

不同炒籽工艺对低芥酸浓香菜籽油风味的影响

扈柏文^{1,2}, 武州^{1,2}, 于森^{1,2}, 赵慧敏^{1,2}, 李晓龙^{1,2}, 苏晓霞^{1,2}, 惠菊^{1,2}, 王翔宇^{1,2}, 初柏君^{1,2}

(1. 中粮营养健康研究院有限公司 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209; 2. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 南京 210023)

摘要:为了研究不同炒籽工艺对低芥酸浓香菜籽油风味的影响,以低芥酸油菜籽为原料,研究入炒水分、炒籽温度、炒籽时间对低芥酸浓香菜籽油风味物质含量及感官品质的影响。结果表明:从低芥酸浓香菜籽油中共鉴定出65种挥发性风味物质;随炒籽温度上升、炒籽时间延长,低芥酸浓香菜籽油中呈现烤香味的杂环类物质总含量逐渐增加;随炒籽温度上升和入炒水分的增加,呈现刺激味的硫苷降解产物(含硫类化合物、腈类化合物)总含量逐渐增加;在感官上,低芥酸浓香菜籽油主要体现为烤香味、焦糊味,还能感知到腌菜味和刺激味;随炒籽温度升高,低芥酸浓香菜籽油中烤香味感官属性得分先上升后降低,150℃时得分最高,而焦糊味、腌菜味等感官属性得分逐渐升高;随炒籽时间延长,烤香味感官属性得分逐渐降低,焦糊味感官属性得分逐渐升高;随入炒水分增加,烤香味、焦糊味感官属性得分在一定范围内稳定波动。炒籽过程中一定的炒籽温度及增加水分能够明显提升消费者喜好度。

关键词:低芥酸油菜籽;浓香菜籽油;炒籽工艺;风味物质;感官评价

中图分类号:TS224.2;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)07-0033-06

Effect of roasting of rapeseeds on flavor of fragrant rapeseed oil with low erucic acid

HU Bowen^{1,2}, WU Zhou^{1,2}, YU Miao^{1,2}, ZHAO Huimin^{1,2}, LI Xiaolong^{1,2},
SU Xiaoxia^{1,2}, HUI Ju^{1,2}, WANG Xiangyu^{1,2}, CHU Baijun^{1,2}

(1. Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition & Foods, Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, COFCO Nutrition and Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China; 2. The Jiangsu Province Center of Cooperative Innovation for Modern Grain Circulation and Security, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to study the effects of different roasting processes of rapeseeds on the flavor of fragrant rapeseed oil with low erucic acid, using low erucic acid rapeseed as raw material, the effects of water content, roasting temperature and roasting time on the flavor component content and sensory quality of fragrant rapeseed oil with low erucic acid were studied. The results showed that a total of 65 volatile flavor compounds were identified in the fragrant rapeseed oil with low erucic acid. With the increase of roasting temperature and roasting time, the total content of heterocyclic substances presenting roasting flavor gradually increased. With the increase of roasting temperature and water content, the total content of glucosinolates degrading products (sulfur-containing compound and nitrile compound) presenting stimulating flavor in fragrant rapeseed oil with low erucic acid gradually increased. In sensory sense, the fragrant rapeseed oil with low erucic acid mainly presented the roast flavor and burnt flavor, but also presented the pickled vegetable flavor and stimulating flavor. With the increase of roasting temperature,

the sensory attribute score of roasting flavor increased firstly and then decreased, reaching the highest at 150℃, and the sensory attribute score of burnt flavor and pickled vegetable flavor increased gradually. With the prolonging of

收稿日期:2021-07-20;修回日期:2022-04-01

作者简介:扈柏文(1995),女,助理工程师,硕士,主要从事油脂风味分析和产品开发工作(E-mail)hubowen@cofco.com。

通信作者:初柏君,高级工程师(E-mail)chubaijun@cofco.com。

roasting time, the sensory attribute score of roasting flavor decreased gradually, and the sensory attribute score of burnt flavor increased gradually. With the increase of water content, the sensory attribute scores of roasting flavor and burnt flavor fluctuated stably within a certain range. A certain roasting temperature and increase in water content during roasting process can significantly improve consumer preference.

