

青麦绿豆糕风味物质分析

许 柠,王远辉,张国治*,张 雨

河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001

摘要:研究鲜食青麦仁深加工的一种新产品,主要分析青麦仁粉和绿豆粉赋予青麦绿豆糕的风味物质以及蒸制前后青麦绿豆糕的风味物质的变化。采用固相微萃取-气相色谱-质谱技术结合面积归一化法,分析计算青麦仁粉、绿豆粉、生青麦绿豆糕和熟青麦绿豆糕中的挥发性物质种类和相对含量。结果表明:青麦仁赋予生青麦绿豆糕的风味主要为清香味、杏仁味、水果味和花香味等;绿豆赋予生青麦绿豆糕的风味主要为杏仁味、清香味、花香味和坚果味。青麦绿豆糕在蒸制过程中,其所含有的蛋白质、脂类和淀粉等物质发生进一步反应形成新的风味物质,同时高温会增强部分风味物质的释放从而掩盖部分风味物质。熟青麦绿豆糕相较于生青麦绿豆糕,增加了多种醛类物质,减少了多种酯类物质,具有更浓郁的清香味和果香味,香气宜人。

关键词:青麦仁粉;绿豆粉;蒸制;青麦绿豆糕;风味物质

中图分类号:TS201.2

文献标志码:B

文章编号:1673-2383(2020)04-0069-08

DOI:10.16433/j.1673-2383.2020.04.011

Analysis of flavor substances in green wheat-mung bean cake

XU Ning, WANG Yuanhui, ZHANG Guozhi*, ZHANG Yu

College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: This study developed a new product for the deep processing of fresh green wheat kernel. It mainly analyzed the flavors imparted by green wheat kernel flour and mung bean flour and the changes in flavor substances of green wheat-mung bean cake before and after steaming. Solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry combined with area normalization was used to analyze and calculate the types and relative content of volatile substances in green wheat kernel flour, mung bean flour, raw and steamed-green wheat mung bean cakes. The results showed that green wheat kernels imparted the raw-green wheat-mung bean cake with clear, almond, fruit and floral flavors; green beans imparted the raw-green wheat-mung bean cake with almond, clear, floral and nut tastes. In the steaming process of green wheat-mung bean cake, proteins, lipids, starch and other molecules reacted further to form new flavor substances. At the same time, high temperature could enhance the release but mask some flavor substances. Compared with raw-green wheat-mung bean cake, steamed-green wheat-mung bean cake contained more aldehydes and less esters, and had a stronger clear and fruity fragrance, which was pleasant in aroma.

Key words: green wheat kernel powder; mung bean powder; steaming; green wheat-mung bean cake; flavor substance

随着消费者对食物健康化和营养化的追求,鲜食全谷物产品受到更高的关注,这主要是由于

鲜食全谷物可以最大程度上保留谷物的营养成分和活性物质。青麦是乳期末期收获已经饱满

收稿日期:2019-05-30

基金项目:河南省重大科技专项“鲜食谷物规模化加工关键技术研究及其产业化示范”(151100111300)

作者简介:许柠(1996—),男,山西大同人,硕士研究生,研究方向为食品科学与工程。

*通信作者:张国治,教授,E-mail:zgzh11@163.com

但未成熟的小麦粒。全谷物青麦仁全粉含有丰富的必需氨基酸、膳食纤维、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、微量元素等^[1]。

近10年,我国以鲜食青麦仁为原料开发的食品呈现显著增加趋势,鲜食青麦仁的开发源于传统食品——“碾转”^[2]。张康逸等^[1]以青麦粉代替相同比例的小麦粉制成青麦馒头,发现随着青麦粉添加量的增加,面团的粉质呈现劣变趋势,而且面筋网络结构出现孔洞,面团的硬度和黏度增加,青麦馒头品质下降。张雨等^[3]以青麦粉和糯米粉为原料制作而成的青麦糯米蒸糕,具有良好的感官品质。贺国亚^[4]研究表明,添加复合改良剂可以使青麦仁面包的感官品质、质构特性和风味得到改善。张国治等^[5]研究表明,配方优化后制成的青麦仁面条的蛋白质网络结构较好,接近于小麦面条。康志敏等^[6]以青麦仁、糯米制成的青麦仁粽子具有青麦特有的香气,而且粽子组织状态较好,黏合紧密,香甜软糯。宋范范等^[7]以青麦仁为主要原料制备成预制菜肴产品,优化酱包和原料包配方,得到一种新型的鲜食青麦仁产品。王文婷等^[8]以低筋面粉和青麦仁全粉为主要原料经过优化得到青麦仁全粉无蔗糖曲奇饼干,产品感官品质和质构较好。

