

浸泡及萌动对芝麻及芝麻酱品质的影响

仇记红¹, 侯利霞^{1,*}, 张钊国², 汪学德¹, 曾国展³

(1.河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001; 2.河南工业大学国际教育学院, 河南 郑州 450001;

3.河南驻马店顶志油脂有限公司, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 研究一定温度和湿度条件下不同浸泡和萌动处理对芝麻及芝麻酱基本组分质量分数、功能性成分、矿物质含量及脂肪酸组成的影响。结果显示: 未经萌动处理的芝麻浸泡2、5 h时, 粗脂肪、粗蛋白质量分数降低; 不同浸泡时间芝麻中灰分质量分数均有所降低, 粗纤维质量分数显著增加 ($P < 0.05$), 总糖质量分数先升高后降低。随萌动时间的延长, 萌动处理后芝麻酱中粗脂肪、总糖和粗纤维质量分数与芝麻中变化一致, 粗蛋白质量分数呈先减后增趋势, 草酸质量分数逐渐降低, 酸价呈波动变化, 甾醇含量逐渐增加。萌动处理后的芝麻酱中VE含量均高于对照组芝麻酱, 在浸泡20 min、萌动14 h时VE含量达到最大值 (49.96 mg/100 g), 比对照组增加49.36%; 萌动24 h时, 萌动处理后的芝麻酱中芝麻酚的含量均明显高于未经萌动处理芝麻酱; 萌动处理后芝麻酱中的Ca含量明显增加, K含量下降。通过主成分分析, 发现影响萌动处理后芝麻酱品质的主要指标为粗脂肪质量分数、VE含量等。经过浸泡和萌动处理的芝麻酱中花生酸不再存在。结果表明萌动处理是制备低脂肪质量分数、高VE含量芝麻酱的一种新途径。

关键词: 萌动; 芝麻酱; 组成成分; 矿物质; 主成分分析

Effect of Soaking and Germination on the Quality of Sesame Seeds and Sesame Butter

QIU Jihong¹, HOU Lixia^{1,*}, ZHANG Zhaoguo², WANG Xuede¹, ZENG Guozhan³

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. School of International Education, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

3. Henan Zhumadian Tingzhi Food Co. Ltd., Zhumadian 463000, China)

Abstract: The effects of soaking and germination under constant temperature and humidity conditions on the proximate composition, functional ingredients, mineral contents and fatty acid compositions of sesame seeds and sesame butter were studied. The results revealed that the contents of crude fat and crude protein gradually decreased at 2 and 5 h of soaking; ash content also decreased, while the content of crude fiber increased ($P < 0.05$), and the content of total sugar increased first and then decreased. The contents of crude fat, total sugar and crude fiber in sesame butter showed the same trend as did those in sesame seeds with increasing germination time. The content of crude protein decreased first and then increased. The content of oxalic acid in germinated sesame butter decreased, while the acid values fluctuated and sterol content gradually increased with extended germination time. VE content was higher in sesame butter with germination than that in the control group without germination and the highest value of 49.96 mg/100 g was obtained by 20 min soaking and 14 h germination, which was 49.36% higher than the control. The 24 h germination of sesame seeds significantly increased the contents of sesamol and calcium but decreased potassium content in sesame butter compared with the control. Principal component analysis demonstrated that the contents of crude fat and VE were important parameters for measuring sesame butter quality. Arachidonic acid was not detected in germinated sesame butter. In conclusion, germination may be a new approach to prepare low fat, high VE sesame butter.

Keywords: germination; sesame butter; composition; mineral; principal component analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201821006

中图分类号: TS264.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 21-0039-06

收稿日期: 2017-09-06

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-15-1-10); 国家自然科学基金面上项目 (31271884)

第一作者简介: 仇记红 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: 2284307222@qq.com

*通信作者简介: 侯利霞 (1969—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为植物油脂与蛋白加工利用。E-mail: hou1269@126.com

引文格式:

仇记红, 侯利霞, 张钊国, 等. 浸泡及萌动对芝麻及芝麻酱品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 39-44. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201821006. <http://www.spkx.net.cn>

QIU Jihong, HOU Lixia, ZHANG Zhaoguo, et al. Effect of soaking and germination on the quality of sesame seeds and sesame butter[J]. Food Science, 2018, 39(21): 39-44. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201821006. <http://www.spkx.net.cn>

芝麻又称脂麻, 为一年生胡麻科草本植物, 是我国重要的传统油料作物之一, 具有较高的食用和药用价值。芝麻酱由芝麻经过焙炒磨制而成, 含有丰富的蛋白质、钙及人体所必需的脂肪酸等营养物质, 具有特殊的浓郁香味, 是深受消费者喜欢的调味品, 具有较好的商业市场。

发芽的种子如绿豆芽、黄豆芽、芝麻芽等, 富含各种营养和生物活性成分, 是亚洲一些国家主要的食用蔬菜品种之一, 如今, 它们在美国和欧洲也越来越受欢迎^[1-3]。芝麻酱在其制作过程中, 要经历约15~20 min左右的芝麻浸泡、淘洗步骤。有研究报道浸泡可以减少植酸、蛋白酶抑制剂及胃胀气因子的含量^[4-5], 也有研究者指出浸泡可影响种子的萌芽率^[6-8]。朱转等的研究表明浸泡大米可以降低米饭中抗性淀粉的含量, 提高米饭的消化特性^[9], 但是浸泡对芝麻及芝麻酱组成及品质的影响尚鲜见报道。

