莎豆脆片的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼

(1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基清除能力、铁离子还原能力。

1.3.5 游离氨基酸含量测定

参考刘若诗等^[15]的试验方法并稍作修改。将油莎豆脆片粉碎,称取粉碎后的油莎豆脆片 10 g,与 25 mL 三氯乙酸(5 g/100 mL)混和均匀(均质时间 30 s,转速 10 000 r/min)。将油莎豆脆片混合液离心(10 000×g, 10 min),上清液利用双层滤纸过滤,离心(10 000×g, 10 min),取上清液用邻苯二醛进行柱前衍生,使用高效液相色谱法测定油莎豆脆片的游离氨基酸含量。

1.3.6 挥发性风味物质含量测定

参考高永欣^[16]的试验方法进行测定。将油莎豆脆片粉碎,称取粉碎后的油莎豆脆片 2 g,置于 20 mL 固相微萃取专用样品瓶中。萃取头在气相色谱进样口(250 °C)老化 1 h,将萃取头插入样品瓶的顶部,60 °C 萃取 45 min。将萃取头抽出,迅速插入 GC-MS 进样口,250 °C 解吸 5 min,进行挥发性风味物质含量分析。

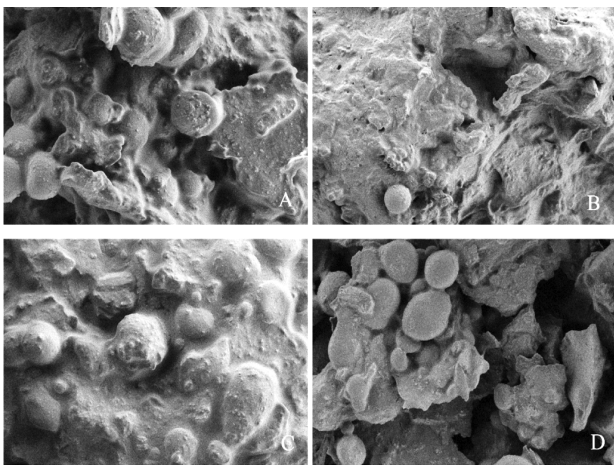
1.4 数据处理

试验数据用平均值±标准差表示。应用 statistic 软件中的 Tukey HSD 工具进行数据统计以及显著性分析,应用 Origin 软件进行绘图分析。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片微观结构的影响

电镜分析是鉴定样品微观结构的常用方法之一,其工作原理是利用电子束对样品表面进行扫描,从而获得样品表面的三维高分辨率图像^[14]。焙烤干燥和真空微波干燥后的全脂/脱脂油莎豆脆片的微观结构如图 1 所示。



A. 焙烤干燥-全脂油莎豆脆片(S1); B. 焙烤干燥-脱脂油莎豆脆片(S2); C. 真空微波干燥-全脂油莎豆脆片(S3); D. 真空微波干燥-脱脂油莎豆脆片(S4)。

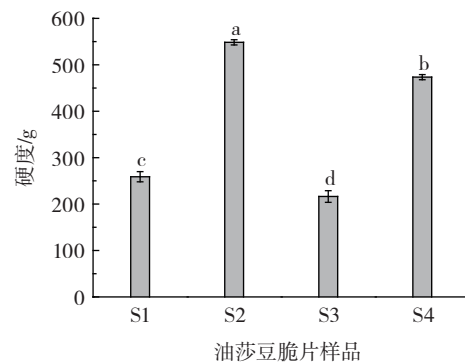
图 1 油莎豆脆片微观结构

Fig.1 Microstructures of tiger nut crisps

油莎豆脆片的微观结构可以直接反映出油莎豆脆片的形态,对油莎豆脆片的品质评价有着极其重要的作用。由图 1 可知,S1 的微观结构与 S3 相似,组织结构疏松,分布相对均一。S2 和 S4 的微观结构差异明显,其中,S2 的组织结构致密,S4 呈现出不规则的结构,孔洞分布不均一。