Key words: low erucic acid rapeseed; fragrant rapeseed oil; roasting process; flavor component; sensory evaluation

菜籽油是市面上常见的食用植物油之一,因其风味浓郁、营养价值高而深受消费者喜爱^[1]。近些年浓香菜籽油产品陆续推出,2019年浓香菜籽油产量已占全国菜籽油近30%的市场份额,成为菜籽油的主导产品之一^[2]。浓香菜籽油是以油菜籽为原料,经过炒籽、压榨的方法制取得到的具有浓郁香味的成品菜籽油。作为全球菜籽油的第一消费国^[2],浓香菜籽油在我国具有良好的市场发展前景。

我国浓香菜籽油的主要生产原料是国产油菜籽^[3],市面上常见的菜籽油主要分为两种:一种是低芥酸菜籽油,国家标准(GB/T 1536—2021)中规定,低芥酸菜籽油中芥酸含量不超过总脂肪酸的3%,依据我国农业行业标准(NY/T 415—2000)规定,低芥酸低硫苷(硫代葡萄糖苷的简称)油菜籽中芥酸含量不高于5.0%,硫苷含量不超过45.0 $\mu\text{mol/g}$;另一种是芥酸含量超过3%的菜籽油,又称传统菜籽油,其中芥酸和硫苷的含量通常较高^[4]。

研究发现,不同的制备工艺^[5-7]、精炼工艺^[8-9]、油菜籽生产产地^[1]会对菜籽油的风味产生影响,而风味是评价浓香菜籽油的重要标准。硫苷降解反应、美拉德反应、脂肪氧化反应是菜籽油风味的主要来源^[5,10-14],这些反应主要发生在油菜籽原料的加工过程中。目前不乏对油菜籽原料^[15]及其加工工艺^[16]的研究,如彭洁等^[3]研究发现对浓香菜籽油制备工艺影响最大的是炒籽时间,并从浓香菜籽油中检测到69种风味物质。但关于油菜籽不同炒籽工艺条件对低芥酸浓香菜籽油中风味物质的影响研究较少。本文对低芥酸油菜籽进行炒籽,研究不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下浓香菜籽油中风味物质的变化趋势,探究不同炒籽工艺对油菜籽中硫苷降解反应和美拉德反应的影响,以期对浓香菜籽油风味的深入研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

低芥酸油菜籽,中粮粮油工业(黄冈)有限公司提供。

正己烷、甲醇,色谱纯,美国 Thermo Fisher 公司;2-甲基-3-庚酮,美国 Sigma 公司;氢氧化钾、

氯化钠,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;氦气(纯度99.999%),法国液化空气集团。

Agilent7890B-5977B 气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦公司;固相微萃取器手柄、30/50 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司;ODP 3 嗅闻装置,德国 Gerstel 公司;AR323CN 电子天平,美国奥豪斯公司;HHS 电热恒温水浴锅,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;NPL-304G 炒籽机,韩国 NPL 公司;KOMET CA59G 螺旋榨油机,德国 Komet 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 油菜籽中芥酸、硫苷含量的检测

参照 GB 10219—1988 检测油菜籽中芥酸含量,参照 NY/T 415—2000 检测油菜籽中硫苷含量。

1.2.2 低芥酸浓香菜籽油的制备

称取 2 kg 低芥酸油菜籽于容器中,调节油菜籽水分,于炒籽机中在一定炒籽温度下炒籽一定时间,然后经螺旋榨油机压榨,所得原油经过冷却、过滤,得到浓香菜籽油。

1.2.3 挥发性物质测定

1.2.3.1 样品前处理

采用手动固相微萃取(SPME)技术对菜籽油中的挥发性风味化合物进行提取。在 20 mL 顶空瓶中加入 5 g 浓香菜籽油样品,加入 1 μL 41 mg/mL 2-甲基-3-庚酮作为内标,混合后密封。将样品置于 55 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡 20 min,之后插入固相微萃取纤维头顶空吸附 40 min,待吸附结束后,将萃取头插入气相色谱仪进样口,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 下解吸 5 min。