萌动是种子萌发的第2阶段, 也是生物中最有活力的阶段, 即种子在吸胀后, 种胚细胞体积扩大伸展, 胚根尖端突破种皮外伸开始显现^[10-12]。有研究者研究了萌动对芝麻品质及芝麻酱风味的影响, 结果表明, 萌动可使种子的基本组分发生变化, 从而改善其营养价值, 萌动后芝麻中粗脂肪含量逐渐降低, 粗蛋白含量呈波动变化, 芝麻油中过氧化值逐渐升高, 酸价呈波动变化, VE含量增加^[13-15]。然而, 芝麻在不同浸泡和萌动期的组分质量分数变化以及萌动处理芝麻磨制而成的芝麻酱的品质变化尚鲜有详细的研究报道。本研究通过分析测定不同浸泡和萌动处理的芝麻主要组分质量分数, 以及芝麻酱的基本组分质量分数、功能性成分、矿物质含量和脂肪酸组成, 研究芝麻萌动对芝麻酱品质的影响, 同时利用主成分分析筛选出与萌动时间相关的特征性成分, 以期萌动处理芝麻酱的开发、生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白芝麻取自河南郑州农科院种植产业区; 甲醇、正己烷均为色谱纯, 购于美国Fisher公司; 其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

JM-L80型胶体磨 温州市龙湾华威机械厂;

WS250II型恒温恒湿培养箱 上海树立仪器仪表有限公司; e2695型高效液相色谱仪 美国Waters公司; Fibertec 2010全自动粗纤维仪、8400全自动凯氏定氮仪 丹麦FOSS公司。

1.3 方法

1.3.1 芝麻萌动处理

称取1 kg左右芝麻过筛除杂, 将经过挑选的芝麻置于干净干燥的盆中, 用蒸馏水清洗3次, 然后于蒸馏水中分别浸泡20 min和2、5 h(每克芝麻浸泡于2 mL 28 ℃蒸馏水中), 每隔30 min搅动一次。将浸泡后的芝麻均匀平铺于纱布始终被清水浸润的托盘中, 放于28 ℃恒温恒湿箱中进行萌发, 每隔2 h补充一定量水分, 并及时去掉发霉腐败种子, 分别放置萌发0、4、14、24 h。对照组为没有经过浸泡与萌动处理的芝麻及其制得的芝麻酱。从每份萌动的芝麻样品中随机取出3份小样, 每份小样的芝麻总数在50粒左右, 计算萌动处理芝麻粒占全部芝麻粒的比例, 即萌动率^[16-18]。

1.3.2 芝麻酱的磨制

将萌发一定时间的芝麻烘至水分质量分数为20%~25%, 每批烘炒约40 min, 然后迅速扬烟冷却3次, 用胶体磨磨制芝麻酱, 装瓶。

1.3.3 萌动处理芝麻及芝麻酱基本组分质量分数的测定

水分质量分数、灰分质量分数分别参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》方法测定; 粗脂肪质量分数、粗蛋白质量分数、粗纤维质量分数分别参照GB 2906—1982《谷类、油料作物种子粗脂肪测定方法》、GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》方法测定; 总糖质量分数采用苯酚-硫酸法测定^[19]。

1.3.4 萌动处理芝麻酱功能性成分含量的测定

VE含量参照GB/T 17812—2008《饲料中维生素E的测定 高效液相色谱法》方法测定; 甾醇含量采用分光光度法测定^[20]。芝麻酚、芝麻素和芝麻林素含量的测定参照NY/T 1595—2008《芝麻中芝麻素含量的测定 高效液相色谱法》和文献[21]中方法, 取1.0~2.0 g芝麻酱样品于锥形瓶中, 加入10 mL甲醇, 50 ℃超声30 min, 取出静置2 h, 过滤, 旋转蒸发, 真空干燥后用甲醇定容至10 mL,

过0.22 μm 滤膜,待测。高效液相色谱测定后根据木酚素标准曲线计算芝麻酚、芝麻素和芝麻林素含量。

1.3.5 萌动处理芝麻酱酸价和草酸质量分数的测定

酸价的测定参照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》及文献[22]方法,用索氏抽提法提取芝麻酱中粗脂肪,酸价以中和每克芝麻酱所需的KOH的质量表示;草酸质量分数的测定采用高锰酸钾滴定法^[23]。

1.3.6 萌动处理芝麻酱矿物质含量及脂肪酸组成的测定

矿物质含量的测定采用微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法^[24];脂肪酸组成及含量的测定参照《油料油脂检验与分析》^[25]中方法。

1.4 数据统计分析

实验做3次平行,使用Excel 2003、Origin 8.5软件对数据进行处理,采用SPSS 20.0软件做独立样本 t 检验和方差分析,进行数据间的描述性统计分析($P<0.05$ 表示差异显著)及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 浸泡及萌动处理对芝麻基本组分质量分数的影响

经过不同浸泡与萌动处理的芝麻,随着其萌动程度不同,一些基本组分会发生不同程度的分解以合成新物质,为芝麻萌动提供营养物质。

表1 浸泡和萌动时间对芝麻基本组分质量分数的影响
Table 1 Effect of soaking and germination time on proximate composition of sesame seeds