2.2 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片质构特性的影响

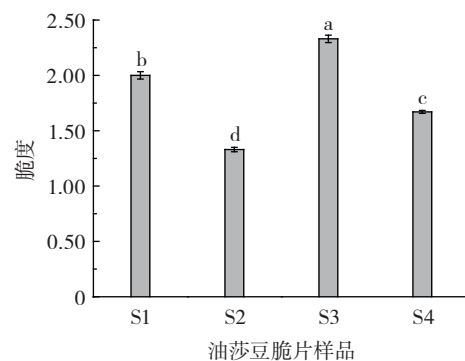
硬度和脆度是评价脆片品质的 2 个重要评价指标^[14]。干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片硬度和脆度的影响如图 2、图 3 所示。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图 2 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片硬度的影响

Fig.2 Effect of drying methods on hardness of full-fat/defatted tiger nut crisps



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图 3 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片脆度的影响

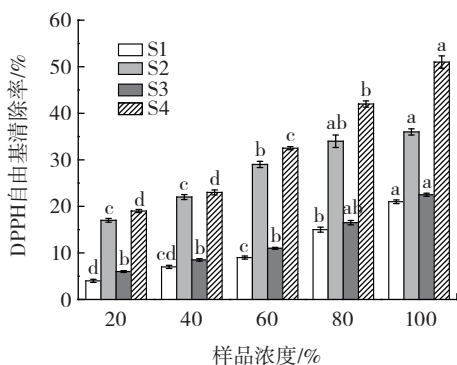
Fig.3 Effect of drying methods on crispness of full-fat/defatted tiger nut crisps

由图 2 和图 3 可知,S1、S2、S3 和 S4 的硬度分别为 258.90、548.40、216.33 g 和 473.39 g,脆度分别为 2.00、1.33、2.33 和 1.67,S3 的硬度最小、脆度最大。分析两种干燥方法对全脂/脱脂油莎豆脆片质构特性的影响可以得出,经焙烤干燥制备的脆片硬度高于真空微波干燥脆片,可能是因为焙烤工艺与真空微波干燥工艺相比加热温度较高,高温能够使物料内部水分蒸发较为彻底,加之焙烤时间较长,长时间高温的情况下物料表面变硬^[12]。而真空微波干燥工艺对物料内外同

时进行加热,在真空条件下用较低的干燥温度对物料进行干燥,避免了干燥后物料表面变硬的情况,且在干燥过程中产生的多孔结构使产品具有酥脆口感^[13]。

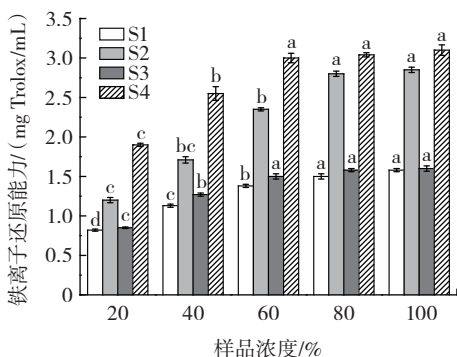
2.3 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片抗氧化性的影响

油莎豆中含有黄酮类成分,具有较强的抗氧化能力,可以作为天然的抗氧化剂^[17]。Faller 等^[18]的研究结果表明,热处理会改变原料中蛋白质、总糖以及多酚等组分的含量,并对其抗氧化能力产生明显影响。图 4、图 5 分别为干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力的影响。



不同小写字母表示同一组内不同浓度差异显著, $P < 0.05$ 。

图 4 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片 DPPH 自由基清除率的影响
Fig.4 Effect of drying methods on DPPH free radical scavenging rate of full-fat/defatted tiger nut crisps



不同小写字母表示同一组内不同浓度差异显著, $P < 0.05$ 。

图 5 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片铁离子还原能力的影响
Fig.5 Effect of drying methods on iron ion reduction capacity of full-fat/defatted tiger nut crisps

由图 4、图 5 可知,焙烤干燥和真空微波干燥后的全脂/脱脂油莎豆脆片的 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力差异明显。S1、S2、S3 和 S4 的 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力均随着样品浓度的增加而增加。相同样品浓度条件下, S1 的 DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力最低。DPPH 自由基清除能力与铁离子还原能力的排序均为 $S4 > S2 > S3 > S1$ 。真空微波干燥-脱脂油莎豆脆片(S4)的 DPPH 自由基清除