固相微萃取(SPME)技术是集采样、萃取、浓缩、进样于一体的萃取分离技术,具有操作时间短、溶剂与样品用量少、重现性好、精度高、检出限低的优点^[9]。气相色谱-质谱(GC-MS)作为分析食品挥发性物质的技术之一,由于其重复性好被广泛应用^[10]。固相微萃取-气相色谱-质谱(SPME-GC-MS)联用技术是研究食品挥发性物质的主要手段,因而广泛用于风味研究。

青麦绿豆糕的开发是鲜食麦仁深加工的一种新形式,不仅增加小麦的附加值,也丰富鲜食麦仁深加工的产品种类,同时符合消费者对食品多样化、健康化、新鲜化趋势的要求。作者采用SPME-GC-MS技术,对青麦绿豆糕的主要原料(青麦仁粉、脱皮绿豆粉)、青麦绿豆糕蒸制前后的挥发性物质进行分析,探讨青麦绿豆糕成品的风味物质的来源。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

青麦:河南省农业科学院;脱皮绿豆:新乡良润全谷物食品有限公司;白糖:太古糖业(中国)

有限公司;黄油:广州南侨食品有限公司。

1.2 主要仪器与设备

BJ-800 A型多功能粉碎机:德清拜杰电器有限公司;MP5002型电子天平:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;C21-HT2115HM型多功能电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司;HM740型和面机:青岛汉尚电器有限公司;FB71310型模具:无锡贝克威尔器具有限公司;100目筛:浙江上虞市五四仪器筛具厂;Agilent GCMS(5975C-7890A)气质联用仪、G4 513A16位自动进样塔:美国安捷伦科技有限公司;50/20 μm DVB/CAR/PDMS萃取头:美国色谱科公司;HH-S2数显恒温水浴锅:金坛市医疗仪器厂;FD-100S型真空冷冻干燥机:北京惠诚佳仪科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 青麦绿豆糕的制作

将清洗后的青麦仁经真空冷冻干燥处理,干燥后粉碎过100目筛,得到青麦仁粉样品;将脱皮绿豆粉碎后过100目筛,得到绿豆粉样品。将70g青麦仁粉、30g绿豆粉、40g蒸馏水、15g白砂糖和2g黄油混合并和成面团(9min),使用模具成型得到生青麦绿豆糕样品,蒸制7.5min后得到熟青麦绿豆糕样品。

1.3.2 顶空固相微萃取

青麦仁粉和绿豆粉均取1.3.1中制备的样品;生、熟青麦绿豆糕均取距离顶部1/2处的糕点芯部,4种样品均取10g。样品置于30mL棕色螺口固相微萃取样品瓶中,放入80℃恒温水浴锅中平衡20min;同时,将固相微萃取头插入GC-MS仪的进样口中,在250℃条件下老化20min。将老化后的萃取头插入平衡好的样品瓶中,在80℃恒温水浴条件下吸附50min后取出,插入气相色谱进样口,解吸5min后拔出萃取头。

1.3.3 GC-MS分析条件

色谱条件:色谱毛细管柱为DB-5MS(60mm \times 0.32mm,1 μm);色谱柱起始温度40℃,保持2min,之后以5℃/min的速率升至180℃,再以10℃/min的速率升至250℃,并保持10min。载气为氦气,载气流量为0.8mL/min,压强为3.29 $\times 10^4$ Pa,进样口温度为250℃,运行时间47min。

质谱条件:电子轰击(electron impact, IE)离子源,电子能量70eV,离子源温度230℃,四级杆温度为150℃,扫描范围 m/z 35~450amu,溶剂延迟3min。

1.4 定性分析

挥发性成分的定性检索 NIST 08. L 谱库,同时根据匹配度结合人工解吸质谱图进行确定。采用峰面积归一化法进行定量,计算各挥发性成分的相对含量。其中,风味物质选取 80 以上的物质(最大值 100)。

2 结果与讨论

2.1 结果

2.1.1 青麦仁粉中挥发性物质分析

根据总离子流色谱图(图 1),经 NIST 08. L 谱图库联机搜索,然后经过挑选得到挥发性风味物质,其保留时间、物质名称、匹配度、相对含量以及气味特征如表 1 所示。

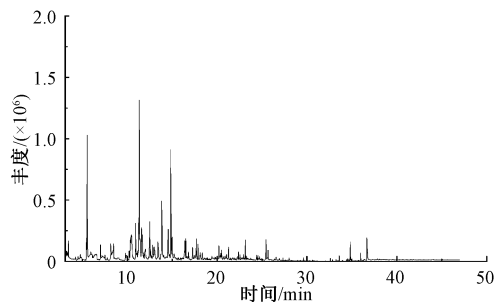


图 1 青麦仁粉挥发性成分总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion chromatogram of volatile components of green wheat flour