浸泡时间	萌动处理时间/h	粗脂肪质量分数/%	粗蛋白质质量分数/%	总糖质量分数/%	灰分质量分数/%	水分质量分数/%	粗纤维质量分数/%
20 min	0	49.63 $\pm$ 0.42 ^a	19.04 $\pm$ 0.23 ^{ad}	11.01 $\pm$ 0.10 ^e	4.84 $\pm$ 0.05 ^e	4.47 $\pm$ 0.12 ^e	3.07 $\pm$ 0.11 ^d
	4	45.23 $\pm$ 0.20 ^f	16.04 $\pm$ 0.49 ^f	13.69 $\pm$ 0.07 ^b	5.15 $\pm$ 0.10 ^e	4.52 $\pm$ 0.06 ^e	3.38 $\pm$ 0.04 ^{bc}
	14	44.85 $\pm$ 0.20 ^f	19.10 $\pm$ 0.47 ^{ad}	12.20 $\pm$ 0.05 ^d	4.80 $\pm$ 0.06 ^e	4.49 $\pm$ 0.11 ^e	3.93 $\pm$ 0.12 ^a
	24	43.11 $\pm$ 0.07 ^b	21.33 $\pm$ 0.45 ^a	9.22 $\pm$ 0.12 ^j	4.80 $\pm$ 0.09 ^e	4.51 $\pm$ 0.07 ^e	3.51 $\pm$ 0.18 ^b
2 h	0	48.86 $\pm$ 0.09 ^b	18.09 $\pm$ 0.37 ^e	9.74 $\pm$ 0.08 ^b	4.57 $\pm$ 0.04 ^d	4.52 $\pm$ 0.08 ^e	3.43 $\pm$ 0.03 ^b
	4	45.01 $\pm$ 0.12 ^d	18.79 $\pm$ 0.28 ^d	13.24 $\pm$ 0.08 ^a	4.15 $\pm$ 0.07 ^e	4.53 $\pm$ 0.07 ^e	3.45 $\pm$ 0.12 ^b
	14	44.07 $\pm$ 0.41 ^e	20.11 $\pm$ 0.27 ^b	10.94 $\pm$ 0.08 ^e	5.15 $\pm$ 0.09 ^e	4.42 $\pm$ 0.12 ^e	3.53 $\pm$ 0.13 ^b
	24	44.23 $\pm$ 0.05 ^e	17.96 $\pm$ 0.59 ^e	8.89 $\pm$ 0.17 ^j	4.64 $\pm$ 0.04 ^d	4.51 $\pm$ 0.09 ^e	3.47 $\pm$ 0.20 ^b
5 h	0	47.24 $\pm$ 0.05 ^c	18.82 $\pm$ 0.37 ^d	10.89 $\pm$ 0.10 ^e	4.86 $\pm$ 0.06 ^e	4.47 $\pm$ 0.08 ^e	3.15 $\pm$ 0.03 ^d
	4	45.84 $\pm$ 0.04 ^d	19.42 $\pm$ 0.41 ^{bcd}	14.49 $\pm$ 0.12 ^a	5.00 $\pm$ 0.08 ^b	4.46 $\pm$ 0.12 ^e	3.17 $\pm$ 0.06 ^d
	14	45.67 $\pm$ 0.10 ^d	19.55 $\pm$ 0.36 ^{bc}	9.96 $\pm$ 0.07 ^e	5.21 $\pm$ 0.07 ^e	4.45 $\pm$ 0.07 ^e	3.43 $\pm$ 0.11 ^b
	24	43.98 $\pm$ 0.09 ^e	19.68 $\pm$ 0.27 ^{bc}	5.51 $\pm$ 0.07 ^k	5.15 $\pm$ 0.06 ^e	4.42 $\pm$ 0.07 ^e	3.20 $\pm$ 0.11 ^{cd}
对照		49.57 $\pm$ 0.07 ^a	19.18 $\pm$ 0.26 ^{ad}	10.51 $\pm$ 0.10 ^f	4.88 $\pm$ 0.15 ^{bc}	4.46 $\pm$ 0.10 ^e	2.81 $\pm$ 0.09 ^e

注:同列肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

从表1可以看出,与对照组相比,未经萌动处理的芝麻浸泡20 min时粗脂肪、粗蛋白质质量分数无显著差异($P>0.05$),延长浸泡时间分别至2、5 h,其粗脂肪、粗蛋白质质量分数降低;不同浸泡时间其灰分质量分数均有所降低,粗纤维质量分数增加($P<0.05$)。

浸泡相同时间时,随着萌动时间的延长,芝麻中粗脂肪质量分数逐渐降低($P<0.05$),浸泡20 min、萌动24 h时其质量分数最低(43.11%),比对照组降低13.03%;粗蛋白质质量分数在浸泡20 min、萌动24 h时取得最大值(21.33%),比对照组增加了11.21%,该结果与张丽霞等的研究结果^[13]一致,推测原因可能是脂肪、蛋白质分别在萌动过程中形成的脂肪酶、蛋白酶的作用下分解成能源或其他小分子作为新芽的成分^[26]。不同浸泡时间条件下,总糖质量分数均呈现先增高后降低趋势,萌动4 h时总糖质量分数均达最大值;粗纤维质量分数变化趋势比较平缓,在萌动14 h时均达到最高值。

2.2 萌动对芝麻酱基本组分、草酸质量分数及酸价的影响

表2 萌动处理对芝麻酱基本组分、草酸质量分数及酸价的影响
Table 2 Effect of germination on the contents of major components, oxalic acid mass fraction and acid value in sesame butter