能力与铁离子还原能力值明显高于 S1、S2 和 S3。刘玉莽^[19]对不同加工方式下双孢菇对 DPPH 自由基清除能力进行研究时发现,微波加工方式可保持或提高双孢菇的 DPPH 自由基清除能力,这与本研究结果一致。朱翠平^[14]研究结果表明,真空冷冻干燥及真空微波干燥牛蒡脆片对铁离子的还原能力较强,明显高于热风干燥等其他干燥方式。

2.4 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片游离氨基酸含量的影响

干燥方式以及原料组成均会影响产品的风味,而游离氨基酸是产品形成最终风味的前体物质,因此本研究利用高效液相色谱法测定了不同干燥方式的全脂/脱脂油莎豆脆片的游离氨基酸含量,结果如表 1 所示。

表 1 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片游离氨基酸含量的影响
Table 1 Effect of drying methods on free amino acid content of full-fat/defatted tiger nut crisps

游离氨基酸种类	游离氨基酸含量/(mg/100 g)			
	S1	S2	S3	S4
天冬氨酸(Asp)	2.67	2.89	3.80	3.22
苏氨酸(Thr)	1.04	0.59	2.41	0.77
丝氨酸(Ser)	4.51	7.45	5.03	9.58
谷氨酸(Glu)	26.77	23.75	34.34	31.05
脯氨酸(Pro)	0.91	1.24	0.97	1.37
甘氨酸(Gly)	0.78	1.25	0.64	1.40
丙氨酸(Ala)	7.56	11.48	7.22	12.55
缬氨酸(Val)	1.51	1.38	1.46	1.55
组氨酸(His)	3.51	3.48	4.56	4.69
赖氨酸(Lys)	2.91	2.59	3.95	3.67
精氨酸(Arg)	161.41	233.59	216.14	295.81
总含量	213.58	289.69	280.52	365.66

由表 1 可知,从 S1、S2、S3 和 S4 油莎豆脆片样品中均检测出 11 种游离氨基酸,分别为天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸。S1、S2、S3 和 S4 的游离氨基酸总量差异明显,分别为 213.58、289.69、280.52 mg/100 g 和 365.66 mg/100 g。在相同干燥方式的条件下,样品游离氨基酸总含量的排序分别为 $S2 > S1$ 、 $S4 > S3$;在相同原料的条件下,样品游离氨基酸总含量的排序分别为 $S3 > S1$ 、 $S4 > S2$ 。研究结果表明,真空微波干燥法制备的脱脂油莎豆脆片的游离氨基酸含量较高。与焙烤干燥相比,真空微波干燥技术具有微波加热快和真空条件下水汽化点低的特点,因此物料中的营养成分大部分被保留下来^[13]。此外,有研究结果表明,多数氨基酸及其盐是甜味或苦涩味的,少数几种具有鲜味或者酸味^[20]。一般能呈现出特殊鲜味的氨基酸称为呈味氨基

酸,主要包括谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸和甘氨酸。马铃薯脆片的味道之所以独特鲜美,就是在鲜马铃薯中含有呈味氨基酸^[21]。如表1所示,S1、S2、S3和S4中精氨酸含量明显高于其他种类氨基酸含量,天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸这类呈味氨基酸含量也相对较高,因此油莎豆适合用来生产脆片。

2.5 干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片挥发性风味物质含量的影响

采用气相色谱-质谱联用的方法对两种干燥方式下所得到的全脂/脱脂油莎豆脆片中的挥发性风味物质进行了测定。表2和表3分别为干燥方式对全脂/脱脂油莎豆脆片挥发性风味物质含量的影响以及风味物质成分分类。

表2 油莎豆脆片挥发性风味物质含量测定

Table 2 Effect of drying methods on volatile flavor substance content of tiger nut crisps

保留时间/min	化合物名称	化合物含量/%			
		S1	S2	S3	S4
4.228 8	顺式-3,4-二甲基-2-苯基四氢-1,4-噻嗪	0.785	0.507	0.559	0.365
4.400 0	正己醛	5.721	2.895	5.792	2.725
5.520 0	糠醛	40.499	30.781	1.704	21.285
7.550 0	苯乙烯	3.286	0.361	1.494	0.613
22.400 0	甲酸辛酯	4.297	6.371	11.065	5.053
23.800 0	壬醛	18.807	47.848	50.549	45.552
26.500 0	1-壬醇	1.320	0.471	8.722	8.019
27.300 0	1-十一醇	11.905	4.124	9.300	5.910
30.600 0	十二烷	13.397	6.641	10.816	10.480