青麦仁粉中共有 37 种挥发性物质。烯炔类物质对风味的贡献多为轻微的甜味、柠檬香味。醛类物质的相对含量最高,其中相对含量较高的己醛(9.78%)、壬醛(9.31%)、苯甲醛(8.62%)的主要风味是青草味、清香味、花香味、杏仁味,其余醛类物质呈现丰富的风味。酯类物质的相对含量较低,但是具有丰富的风味层次,主要为果香味、奶香味、蜜香味等香甜风味。呋喃类物质较少,2-乙基呋喃具有豆香、麦芽香味,2-戊基呋喃具有清香味。酮类物质具有花香味、坚果味。

2.1.2 绿豆粉中挥发性物质分析

根据总离子流色谱图(图 2),经 NIST 08. L 谱图库联机搜索,然后经过挑选得到挥发性风味物质,其保留时间、物质名称、匹配度、相对含量以及气味特征如表 2 所示。

绿豆粉中共有 42 种挥发性物质。烯炔类物质呈现轻微的茴香味、甜味、柠檬香味、柑橘

表 1 青麦仁粉挥发性成分

Table 1 Volatile components of green wheat flour

物质类别	物质名称	保留时间/min	匹配度	相对含量/%	气味特征 ^[11-13]
烷烃类	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	11.263	83	2.57	-
	十二烷	17.678	95	2.42	-
	十三烷	20.493	94	0.77	-
	十四烷	23.142	97	1.33	-
	壬基环戊烷	24.395	93	0.44	-
	十九烷	33.608	96	0.28	-
	二十烷	36.000	95	1.42	-
烯炔类	苯乙烯	8.156	96	3.46	甜味
	环辛四烯	8.431	93	0.69	-
	右旋萜二烯	12.494	95	3.54	柠檬香味
	2,4-壬二烯	18.118	91	1.03	-
	茴香烯	20.184	98	1.58	茴香味
	1-十四烯	22.942	96	0.45	-
醛类	己醛	5.542	90	9.78	青草味
	2-己烯醛	7.035	91	1.00	水果味、清香味
	庚醛	8.477	81	1.13	中药味
	反-2-庚烯醛	10.211	90	0.72	脂肪味
	苯甲醛	10.337	95	8.62	杏仁味
	反-2,4-庚二烯醛	12.019	91	2.37	肉汤味、辛辣味
	苯乙醛	12.980	90	2.94	花蜜香味
	壬醛	14.845	90	9.31	清香味、花香味
	反-2-壬烯醛	16.516	86	2.00	清香味
	癸醛	17.867	87	1.30	清香味、坚果味
酯类	β -环柠檬醛	18.353	93	0.52	-
	己酸乙酯	11.590	87	2.66	果香味、菠萝香味、酒香味
	辛酸乙酯	17.621	93	0.57	水果味、焦糖味
	棕榈酸乙酯	34.827	96	1.23	蜡香、奶油香
	亚油酸乙酯	36.675	99	1.17	水果香味
呋喃类	油酸乙酯	36.726	99	0.93	蜜香味
	2-乙基呋喃	3.453	90	0.83	豆香、麦芽香味
	2-戊基呋喃	11.326	94	15.09	清香味
	3-辛烯-2-酮	12.826	87	1.38	坚果味、蘑菇味
酮类	3,5-辛二烯-2-酮	13.821	83	8.72	-
	反-3,5-辛二烯-2-酮	14.554	87	3.90	-
	香叶基丙酮	24.533	90	0.32	木兰香
醇类	β -紫罗酮	25.431	96	1.71	紫罗兰花香
	2,6-二甲基环己醇	14.988	83	1.82	-

注:-表示未找到物质的气味特征。表 2—表 4 同。

香味。醛类物质的相对含量较低,多为清香味、花香味、杏仁味。酯类物质种类相对丰富,主要风味为水果味、焦糖味、甜果香味、玫瑰花香。呋喃类物质为 2-戊基呋喃,具有清新味。醇类物质的风味多为杏仁味、蜂蜜味、脂肪味、清香味。