1.2.3.2 气相色谱-嗅闻-质谱联用(GC-O-MS)检测条件

气相色谱条件:DB-Wax 色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);升温程序为初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$,再以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min;载气为氦气,流速 1.6 mL/min;进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;不分流进样。

嗅闻检测器条件:色谱柱接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件:离子源种类为电子轰击,电子能量 70 eV,传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四极

杆温度 150 ℃,质量扫描范围(m/z) 40 ~ 250,溶剂延迟时间 3 min。

1.2.3.3 化合物定性

通过 GC-MS 化学工作站处理,未知化合物与 NIST 2020 谱库进行匹配定性,对匹配度大于 800 (最大值为 1 000)的鉴定结果予以报道。

1.2.3.4 化合物定量

通过 GC-MS 化学工作站处理,以 2-甲基-3-庚酮作为内标,用内标法定量计算各化合物在浓香菜籽油中的含量。

1.2.4 感官评价

1.2.4.1 描述性分析实验

参考 GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分:优选评价员》组建 10 人的浓香菜籽油评价小组,并确定菜籽油感官描述词、定义及评分标尺。在标准的感官评价测试环境下,要求评价员对随机编号的样品进行描述打分,分值范围为 1 ~ 15 分,其中 1 ~ 5 分代表风味强度较弱,6 ~ 10 分代表风味强度中等,11 ~ 15 分代表风味强度较强。

1.2.4.2 喜好度测试实验

召集 60 名消费者,在标准的感官评价测试环境下,对随机编号样品进行嗅闻测试,并根据对每个样品的喜好程度打分,分值范围为 1 ~ 7 分,其中 1 分

代表“非常不喜欢”,2 分代表“比较不喜欢”,3 分代表“有点不喜欢”,4 分代表“一般”,5 分代表“有点喜欢”,6 分代表“比较喜欢”,7 分代表“非常喜欢”。消费者喜好度为给样品评分为“喜欢”的消费者人数占测试总人数的比例。

1.2.5 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据处理,采用 XLSTAT 进行主成分分析。

2 结果与讨论

2.1 油菜籽原料中芥酸及硫苷含量

经测定,油菜籽中芥酸含量为 0.073%,硫苷含量为 25.39 $\mu\text{mol/g}$,符合 NY/T 415—2000 规定中一级低芥酸低硫苷油菜籽的定义(芥酸含量 $\leq 3.0\%$,硫苷含量 $\leq 35.0 \mu\text{mol/g}$);所得浓香菜籽油中芥酸含量低于 3%,符合 GB/T 1536—2021 中规定的低芥酸菜籽油的定义。

2.2 不同炒籽工艺对低芥酸浓香菜籽油风味物质的影响

通过 SPME-GC-O-MS 从低芥酸浓香菜籽油中共检测到 65 种挥发性风味物质,不同炒籽工艺条件下浓香菜籽油的风味物质种类较相似,但含量存在明显差异。不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油中各类风味物质总含量见表 1。