表3 油莎豆脆片风味物质成分分类

Table 3 Classification of flavor substances in tiger nut crisps

类别	种类数	化合物含量/%			
		S1	S2	S3	S4
醛类	3	65.030	81.530	58.050	69.570
醇类	2	13.230	4.600	18.030	13.930
烯炔类	1	3.286	0.361	1.494	0.613
酯类	1	4.297	6.371	11.065	5.053
杂环类	1	0.785	0.507	0.559	0.365
烷烃类	1	13.397	6.641	10.816	10.480

由表2和表3可知,从S1、S2、S3和S4油莎豆脆片样品中检测出9种化合物,其风味物质有醛类3种(正己醛、糠醛、壬醛)、醇类2种(1-壬醇、1-十一醇)、酯类1种(甲酸辛酯)、烷烃类1种(十二烷)、烯炔类1种(苯乙烯)和杂环类1种(顺式-3,4-二甲基-2-苯基四氢-1,4-噻嗪);其中醛类物质含量占挥发性风味物质总含量的50%以上,糠醛和壬醛的含量相对较高,其风味特征分别为焦糖味和草木香^[22]。S1、S2、S3和S4中9种风味物质的产生可能归因于3点:1)油莎豆原料中

原有风味物质的释放;2)油莎豆原料中糖、氨基酸以及核苷酸的降解;3)热处理过程中油莎豆原料中还原糖和氨基酸之间发生美拉德反应^[19]。不同干燥方式对油莎豆全脂/脱脂脆片的热渗透方式以及温度的影响均不同,可能会影响原料组分的降解速度或释放,进而导致S1、S2、S3和S4中9种风味物质含量之间的差异^[23]。

3 结论

本文比较了S1、S2、S3和S4的微观结构、质构特性、抗氧化性、游离氨基酸含量以及挥发性风味物质含量之间的差异。结果表明,焙烤干燥和真空微波干燥对全脂/脱脂油莎豆脆片的品质影响明显,其中S3的硬度最小、脆度最大,分别为216.33 g和2.33,其质构特性最优;S4的游离氨基酸总含量、DPPH自由基清除能力与铁离子还原能力值明显高于S1、S2和S3,其营养品质最优。用真空微波干燥方式制备的油莎豆脆片(S3和S4)品质优于烘焙干燥方式制备的油莎豆脆片(S1和S2)。从S1、S2、S3和S4油莎豆脆片样品中检测出9种化合物,其风味物质有醛类3种、醇类2种、酯类1种、烷烃类1种、烯炔类1种和杂环类1种;其中醛类物质含量占挥发性风味物质总含量的50%以上。S1、S2、S3和S4中天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸这类呈味氨基酸含量相对较高,因此油莎豆适合用来生产脆片。研究结果对油莎豆食品的开发以及提高油莎豆附加值具有现实意义。

参考文献:

- [1] NINA G C, OGORI A F, UKEYIMA M, et al. Proximate, mineral and functional properties of tiger nut flour extracted from different tiger nuts cultivars[J]. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2019, 9(3): 653-656.
- [2] ROSELLÓ-SOTO E, POOJARY M M, BARBA F J, et al. Tiger nut and its by-products valorization: From extraction of oil and valuable compounds to development of new healthy products[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 45: 306-312.
- [3] YU Y L, LU X Y, ZHANG T H, et al. Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.): Nutrition, processing, function and applications[J]. Foods, 2022, 11(4): 601.
- [4] ADENOWO A F, KAZEEM M I. Tiger nut as A functional food, pharmacological and industrial agent: A mini review[J]. Annals of Science and Technology, 2020, 5(1): 31-38.
- [5] ADEJUYITAN J A. Tigernut processing: Its food uses and health benefits[J]. American Journal of Food Technology, 2011, 6(3): 197-201.
- [6] ADEKIYA A O, OLANIRAN A F, ADENUSI T T, et al. Effects of cow dung and wood biochars and green manure on soil fertility and tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) performance on a savanna Alfisol [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 1-10.
- [7] ASARE P A, KPANKPARI R, ADU M O, et al. Phenotypic characterization of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from major growing areas in Ghana[J]. The Scientific World Journal, 2020, 2020:

- 7232591.
- [8] KIZZIE-HAYFORD N, DABIE K, KYEI-ASANTE B, et al. Storage temperature of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) affects enzyme activity, proximate composition and properties of lactic acid fermented tiger nut milk derived thereof[J]. LWT- Food Science and Technology, 2021, 137: 110417.
- [9] 李双茹. 马铃薯脆片真空油炸工艺及品质控制研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2021.
- LI Shuangru. Study on vacuum frying technology of potato chips and quality controlling investigation[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2021.
- [10] 张云亮, 窦博鑫, 甘志, 等. 基于变异系数法建立蒲公英脆片不同因素与评价指标的选择[J]. 农产品加工, 2021(1): 52-59.
- ZHANG Yunliang, DOU Boxin, GAN Zhi, et al. Established the selection of different factors and evaluation indexes of dandelion chips based on the coefficient of variation method[J]. Farm Products Processing, 2021(1): 52-59.
- [11] MOTTRAM D S, WEDZICHA B L, DODSON A T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction[J]. Nature, 2002, 419(6906): 448-449.
- [12] 关文苑. 小麦面粉制备薯片类脆片的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- GUAN Wenyuan. Study on preparation of potato chip-like product with wheat flour[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [13] 韩清华. 微波真空干燥膨化苹果片的机理及品质研究和设备设计[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2007.
- HAN Qinghua. Study on the mechanism & quality of microwave vacuum and drying & puffing apple slices and machine design[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Science, 2007.
- [14] 朱翠平. 不同干燥联合预处理方式对牛蒡脆片品质及抗氧化能力的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- ZHU Cuiping. Effects of different drying combined pretreatment methods on the quality and antioxidant capacity of *Arctium lappal.* slices[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [15] 刘若诗, 万晶晶, 黄卫宁, 等. 冻干酸面团发酵剂对发酵面团及面包香气的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 11-15.
- LIU Ruoshi, WAN Jingjing, HUANG Weining, et al. Effects of freeze-dried sourdough starters on fermented doughs and bread aroma[J]. Food Science, 2011, 32(7): 11-15.
- [16] 高永欣. 香菇饼干面团流变特性、加工工艺及其香气成分研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2013.
- GAO Yongxin. The study of rheology properties of *Lentinus edodes* biscuits' dough and the technology of *Lentinus edodes* biscuits[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance & Economics, 2013.
- [17] JING S Q, WANG S S, LI Q, et al. Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and bioactivities of *Cyperus esculentus* (*C. esculentus* L.) leaves flavonoids[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 319-327.
- [18] FALLER A L K, FIALHO E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking[J]. Food Research International, 2009, 42(1): 210-215.
- [19] 刘玉莽. 不同的加工方式对双孢菇食用品质的影响[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2019.
- LIU Yuqiao. Effect of different processing methods on the edible quality of *Agaricus bisporus*[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2019.
- [20] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. 中国调味品, 2001, 26(1): 21-24.
- WU Yanwen, OUYANG Jie. Tasting effect of amino acids and peptides in food[J]. Chinese Condiment, 2001, 26(1): 21-24.
- [21] SHAW D. Potato biology and biotechnology. advances and perspectives[J]. Experimental Agriculture, 2008, 44(4): 573.
- [22] 陈璐, 刘玉兰, 朱文学, 等. 烘烤温度对浓香油莎豆油风味及综合品质的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(10): 1-7.
- CHEN Lu, LIU Yulan, ZHU Wenxue, et al. Effects of roasting temperature on the flavor and comprehensive quality of fragrant *Cyperus esculentus* oil[J]. China Oils and Fats, 2022, 47(10): 1-7.
- [23] LI Q, ZHANG H H, CLAVER I P, et al. Effect of different cooking methods on the flavour constituents of mushroom (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing) soup[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(5): 1100-1108.

加工编辑: 张昱
收稿日期: 2022-12-15