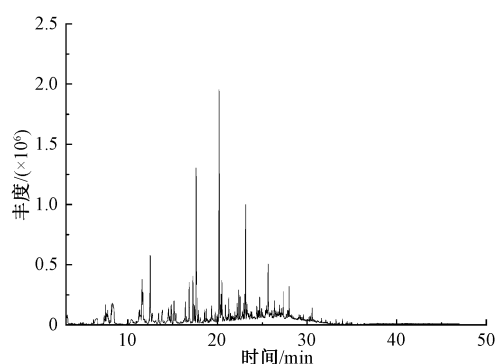


图2 绿豆粉挥发性成分总离子流色谱图

Fig. 2 Total ion chromatogram of volatile components of mung bean flour

2.1.3 生青麦绿豆糕中挥发性物质分析

根据总离子流色谱图(图3),经NIST 08. L谱图库联机搜索,然后经过挑选得到挥发性风味物质,其保留时间、物质名称、匹配度、相对含量以及气味特征如表3所示。

生青麦绿豆糕中共有38种挥发性物质。烷烃类物质的相对含量较低,约为5%,呈现轻微的甜味和茴香味。醛类物质的相对含量最高,其中苯甲醛(31.73%)、壬醛(13.24%)、己醛(8.92%)相对含量较高,呈现杏仁味、清香味、花香味和青草味;生青麦绿豆糕中的醛类物质主要由青麦仁粉贡献。酯类物质的种类变化复杂,与青麦仁粉和绿豆粉中的酯类物质有明显的差别,新增的酯类物质可能来自黄油;酯类物质多呈现樟脑味、奶油香、果香和水果香气,赋予青麦绿豆糕丰富的风味层次和宜人的香气。呋喃类物质中2-戊基呋喃具有清香气味。酮类物质中3-辛烯-2-酮、香叶基丙酮、 β -紫罗酮主要风味为坚果味、蘑菇味、花香味。醇类物质赋予独特的风味包括蘑菇香、薰衣草香、柏木味。酸类物质可能由黄油中的脂肪酸挥发形成。

2.1.4 熟青麦绿豆糕挥发性物质分析

根据总离子流色谱图(图4),经NIST 08. L谱图库联机搜索,然后经过挑选得到挥发性风味物质,其保留时间、物质名称、匹配度、相对含量以及气味特征如表4所示。

熟青麦绿豆糕中共有37种挥发性物质。烷烃类和烯烃类物质的相对含量较低,对整体风味贡献十分有限。醛类物质的相对含量高达77.4%,其中苯甲醛(22.74%)、壬醛(22.36%)、己醛(9.23%)相对含量较高,呈现杏仁味、清

表2 绿豆粉挥发性成分

Table 2 Volatile components of mung bean flour

物质类别	物质名称	保留时间/min	匹配度	相对含量/%	气味特征 ^[11,14-15]	
烷 烃 类	十三烷	20.487	97	2.36	-	
	2,6,10-三甲基十二烷	22.530	91	2.56	-	
	十四烷	23.142	98	5.68	-	
	2,6,10,14-四甲基十七烷	24.716	90	2.54	-	
	3-甲基十四烷	24.922	95	1.10	-	
	十五烷	25.649	97	5.22	-	
	环十五烷	26.907	93	2.31	-	
	3-甲基十五烷	27.331	81	2.37	-	
	十六烷	28.012	96	2.16	-	
	十七烷	30.255	95	0.25	-	
烯 烃 类	3-甲基十七烷	31.622	86	0.20	-	
	十八烷	32.109	96	0.12	-	
	苯乙烯	8.002	87	0.27	甜味	
	苯并环丁烯	8.145	95	1.13	-	
	1,3,5,7-环辛四烯	8.311	95	5.57	-	
	右旋萜二烯	12.494	95	5.99	柠檬香味	
	萜品烯	13.444	96	1.31	柑橘香味、 柠檬香味	
	茴香烯	20.173	98	14.26	茴香味	
	1-十四烯	22.936	98	1.16	-	
	长叶烯	23.486	99	1.09	-	
醛 类	α -柏木烯	23.652	93	0.59	-	
	6-乙基-6-甲基-1- 甲基乙基-3-甲基亚 乙基环己烯	26.347	87	1.93	-	
	苯甲醛	10.400	87	1.14	杏仁味	
	壬醛	14.846	86	1.81	清香味、花香味	
	反-2-壬烯醛	16.522	90	0.51	清香味	
	癸醛	17.861	91	0.79	清香味、坚果味	
	酯 类	己酸乙酯	11.584	87	2.93	果香味、菠萝 香味、酒香味
		丁酸己酯	17.455	86	1.46	甜果香味
		辛酸乙酯	17.615	94	11.81	水果味、焦糖味
		丙烯酸辛酯	18.553	87	0.81	-
乙酸苯乙酯		19.349	86	1.34	玫瑰花香	
癸酸乙酯		23.045	93	1.73	葡萄味	
邻苯二甲酸异丁基基酯		33.230	90	0.17	芳香气味	
呋 喃 类	棕榈酸甲酯	33.963	97	0.27	-	
	2-戊基呋喃	11.321	87	1.46	清香味	
酮 类	3,5-辛二烯-2-酮	13.856	96	2.08	-	
	反-3,5-辛二烯-2-酮	14.542	90	2.17	-	
	甲基壬基甲酮	20.339	90	1.01	-	
	6,10-二甲基-5, 9-十一碳二烯-2-酮	24.521	87	1.01	-	
醇 类	苯甲醇	12.717	96	1.56	杏仁味	
	苯乙醇	15.155	93	2.46	玫瑰味、蜂蜜味	
	1-壬醇	16.837	90	3.31	脂肪味、清香味	