浸泡时间	萌动处理时间/h	粗脂肪质量分数/%	粗蛋白质质量分数/%	总糖质量分数/%	灰分质量分数/%	粗纤维质量分数/%	水分质量分数/%	草酸质量分数/%	酸价/(mg/g)
20 min	0	55.16 $\pm$ 0.11 ^b	19.99 $\pm$ 0.17 ^{bc}	11.61 $\pm$ 0.10 ^f	4.53 $\pm$ 0.04 ^{bc}	2.72 $\pm$ 0.15 ^e	0.64 $\pm$ 0.06 ^d	1.11 $\pm$ 0.22 ^{ab}	0.41 $\pm$ 0.06 ^e
	4	55.01 $\pm$ 0.13 ^b	19.71 $\pm$ 0.09 ^{bc}	14.40 $\pm$ 0.08 ^a	4.48 $\pm$ 0.11 ^e	2.76 $\pm$ 0.14 ^e	0.72 $\pm$ 0.07 ^{bcd}	1.00 $\pm$ 0.18 ^{bc}	1.01 $\pm$ 0.08 ^{bc}
	14	54.37 $\pm$ 0.14 ^c	19.56 $\pm$ 0.18 ^{cd}	14.33 $\pm$ 0.14 ^d	4.59 $\pm$ 0.08 ^{cd}	3.38 $\pm$ 0.09 ^a	0.79 $\pm$ 0.10 ^{abc}	0.79 $\pm$ 0.27 ^d	0.82 $\pm$ 0.06 ^e
	24	54.22 $\pm$ 0.11 ^c	19.89 $\pm$ 0.18 ^{bcd}	12.85 $\pm$ 0.08 ^f	4.14 $\pm$ 0.07 ^f	2.83 $\pm$ 0.15 ^{bc}	0.85 $\pm$ 0.06 ^{ab}	0.82 $\pm$ 0.03 ^{bcd}	1.20 $\pm$ 0.05 ^e
2 h	0	55.08 $\pm$ 0.17 ^b	20.38 $\pm$ 0.22 ^a	11.24 $\pm$ 0.04 ^f	4.67 $\pm$ 0.07 ^{bcd}	2.46 $\pm$ 0.08 ^d	0.67 $\pm$ 0.09 ^{cd}	1.33 $\pm$ 0.22 ^a	0.40 $\pm$ 0.05 ^e
	4	55.01 $\pm$ 0.14 ^b	20.10 $\pm$ 0.14 ^a	13.39 $\pm$ 0.14 ^d	5.07 $\pm$ 0.09 ^a	2.73 $\pm$ 0.13 ^{bc}	0.69 $\pm$ 0.12 ^{bcd}	1.07 $\pm$ 0.26 ^{abc}	0.89 $\pm$ 0.09 ^{bc}
	14	53.82 $\pm$ 0.11 ^d	19.83 $\pm$ 0.18 ^{bcd}	12.90 $\pm$ 0.06 ^f	4.45 $\pm$ 0.08 ^e	3.01 $\pm$ 0.13 ^{bc}	0.81 $\pm$ 0.05 ^{bc}	1.01 $\pm$ 0.42 ^{bc}	0.61 $\pm$ 0.10 ^f
	24	53.21 $\pm$ 0.15 ^e	20.12 $\pm$ 0.24 ^{ab}	9.28 $\pm$ 0.08 ^j	4.15 $\pm$ 0.07 ^f	2.74 $\pm$ 0.07 ^e	0.84 $\pm$ 0.12 ^{ab}	0.57 $\pm$ 0.30 ^d	0.92 $\pm$ 0.08 ^{bc}
5 h	0	54.15 $\pm$ 0.12 ^c	19.40 $\pm$ 0.13 ^b	11.16 $\pm$ 0.22 ^e	4.70 $\pm$ 0.08 ^{bc}	2.38 $\pm$ 0.13 ^d	0.81 $\pm$ 0.13 ^{bc}	1.09 $\pm$ 0.28 ^{abc}	1.09 $\pm$ 0.05 ^{ab}
	4	53.63 $\pm$ 0.05 ^d	19.29 $\pm$ 0.10 ^e	13.25 $\pm$ 0.15 ^d	4.51 $\pm$ 0.11 ^e	2.69 $\pm$ 0.12 ^{bc}	0.73 $\pm$ 0.10 ^{bcd}	1.05 $\pm$ 0.08 ^{abc}	1.05 $\pm$ 0.07 ^{ab}
	14	53.27 $\pm$ 0.10 ^e	18.74 $\pm$ 0.09 ^{bc}	11.66 $\pm$ 0.11 ^e	4.70 $\pm$ 0.09 ^{bc}	2.82 $\pm$ 0.05 ^d	0.83 $\pm$ 0.03 ^{bc}	0.91 $\pm$ 0.15 ^{bc}	0.91 $\pm$ 0.11 ^{bc}
	24	53.14 $\pm$ 0.12 ^e	19.24 $\pm$ 0.12 ^e	9.96 $\pm$ 0.05 ^j	4.27 $\pm$ 0.08 ^f	2.79 $\pm$ 0.16 ^{bc}	0.98 $\pm$ 0.04 ^a	0.90 $\pm$ 0.16 ^{bc}	0.90 $\pm$ 0.08 ^{bc}
对照		55.67 $\pm$ 0.38 ^a	19.65 $\pm$ 0.21 ^{cd}	11.09 $\pm$ 0.16 ^f	4.80 $\pm$ 0.11 ^b	2.74 $\pm$ 0.22 ^e	0.57 $\pm$ 0.06 ^d	1.33 $\pm$ 0.17 ^a	0.99 $\pm$ 0.04 ^{bc}

从表2可以看出,萌动处理芝麻酱中粗脂肪质量分数、总糖质量分数和粗纤维质量分数与芝麻中的变化趋势一致。随萌动时间延长,粗脂肪质量分数呈逐渐降低趋势,浸泡5 h、萌动24 h的芝麻酱中粗脂肪质量分数最低(53.14%),比对照组降低了4.54%;粗蛋白质质量分数呈先减后增趋势,浸泡5 h、萌动14 h时出现最低值(18.74%),比对照降低了4.63%;总糖、粗纤维质量分数呈现先增后减趋势。草酸是引起苦味的一个重要指标,在3个浸泡时间下,随萌动时间的延长,草酸质量分数逐渐降低,浸泡2 h、萌动24 h时出现最低值(0.57%),比对照组降低了57.14%;酸价呈现波动变化(0.40~1.20 mg/g),但均符合LS/T 3220—2017《芝麻酱》中规定的芝麻酱商业标准(≤ 4.0 mg/g)。