表 1 不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油中各类风味物质的总含量

风味物质	不同炒籽温度下的含量/ $(\mu\text{g/g})$				不同炒籽时间下的含量/ $(\mu\text{g/g})$				不同入炒水分下的含量/ $(\mu\text{g/g})$			
	140 ℃	150 ℃	160 ℃	170 ℃	20 min	30 min	40 min	45 min	6%	10%	15%	20%
醇类化合物	1.05	1.20	1.56	2.09	1.22	1.30	1.16	1.52	2.44	1.87	2.22	3.24
酮类化合物	1.81	5.37	9.16	13.89	3.84	3.70	4.55	5.42	4.37	4.40	5.63	5.38
酯类化合物	2.97	7.64	11.32	14.18	4.36	5.49	6.00	6.46	5.44	7.36	7.85	8.43
醛类化合物	4.16	6.19	5.55	6.02	4.63	4.10	3.73	4.23	5.28	5.10	5.89	5.04
含硫类化合物	5.58	6.97	5.47	11.35	11.38	9.45	6.69	9.84	7.01	6.97	7.83	10.10
酸类化合物	18.46	31.04	52.47	65.94	26.55	27.23	25.70	34.73	28.42	26.97	42.73	31.26
腈类化合物	48.58	66.94	71.78	86.88	115.12	120.51	119.07	125.66	108.91	109.99	154.43	155.76
杂环类化合物	84.91	203.85	259.98	381.99	188.33	200.13	212.68	245.38	209.86	229.18	281.63	244.85

注:研究炒籽温度时,炒籽时间为 30 min,入炒水分为 10%;研究炒籽时间时,炒籽温度为 150 ℃,入炒水分为 20%;研究入炒水分时,炒籽温度为 150 ℃,炒籽时间为 30 min。下同

由表 1 可知,随炒籽温度升高,醇类、酮类、酯类、酸类、腈类、杂环类物质总含量均有不同程度的上升,其中杂环类物质增加最多,总含量从 84.91 $\mu\text{g/g}$ 增长至 381.99 $\mu\text{g/g}$,增长了 297.08 $\mu\text{g/g}$,占比从 50.69% 增长至 65.60%。杂环类物质是美拉德反应的重要产物之一,美拉德反应产物更多呈现烘烤香风味,随炒籽温度上升,杂环类物质总含量升高,浓香菜籽油烘烤香更加浓郁。

随炒籽时间延长,酯类、杂环类物质总含量均有不同程度的上升,其中杂环类物质增加最多,但总含量增长幅度不及炒籽温度实验,总含量从 188.33 $\mu\text{g/g}$ 增长至 245.38 $\mu\text{g/g}$,增长 57.05 $\mu\text{g/g}$,占比从 52.99% 上升至 56.64%,浓香菜籽油烘烤香更加浓郁。

随入炒水分升高,酮类、醛类、酸类、杂环类化合物总含量整体均呈现先上升后降低的趋势,在入炒水分为 15% 时,这些风味物质的含量最高,酯

类、腈类化合物的总含量均呈上升趋势。酶降解是硫苷降解反应的重要途径之一,在水存在的情况下,油菜籽本身所含有的硫苷酶(又称黑芥子酶)会催化硫苷发生水解反应^[17],生成不稳定的中间产物^[18],水一定程度上能够促进酶降解反应的发生。腈类物质是重要的硫苷降解产物之一,随着油菜籽水分含量上升,低芥酸浓香菜籽油中腈类物质总含量整体呈上升趋势,浓香菜籽油刺

激味更加突出。

为了探究低芥酸浓香菜籽油中关键风味物质在不同炒籽工艺下的变化规律,采用 SPME - GC - O - MS 分析不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油中各关键风味物质含量,结果见表 2。不同炒籽工艺条件下低芥酸浓香菜籽油风味物质 PCA 分析如图 1 所示。