香味、花香味和青草味;其余醛类物质多为清香味、肉香味、水果香味,具有丰富的风味层次。酯类物质为丁位十二内酯,具有奶油香、果香。呋

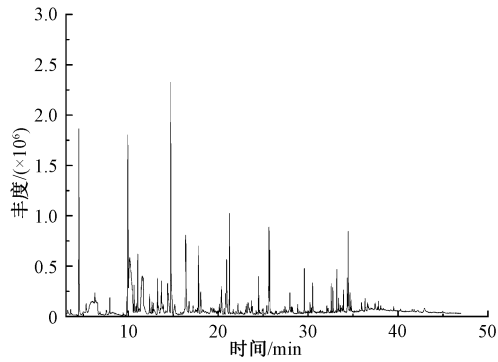


图 3 生青麦绿豆糕挥发性成分总离子流色谱图

Fig. 3 Total ion chromatogram of volatile components of raw green wheat-mung bean cake

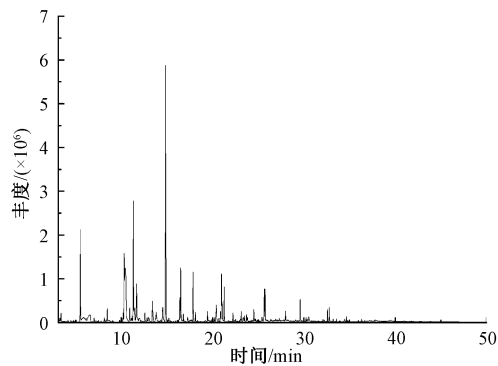


图 4 熟青麦绿豆糕挥发性成分总离子流色谱图

Fig. 4 Total ion chromatogram of volatile components of green wheat-mung steamed cake

喃类物质为 2-乙基呋喃和 2-戊基呋喃,具有豆香、麦芽香味、清香味。酮类物质呈现的风味为坚果味、蘑菇味、木兰花香和紫罗兰花香。醇类物质为 1-辛烯-3-醇,其风味为蘑菇香、薰衣草香。

2.2 讨论

2.2.1 青麦仁粉和绿豆粉风味物质比较

青麦仁粉和绿豆粉的挥发性物质在相对含量和种类上具有显著性差异,结果如图 5 所示。烷烃类和烯烃类物质的风味阈值较高,对风味的贡献微弱^[21]。青麦仁粉相较于绿豆粉所独有的醛类物质为己醛、2-己烯醛、庚醛、反-2-庚烯醛、反-2,4-庚二烯醛、苯甲醛、 β -环柠檬醛;这些醛类物质多呈现清香味、果香味,是青麦“独特风味”的部分贡献物质。青麦仁粉中的酯类物质多为油酸乙酯类:棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯、油酸乙酯,呈现风味主要为水果香味、蜜香味、奶油香味。绿豆粉中的酯类物质为丁酸己酯、丙烯酸辛酯、乙酸苯乙酯、癸酸乙酯,多呈现花香气和果香味。呋喃类物质中,青麦仁粉和绿豆粉均含有