2.3 萌动处理对芝麻酱功能性成分含量的影响

由表3可知,萌动处理后的芝麻酱中VE含量均高于对照组芝麻酱,在浸泡20 min、萌动14 h时VE含量达到最大值,为49.96 mg/100 g,比对照组增加49.36%;同一浸泡时间下,随着萌动时间的延长,甾醇含量呈

逐渐增加趋势, 浸泡5 h、萌动24 h时, 甾醇含量达到270.80 mg/100 g, 比对照组增加77%; 萌动过程中芝麻木酚素(包括芝麻素、芝麻林素、芝麻酚)含量发生不同程度的变化, 当萌动时间为24 h时, 芝麻酱中芝麻酚的含量均明显高于未经萌动处理芝麻酱; 萌动2、5 h时, 芝麻素含量先增加后降低, 芝麻林素含量逐渐升高。木脂素是一类特异的内源抗氧化物质, 使得芝麻酱耐贮藏、不易变质, 同时还具有降血脂、降血压、抗血栓、缓解动脉粥样硬化等作用, 萌动处理芝麻酱中较高的芝麻酚含量表明, 适当萌动的芝麻可以作为天然抗氧化剂的丰富来源。

表3 萌动处理对芝麻酱中功能性成分含量的影响

Table 3 Contents of functional components in germinated sesame butter						
浸泡时间	萌动处理时间/h	VE含量/(mg/100 g)	甾醇含量/(mg/100 g)	芝麻酚含量/(μg/g)	芝麻素含量/(μg/g)	芝麻林素含量/(μg/g)
20 min	0	44.56±0.65	70.76±0.60	217.66±0.91	2 436.39±0.61	1 355.06±1.02
	4	45.72±0.35	99.13±0.55	194.72±0.76	1 881.71±0.74	1 018.62±0.85
	14	49.96±0.23	160.75±0.47	152.19±0.20	2 166.19±0.30	1 261.45±0.82
	24	33.57±0.48	195.52±0.36	275.06±0.43	2 166.61±0.58	1 647.21±0.82
2 h	0	34.57±0.14	75.54±0.81	225.72±0.78	1 418.64±0.53	806.74±0.82
	4	39.26±0.25	153.71±0.58	195.55±0.67	2 555.13±0.24	1 477.16±0.85
	14	40.05±0.41	141.20±0.88	213.80±0.81	2 750.91±0.33	1 615.85±0.70
	24	37.56±0.66	218.89±0.70	357.00±0.47	2 356.46±0.44	1 620.57±0.41
5 h	0	40.72±0.10	152.98±0.30	216.38±0.69	1 462.27±0.59	1 161.95±0.68
	4	39.74±0.59	153.51±0.41	157.95±0.54	2 232.23±0.43	1 241.65±0.60
	14	39.32±0.54	224.69±0.76	252.23±0.46	2 428.06±0.96	1 473.70±0.40
	24	34.09±0.06	270.80±0.65	343.93±0.21	1 875.77±0.45	1 716.81±0.51
对照		33.45±0.10	116.54±0.52	223.26±0.05	2 376.61±0.73	1 633.62±1.20

2.4 萌动处理对芝麻酱中矿物质含量的影响

表4 萌动处理对芝麻酱中矿物质含量的影响
Table 4 Mineral contents in germinated sesame butter

		mg/100 g							
浸泡时间	萌动处理时间/h	Ca含量	K含量	Mg含量	Na含量	Fe含量	Zn含量	Cu含量	Mn含量
20 min	0	724.37	739.07	391.90	12.59	7.13	4.05	1.63	1.41
	4	789.93	718.35	375.45	10.03	7.49	3.93	1.55	1.40
	14	1 013.37	611.95	344.98	7.93	6.21	3.10	1.60	1.08
	24	1 334.21	502.01	331.33	10.77	8.99	4.02	1.96	1.46
2 h	0	746.08	621.74	392.50	13.46	6.70	3.96	1.63	1.39
	4	780.97	590.16	276.30	9.96	8.40	4.14	1.65	1.38
	14	900.74	496.32	255.83	6.32	5.79	4.58	1.84	1.30
	24	988.31	421.90	279.78	11.53	10.26	2.97	1.91	1.44
5 h	0	532.75	743.93	336.85	13.84	9.24	5.47	1.91	1.66
	4	842.38	597.78	362.52	11.26	6.78	4.76	1.65	1.46
	14	1 121.48	541.43	361.45	8.85	5.98	4.26	1.81	1.25
	24	1 181.73	526.03	316.19	9.20	10.88	4.81	2.48	1.87
对照		645.87	754.93	345.88	13.96	8.74	3.98	1.86	1.45

由表4分析可知, 萌动处理芝麻酱中含量较多的矿物质元素为Ca、K、Mg, 萌动处理后芝麻酱中的Ca含量明显增加, 在浸泡20 min、萌动24 h时达到1 334.21 mg/100 g, 比对照组增加了106.58%, 这与Hahm等的研究结果^[27]一致, 因此, 萌动处理芝麻酱可以作为

一个很好的钙源。萌动处理芝麻酱中K含量下降, Yahya的研究表明Na的存在降低了K和Ca的吸收^[28]; Fe、Mg、Zn、Cu、Mn含量略有波动, 但变化不明显。

2.5 浸泡和萌动处理芝麻酱的主成分分析结果

13种不同浸泡和萌动处理的芝麻酱样品的粗脂肪质量分数等21种指标数量过多, 虽提供丰富信息, 但分析时复杂性增加, 因此有必要将考察指标重新分类整理, 用较少的独立指标代替原来的多个指标, 综合反映原指标信息。本研究将13种不同浸泡和萌动处理的芝麻酱的21种指标进行主成分分析, 结果如表5所示。

表5 主成分分析解释的总方差

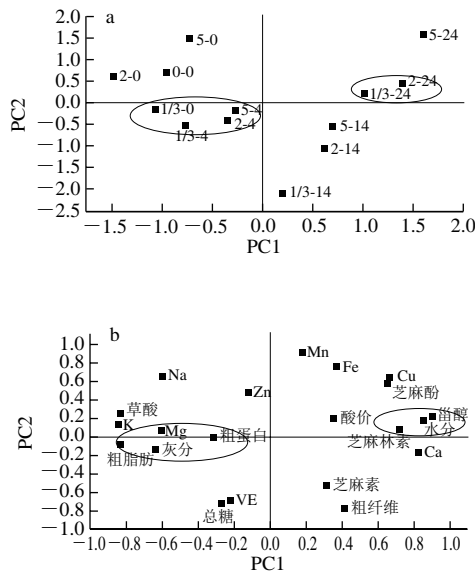
Table 5 Total variance explained in principal component analysis									
主成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	7.87	37.49	37.49	7.87	37.49	37.49	5.99	28.54	28.54
2	4.73	22.50	59.99	4.73	22.50	59.99	4.96	23.62	52.16
3	2.25	10.71	70.70	2.25	10.71	70.70	2.98	14.18	66.34
4	1.72	8.19	78.89	1.72	8.19	78.89	2.21	10.53	76.87
5	1.19	5.68	84.57	1.19	5.68	84.57	1.62	7.70	84.57
6	0.90	4.30	88.86						
7	0.75	3.58	92.44						
8	0.70	3.32	95.76						
9	0.49	2.35	98.11						
10	0.20	0.94	99.06						
11	0.11	0.51	99.56						
12	0.09	0.44	100.00						
13~21	0.00	0.00	100.00						

由表5可知, 第1主成分的特征值为7.87, 方差贡献率为37.49%, 第2主成分的特征值为4.73, 方差贡献率为22.50%, 第3、4、5主成分的特征值分别为2.25、1.72、1.19, 方差贡献率分别为10.71%、8.19%、5.68%, 前5个主成分解释了总变异的84.57%。

表6 主成分分析旋转后的成分载荷矩阵

Table 6 Rotated component matrix of principal component analysis					
指标	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分
水分质量分数	-0.884	0.185	0.056	0.325	0.117
草酸质量分数	0.842	0.119	-0.192	0.235	-0.296
粗脂肪质量分数	0.838	-0.135	-0.129	-0.370	0.010
Ca含量	-0.828	-0.036	0.241	-0.045	0.099
K含量	0.779	-0.128	-0.430	0.123	0.182
灰分质量分数	0.757	-0.236	0.112	0.250	-0.083
甾醇含量	-0.748	0.279	0.319	0.290	0.316
Na含量	0.555	0.528	-0.483	-0.211	0.157
总糖质量分数	0.178	-0.858	0.005	0.049	0.158
Mn含量	-0.062	0.811	-0.175	0.349	0.232
VE含量	-0.005	-0.807	-0.193	-0.054	0.040
Fe含量	-0.171	0.781	0.036	-0.127	0.516
芝麻酚含量	-0.559	0.753	0.137	-0.174	0.023
Cu含量	-0.474	0.692	0.212	0.332	0.166
粗纤维质量分数	-0.398	-0.656	0.434	0.165	0.063
芝麻素含量	-0.006	-0.286	0.862	-0.119	-0.070
芝麻林素含量	-0.311	0.317	0.805	0.035	0.246
Mg含量	0.252	-0.181	-0.774	0.000	-0.053
Zn含量	0.210	0.286	-0.113	0.865	-0.007
粗蛋白质量分数	0.276	0.180	0.003	-0.762	-0.304
酸价	-0.166	0.057	0.073	0.220	0.896

由表6可知,第1主成分中载荷值较高的有水分质量分数、草酸质量分数、粗脂肪质量分数、Ca含量;第2主成分中载荷值较高的有总糖质量分数、VE含量、Mn含量,第3主成分中载荷值较高的有芝麻素含量、芝麻林素含量,第4、5主成分分别仅与原变量Zn含量、酸价关系密切,由SPSS 20.0软件中主成分1(PC1)、主成分2(PC2)因子得分和旋转成分矩阵作图,结果见图1。



1/3-0.浸泡20 min、萌动0 h; 1/3-4.浸泡20 min、萌动4 h; 1/3-14.浸泡20 min、萌动14 h; 1/3-24.浸泡20 min、萌动24 h; 2-0.浸泡2 h、萌动0 h; 2-4.浸泡2 h、萌动4 h; 2-14.浸泡2 h、萌动14 h; 2-24.浸泡2 h、萌动24 h; 5-0.浸泡5 h、萌动0 h; 5-4.浸泡5 h、萌动4 h; 5-14.浸泡5 h、萌动14 h; 5-24.浸泡5 h、萌动24 h。

图1 13种萌动处理芝麻酱指标主成分分析的得分图(a)、载荷图(b)
Fig. 1 Score (a) and loading (b) plots of principal component analysis for 13 germinated sesame butters