表 3 生青麦绿豆糕挥发性成分

Table 3 Volatile components of raw green wheat mung-bean cake

物质类别	物质名称	保留时间/min	匹配度	相对含量/%	气味特征 ^[11,16-17]
烷烃类	十四烷	23.119	95	0.59	-
	十六烷	27.994	96	1.48	-
	十七烷	30.238	98	0.47	-
	十八烷	32.097	97	0.26	-
	2,6,10,14-四甲基十六烷	32.257	86	0.31	-
烯烃类	二十烷	35.977	97	0.46	-
	苯乙烯	7.550	93	0.14	甜味
醛类	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	12.379	90	0.93	-
	茴香烯	20.144	98	0.67	茴香味
酯类	己醛	4.523	83	8.92	青草味
	庚醛	7.956	87	0.75	中药味
	反-2-庚烯醛	9.850	95	0.86	脂肪味
	苯甲醛	10.176	95	31.73	杏仁味
	苯乙醛	12.786	87	0.44	花蜜香
	反-2-辛烯醛	13.335	94	2.89	鸡肉香味
	壬醛	14.737	90	13.24	清香味、花香味
	癸醛	17.804	91	5.03	清香味、坚果味
	反-2,4-壬二烯醛	18.055	94	1.51	肉香味
	肉豆蔻醛	20.676	87	0.38	牛奶香味、奶油香味、鱼香、果香
	反-2,4-癸二烯醛	20.939	94	2.99	鸡肉香味
呋喃类	5,9,13-三甲基-4,8,12-十四碳三烯醛	32.772	90	0.78	-
	对叔丁基苯乙酸甲酯	25.729	96	2.87	樟脑味
	丙位十二内酯	27.457	87	0.34	蜜桃香味
	丁位十二内酯	30.518	93	1.74	奶油香、果香
	邻苯二甲酸二异丁酯	33.213	90	1.48	芳香气
	棕榈酸甲酯	33.951	99	0.86	-
	邻苯二甲酸二丁酯	34.477	94	3.03	-
	棕榈酸乙酯	34.798	98	0.33	蜡香、奶油香
	亚油酸乙酯	36.652	96	0.15	水果香味
	2-戊基呋喃	11.063	91	2.80	清香味
酮类	3-辛烯-2-酮	12.642	93	0.49	坚果味、蘑菇味
	3,5-辛二烯-2-酮	13.678	95	4.71	-
	香叶基丙酮	24.504	86	1.68	木兰花香
醇类	β -紫罗酮	25.397	92	0.61	紫罗兰花香
	1-辛烯-3-醇	10.651	90	1.63	蘑菇香、薰衣草香
酸类	柏木醇	28.286	95	0.79	柏木味
	棕榈酸	34.369	99	1.43	-
	硬脂酸	36.612	83	0.23	-

2-戊基呋喃,其主要风味为清香味;但相对含量相差较大,这可能是青麦相较于绿豆具有更加浓郁清香的主要原因。青麦仁粉还具有一种呋喃类物质为 2-乙基呋喃,主要风味是麦芽香味和豆

表4 熟青麦绿豆糕挥发性成分

Table 4 Volatile components of green wheat-mung steamed cake

物质类别	物质名称	保留时间/min	匹配度	相对含量/%	气味特征 ^[11,18-20]
烷烃类	十三烷	23.125	96	0.76	-
	十四烷	24.699	81	0.29	-
	十六烷	27.995	97	0.77	-
	十七烷	30.238	98	0.26	-
	2,6,10,14-四甲基十五烷	30.364	80	0.20	-
	十八烷	32.097	93	0.12	-
	二十一烷	33.585	96	0.22	-
	烯烃类	2,3-二甲基-2-丁烯	4.134	80	0.18
1-乙酰环己烯		9.782	83	0.10	-
顺-3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯		12.568	80	0.84	-
茴香烯		20.167	98	0.39	茴香味
长叶烯		23.474	99	0.50	-
醛类	己醛	5.496	83	9.23	青草味
	2-己烯醛	7.001	91	0.26	水果味、清香味
	庚醛	8.448	90	0.99	中药味
	反-2-庚烯醛	10.182	91	0.73	脂肪味
	苯甲醛	10.302	95	22.74	杏仁味
	反-2,4-庚二烯醛	11.973	93	0.82	肉汤味、辛辣味
	苯乙醛	12.969	90	1.00	花蜜香味
	反-2-辛烯醛	13.392	91	2.71	鸡肉香味
	壬醛	14.840	90	22.36	清香味、花香味
	反-2-壬烯醛	16.499	94	5.02	清香味
	癸醛	17.850	94	3.78	清香味、坚果味
	反-2,4-壬二烯醛	18.096	95	0.87	肉香味
	十二醛	20.693	90	0.32	脂肪香味
	反-2,4-癸二烯醛	20.957	94	4.56	鸡肉香味
	酯类	2-十一烯醛	22.215	94	0.70
2-丁基-2-辛烯醛		22.507	89	0.23	肉香味
5,9,13-三甲基-4,8,12-十四碳三烯醛		32.778	87	1.08	-
丁位十二内酯		30.541	80	0.64	奶油香、果香
呋喃类	2-乙基呋喃	3.385	90	0.56	豆香、麦芽香味
	2-戊基呋喃	11.309	94	11.02	清香味
酮类	3-辛烯-2-酮	12.809	91	0.51	坚果味、蘑菇味
	反-3,5-辛二烯-2-酮	14.519	90	2.62	-
	香叶基丙酮	24.510	80	0.94	木兰花香
醇类	β -紫罗酮	25.403	94	0.45	紫罗兰花香
	1-辛烯-3-醇	10.915	90	1.23	蘑菇香、薰衣草香

香味。青麦仁粉中的酮类物质:3-辛烯-2-酮具有坚果味、香叶基丙酮具有木兰花香、 β -紫罗酮具有紫罗兰花香。绿豆粉中的醇类物质:苯甲醇具有杏仁味,苯乙醇具有玫瑰味和蜂蜜味,1-壬醇具有脂肪味和清香味。