从图1a、b可以看出,样品1/3-0、1/3-4、2-4、5-4的主要特征指标为粗脂肪质量分数、粗蛋白质量分数、Mg含量、灰分质量分数,1/3-24、2-24的主要特征指标为甾醇含量、芝麻林素含量和水分质量分数。

由SPSS 20.0软件得到13种不同浸泡-萌动时间的芝麻酱样品的主成分得分,在此基础上对产品进行综合评价。根据各主成分的特征根做权重,对每个主成分加权加和,得到各产品的综合排序,结果见表7。

理化指标客观地表达了芝麻酱的品质和营养价值,从主成分综合得分排序结果可分析出:按照综合排序来看,经过浸泡-萌动处理的芝麻酱样品的综合品质均高于对照组,其中样品1/3-14的品质和营养价值最高,其次是样品2-24、5-14,对照组样品综合评分最低,这一结果可为企业生产及消费者选购产品提供一定的参考依据。

表7 萌动处理芝麻酱产品综合排序

Table 7 Quality evaluation and ranking of germinated sesame butters

样品	第1主成分排序	第2主成分排序	第3主成分排序	第4主成分排序	第5主成分排序	综合排序
1/3-0	11	7	5	4	3	10
1/3-4	8	2	3	6	11	4
1/3-14	5	1	6	5	9	1
1/3-24	3	8	8	3	13	5
2-0	9	9	1	2	1	9
2-4	12	6	12	8	7	12
2-14	6	5	13	9	2	6
2-24	2	12	10	1	6	2
5-0	10	10	2	13	10	11
5-4	7	4	4	10	8	8
5-14	4	3	9	12	4	3
5-24	1	13	7	11	5	7
对照	13	11	11	7	12	13

注: 1/3-0.浸泡20 min、萌动0 h; 1/3-4.浸泡20 min、萌动4 h; 1/3-14.浸泡20 min、萌动14 h; 1/3-24.浸泡20 min、萌动24 h; 2-0.浸泡2 h、萌动0 h; 2-4.浸泡2 h、萌动4 h; 2-14.浸泡2 h、萌动14 h; 2-24.浸泡2 h、萌动24 h; 5-0.浸泡5 h、萌动0 h; 5-4.浸泡5 h、萌动4 h; 5-14.浸泡5 h、萌动14 h; 5-24.浸泡5 h、萌动24 h。

2.6 浸泡和萌动时间对芝麻酱脂肪酸组成的影响

表8 不同浸泡和萌动时间的芝麻酱主要脂肪酸组成及含量

Table 8 Major fatty acid composition in sesame butters with different soaking and germination times

浸泡时间	萌动处理时间/h	C _{16:0} 含量/%	C _{18:0} 含量/%	C _{18:1} 含量/%	C _{18:2} 含量/%	C _{18:3} 含量/%	C _{20:0} 含量/%
20 min	0	8.69	5.70	38.34	46.47	0.66	—
	4	8.56	5.83	38.78	46.84	—	—
	14	8.54	5.84	38.72	46.91	—	—
	24	8.37	5.75	38.57	46.69	0.62	—
2 h	0	8.50	5.80	38.54	46.61	0.55	—
	4	8.50	5.79	38.52	46.65	0.54	—
	14	8.46	5.75	38.52	46.71	0.56	—
	24	8.46	5.79	38.56	46.59	0.59	—
5 h	0	8.57	5.81	38.72	46.91	—	—
	4	8.55	5.80	38.73	46.97	—	—
	14	8.51	5.79	38.73	46.97	—	—
	24	8.48	5.74	38.48	46.73	0.56	—
对照		8.42	5.71	38.25	46.46	0.61	0.55

注: —,未检出。

从表8可以看出,芝麻酱中主要的脂肪酸为油酸(C_{18:1})和亚油酸(C_{18:2}),二者总含量为84.71%~85.70%,其次为棕榈酸(C_{16:0})、硬脂酸(C_{18:0})、亚麻酸(C_{18:3})和花生酸(C_{20:0})。随萌动处理时间的延长,油酸和亚油酸含量呈先增加后减小趋势,但都略大于对照组,这可能是由于芝麻萌动需要能量,因此脂肪发生水解,游离脂肪酸含量增加,酯化的油酸转化成亚油酸,进而转化为亚麻酸,因此亚油酸含量增加;随着进一步萌动需要,亚油酸和亚麻酸被氧化为二氧化碳和水,被新的生长部分利用,因此含量降低^[29-31]。萌动处理芝麻酱棕榈酸含量高于对照组(浸泡

20 min、萌动24 h除外), 在3个浸泡时间下, 随萌动时间延长, 棕榈酸含量稍有降低; 硬脂酸含量均高于对照组(除浸泡20 min、萌动0 h外)。实验中还发现对照组芝麻酱中花生酸含量为0.55%, 而在经过浸泡和萌动处理的芝麻酱中没有检测到花生酸的存在。

3 结 论

芝麻浸泡2、5 h时, 粗脂肪、粗蛋白质量分数降低; 不同浸泡时间芝麻中灰分质量分数均有所降低, 粗纤维质量分数增加, 总糖质量分数呈现先增加后降低趋势。萌动处理芝麻酱中粗脂肪、总糖和粗纤维质量分数与芝麻中变化趋势一致。随萌动时间的延长, 芝麻酱中粗脂肪质量分数呈逐渐降低趋势, 浸泡5 h、萌动24 h的芝麻酱中粗脂肪质量分数最低; 萌动后的芝麻酱中VE含量均高于对照组, 在浸泡20 min、萌动14 h时VE含量达到最大值, 为49.96 mg/100 g, 比对照组增加49.36%。结果表明, 萌动使芝麻、芝麻酱的成分发生改变, 萌动处理是制备低脂肪质量分数、高VE含量芝麻酱的一种新途径。