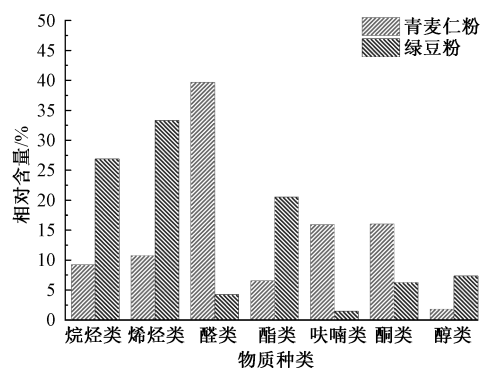


图5 青麦仁粉、绿豆粉中挥发性物质种类和相对含量对比

Fig. 5 Comparison of types and relative content of volatile components in green wheat kernel flour and mung bean flour

2.2.2 蒸制前后青麦绿豆糕风味物质比较

青麦绿豆糕在蒸制前后发生了复杂的变化,挥发性物质的种类和相对含量(图6)均有明显变化。在蒸制过程中,蛋白质、脂类、淀粉物质经过高温进一步氧化、裂解形成新的风味物质^[22],这一过程会赋予青麦绿豆糕不同的风味。蒸制后醛类物质种类和相对含量有所增加,增加的物质有:2-己烯醛、反-2,4-庚二烯醛、反-2-壬烯醛、十二醛、2-十一烯醛、2-丁基-2-辛烯醛;减少的为肉豆蔻醛。在风味上减少了蜡香、牛奶香、奶油香、鱼香;增加了清香、水果香、辛辣味、脂肪香、柑橘香、肉香味。醛类物质加热后更利于释放^[18],激发出更多的醛类物质赋予青麦绿豆糕更加立体化、多样化、分散化的风味层次。蒸制过程导致酯类物质减少严重,其中

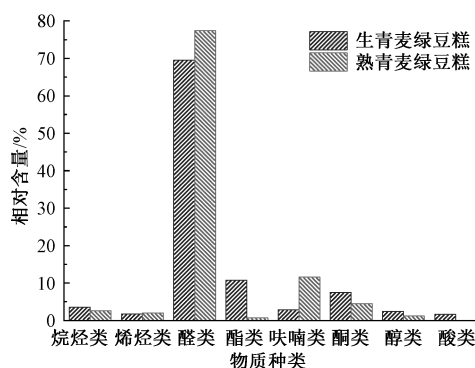


图6 青麦绿豆糕蒸制前后挥发性物质种类和相对含量对比

Fig. 6 Comparison of volatile components types and relative content before and after steaming of green wheat mung-bean cake

对叔丁基苯乙酸甲酯、丙位十二内酯、丁位十二内酯、邻苯二甲酸二异丁酯、棕榈酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸乙酯、亚油酸乙酯损失;丁位十二内酯增加。酯类物质的损失导致在风味上减少了果香气、蜡香气、蜜桃香,减弱了青麦绿豆糕果香气味。呋喃类物质、酮类物质和醇类物质变化不明显,对整体风味没有太多影响。酸类物质发生明显变化,蒸制后棕榈酸和硬脂酸消失。青麦绿豆糕在蒸制后,风味上减少油脂气、青草香;增加清香、水果香、柑橘香,蒸制使得青麦绿豆糕整体的风味更加清香宜人。

3 结论

青麦绿豆糕是一种新型的全谷物糕点,作者主要分析了青麦仁粉、绿豆粉、生青麦绿豆糕和熟青麦绿豆糕的挥发性物质。结果表明,由青麦仁赋予生青麦绿豆糕的风味主要为青草味、中药味、脂肪味、杏仁味、花蜜香味、清香味、坚果味、水果香、奶油香味和花香味;绿豆赋予生青麦绿豆糕的风味主要为杏仁味、清香味、花香味和坚果味。青麦绿豆糕中的蛋白质、脂类、淀粉物质经过高温会发生进一步反应形成新的风味物质,同时高温会增强部分风味物质的释放,也会掩盖部分风味物质。熟青麦绿豆糕增加了多种醛类物质,减少了多种酯类物质;蒸制使得青麦绿豆糕的风味呈现出更加浓郁的清香味、果香味和肉香味,而奶香味和部分不愉快气味减弱。

参考文献:

- [1] 张康逸,康志敏,王继红,等. 青麦粉添加对馒头面团及面筋蛋白结构的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 82-88.
- [2] 张康逸,屈凌波. 鲜食全谷物加工技术研究进展[J]. 粮食加工, 2015, 40(6): 61-65, 71.
- [3] 张雨,王松军,张国治,等. 青麦糯米蒸糕加工工艺研究[J]. 粮食加工, 2019, 44(5): 24-27.
- [4] 贺国亚. 青麦仁面包制备及品质研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2017.
- [5] 张国治,杨徐宁,卫阿枝,等. 青麦仁面条品质分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 68-73.
- [6] 康志敏,张康逸,崔满满,等. 青麦仁粽子加工工艺及品质分析[J]. 食品科学, 2015(8): 81-85.
- [7] 宋范范,张康逸,杨妍,等. 青麦仁预制菜肴加工工艺的研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 155-159.
- [8] 王文婷,高焯,史文静,等. 青麦仁全粉无蔗糖曲奇饼干的研制[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2019, 35(9): 93-96.
- [9] 徐溢,付钰洁. 固相微萃取萃取头制备技术及试验方法的进展[J]. 色谱, 2004, 22(5): 68-74.
- [10] CHENG H, QIN Z H, GUO X F, et al. Geographical origin identification of propolis using GC-MS and electronic nose combined with principal component analysis[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 813-822.
- [11] 宋焕禄. 分子感官科学[M]. 北京:科学出版社, 2014: 11-231.
- [12] BURDACK-FREITAG A, SCHIEBERLE P. Characterization of the key odorants in raw Italian hazelnuts (*Corylus avellana* L. var. Tonda Romana) and roasted hazelnut paste by means of molecular sensory science[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(20): 5057-5064.
- [13] HILLMANN H, MATTES J, BROCKHOFF A, et al. Sensomics analysis of taste compounds in balsamic vinegar and discovery of 5-acetoxymethyl-2-furaldehyde as a novel sweet taste modulator[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(40): 9974-9990.
- [14] HWANG S H, HONG J H. Sensory drivers of goso flavor in soymilk: Understanding a complex traditional Korean sensory attribute[J]. Food Quality and Preference, 2013, 29(2): 113-125.
- [15] KING E S, OSIDACZ P, CURTIN C, et al. Assessing desirable levels of sensory properties in Sauvignon Blanc wines-consumer preferences and contribution of key aroma compounds[J]. Australian Journal of Grape and

- Wine Research, 2011, 17(2): 169-180.
- [16] NIGHTINGALE L M, CADWALLADER K R, ENGESETH N J. Changes in dark chocolate volatiles during storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(18): 4500-4507.
- [17] STEINHAUS M, SINUCO D, POLSTER J, et al. Characterization of the key aroma compounds in pink guava (*Psidium guajava* L.) by means of aroma re-engineering experiments and omission tests [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(7): 2882-2888.
- [18] 王建晖. 几种茶用香花香气成分的分析研究[D]. 重庆:西南农业大学, 2003.
- [19] 张婷婷, 杨玉红, 王世强, 等. 丁香花精油提取工艺及不同花期香气成分分析 [J]. 湖南农业科学, 2011(1): 97-100.
- [20] DU X, PLOTTO A, BALDWIN E, et al. Evaluation of volatiles from two subtropical strawberry cultivars using GC-olfactometry, GC-MS odor activity values, and sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(23): 12569-12577.
- [21] 乐之歆, 庄伟强, 黄健, 等. 固相微萃取/气-质联用分析猴头菇挥发性风味成分 [J]. 食品工业, 2015, 36(9): 278-282.
- [22] 任国宝, 任晨刚, 曾维鹏, 等. 全麦粉品质及其挥发性物质研究 [J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 8-15.

(上接第 68 页)

- [19] SOTOLONGO A C, MARTINIS E M, WUILLOUD R G, et al. An easily prepared graphene oxide-ionic liquid hybrid nanomaterial for micro-solid phase extraction and preconcentration of Hg in water samples [J]. Analytical Methods, 2018, 10(13): 338-346.
- [20] YU H L, HO T D, ANDERSON J L. Ionic liquid and polymeric ionic liquid coatings in solid-phase microextraction [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2013, 45: 219-232.
- [21] JIANG Q, LIU Q, CHEN Q L, et al. Dicationic polymeric ionic-liquid-based magnetic material as an adsorbent for the magnetic solid-phase extraction of organophosphate pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Journal of Separation Science, 2016, 39: 3221-3229.
- [22] TENG Z G, SUN C H, SU X D, et al. Superparamagnetic high-magnetization composite spheres with highly aminated ordered mesoporous silica shell for biomedical applications [J]. Journal of Materials Chemistry B, 2013(1): 4684-4691.
- [23] HE L J, CUI W H, WANG Y L, et al. Polymeric ionic liquid based on magnetic materials fabricated through layer-by-layer assembly as adsorbents for extraction of pesticides [J]. Journal of Chromatography A, 2017, 1522: 9-15.