参考文献:

- [1] LIU C L, CHEN Y S, YANG J H, et al. Antioxidant activity of tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) and common (*Fagopyrum esculentum* Moench) buckwheat sprouts[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 56(1): 173-178. DOI:10.1021/jf072347s.
- [2] 刘瑞花. 芝麻油生产工艺条件对芝麻木酚素含量的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 12-13.
- [3] PARK S H, RYU S N, BU Y, et al. Antioxidant components as potential neuroprotective agents in sesame (*Sesamum indicum* L.)[J]. Food Reviews International, 2010, 26(2): 103-121. DOI:10.1080/87559120903564464.
- [4] 余纲哲, 金霞. 绿豆的化学与利用[J]. 中国粮油学报, 1993, 8(增刊1): 55-63.
- [5] RUTKOWSKI A, KACZMAREK S A, HEJDYSZ M, et al. Effect of extrusion on nutrients digestibility, metabolizable energy and nutritional value of yellow lupine seeds for broiler chickens[J]. Annals of Animal Science, 2016, 16(4): 1059-1072. DOI:10.1515/aoas-2016-0025.
- [6] 吴小勇, 曾庆孝, 田金河, 等. 绿豆的浸泡工艺及其对绿豆种子萌发的影响研究[J]. 食品工业科技, 2004, 25(2): 104-105; 108. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2004.02.040.
- [7] DENG M D, QIAN H M, CHEN L L, et al. Influence of pre-harvest red light irradiation on main phytochemicals and antioxidant activity of Chinese kale sprouts[J]. Food Chemistry, 2017, 222: 1-5. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.11.157.
- [8] YUAN G, WANG X, GUO R, et al. Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts[J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1014-1019. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.01.040.
- [9] 朱转, 侯磊, 沈群, 等. 浸泡和超高压预处理对米饭中淀粉消化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 85-87. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.11.076.
- [10] 徐恒恒, 黎妮, 刘树君, 等. 种子萌发及其调控的研究进展[J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1141-1156. DOI:10.3724/SP.J.1006.2014.01141.

- [11] 申瑞玲, 绍舒, 董吉林. 萌动青稞的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(3): 21-25.
- [12] MURESAN V, DANTHINE S, BOLBOACA S D, et al. Roasted sunflower Kernel paste (Tahini) stability: storage conditions and particle size influence[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2015, 92(5): 669-683. DOI:10.1007/s11746-015-2622-7.
- [13] 张丽霞, 芦鑫, 宋国辉, 等. 萌芽对芝麻品质及芝麻酱风味的影响[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(2): 54-58. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2016.02.012.
- [14] 刘玉兰, 王丹, 刘瑞花, 等. 萌动芝麻及萌动芝麻油的品质研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(3): 51-54. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2015.03.014.
- [15] ÖZCAN M M, AL JUHAIMI F. Effect of sprouting and roasting processes on some physico-chemical properties and mineral contents of soybean seed and oils[J]. Food Chemistry, 2014, 154: 337-342. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.077.
- [16] 郑传进, 吴小勇, 杨洋, 等. 浸泡及萌发条件对大豆富硒作用的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 109-112.
- [17] 张冠初, 丁红, 戴良香, 等. 不同粒重、粒型花生种子吸水规律及萌发特性的研究[J]. 核农学报, 2016, 30(2): 372-378. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2016.02.0372.
- [18] 田艺心, 高会, 汪自强. 大豆种子萌发影响因素研究进展[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 153-157.
- [19] 苏玉顺, 李艳君, 赵方振, 等. 紫外-可见分光光度法在植物多糖含量测定中的应用[J]. 光谱实验室, 2011, 28(3): 1101-1107. DOI:10.3969/j.issn.1004-8138.2011.03.029.
- [20] 王莹辉. 米糠油的煎炸应用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 18.
- [21] 王颖颖, 侯利霞, 胡爱鹏, 等. 主成分分析法评价市售芝麻酱产品品质[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 310-314. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201706048.
- [22] 李铮. 芝麻酱中酸价测定方法研究[J]. 临床合理用药杂志, 2013, 6(5): 166. DOI:10.3969/j.issn.1674-3296.2013.05.154.
- [23] 冉启才, 周祥德. 芝麻中草酸含量及测定方法[J]. 四川粮油科技, 1992, 13(3): 34-36.
- [24] 孙丽萍, 张素娟, 梁宝爱. ICP-OES法同时测定燕麦片中的钾、钠、钙、镁、铁、锌[J]. 食品工程, 2015(2): 48-51. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2015.02.015.
- [25] 李桂华. 油料油脂检验与分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 107-108.
- [26] 吴海虹, 宋江峰, 李大婧, 等. 发芽处理对蚕豆主要营养成分与抗营养因子的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 110-113.
- [27] HAHM T S, PARK S J, LO Y M. Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(4): 1643-1647. DOI:10.1016/j.biortech.2008.09.034.
- [28] YAHYA A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame[J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21(7): 1439-1451. DOI:10.1080/01904169809365494.
- [29] BUCHANAN B, GRUISSEM W, JONES R. Biochemistry & molecular biology of plants[M]. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2000: 456-527.
- [30] 程红焱, 宋松泉. 种子萌发过程中贮藏油脂的动员[J]. 云南植物研究, 2007, 29(1): 67-73. DOI:10.3969/j.issn.2095-0845.2007.01.010.
- [31] YEN G C. Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesame indicum*) oil[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1990, 50(4): 563-570. DOI:10.1002/jsfa.2740500413.