表 2 不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油中关键风味物质含量

化合物	风味描述	不同炒籽温度下的 含量/($\mu\text{g/g}$)				不同炒籽时间下的 含量/($\mu\text{g/g}$)				不同入炒水分 下的含量/($\mu\text{g/g}$)			
		140 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$	160 $^{\circ}\text{C}$	170 $^{\circ}\text{C}$	20 min	30 min	40 min	45 min	6%	10%	15%	20%
二甲基二硫醚	卷心菜味	0.65	1.17	1.27	1.32	0.74	0.93	0.87	0.91	0.96	1.21	1.21	0.97
二甲基三硫化物	硫臭味	0.43	0.44	0.34	0.41	0.14	0.33	0.26	0.30	0.24	0.30	0.33	0.34
二甲基亚砷	大蒜味	1.82	3.07	2.40	2.73	1.76	2.03	1.53	1.85	2.19	2.98	2.75	1.93
乙酸	酸味	5.09	23.18	55.90	58.56	17.81	23.17	23.57	27.22	23.10	23.85	33.96	24.15
丙酸	腐败味	0.16	1.91	3.27	4.49	1.30	1.58	1.69	2.01	1.71	1.43	2.41	1.60
己酸	汗臭味	0.68	1.64	2.12	3.01	2.44	2.71	2.67	3.44	2.58	2.70	3.51	2.92
甲基环戊烯醇酮	焦糖味	0.26	1.06	2.40	4.56	0.74	0.91	1.06	1.10	0.66	0.73	1.15	1.00
γ -丁内酯	焦糖味	2.43	5.60	7.13	8.13	3.35	4.05	4.14	4.28	3.53	5.41	5.56	6.66
γ -巴豆酰内酯	奶酪味	0.54	2.04	4.19	6.05	1.01	1.44	1.86	2.19	1.91	1.95	2.29	1.77
3-苯基丙腈	早金莲味	5.45	10.77	14.10	14.29	14.62	17.47	17.67	18.48	10.08	10.22	15.80	16.91
2,5-二甲基吡嗪	烤香味	16.24	31.34	26.44	24.39	22.12	23.90	21.55	21.65	24.22	29.49	27.12	24.08
2,6-二甲基吡嗪	烤坚果味	4.37	9.56	13.33	17.27	6.37	8.36	7.86	7.75	7.21	7.74	10.05	8.74
2-乙基-6-甲基吡嗪	烤土豆味	2.56	5.53	8.87	11.39	4.64	6.47	6.51	6.22	5.34	5.59	7.07	6.47
2-乙基-5-甲基吡嗪	水果甜味	6.69	12.96	13.01	16.03	8.68	10.49	9.51	9.52	10.40	12.09	11.70	10.70
2,3,5-三甲基吡嗪	烤香味	5.39	13.11	15.23	18.83	10.80	13.02	12.61	12.70	12.62	14.22	15.16	12.89
2-糠醛	杏仁味	6.28	38.22	53.26	61.73	17.08	25.79	36.17	40.29	39.03	38.27	52.93	25.59
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	烤香味	12.24	27.98	28.27	29.30	24.66	29.23	28.08	28.16	24.95	31.56	30.91	28.95
2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	坚果味	1.23	3.24	3.66	4.19	2.39	3.27	3.22	3.16	2.60	3.22	4.69	3.32
2,5-二甲基-3-丙基吡嗪	烤香味	0.29	0.67	0.88	1.01	0.43	0.95	0.88	0.91	0.66	0.56	0.63	0.93
5-甲基呋喃醛	爆米花味	0.98	6.47	21.51	51.67	3.50	5.41	9.93	11.64	7.91	7.45	13.05	9.15
糠醇	焦糊味	1.12	6.16	18.52	34.42	3.36	3.95	6.24	6.81	3.64	5.91	7.14	6.18
2-乙酰基吡咯	面包味	1.01	2.87	5.36	8.41	2.56	3.64	4.20	4.59	2.67	3.08	3.74	4.06
2-吡咯甲醛	牛肉味	0.30	1.49	5.83	13.74	0.83	1.14	2.42	2.75	1.25	1.12	2.58	2.10
2,5-二甲基-4-羟基-3(2H)-呋喃酮	糖果味	1.98	5.89	10.01	10.10	5.13	6.16	6.32	6.83	3.94	4.49	5.97	6.10
2-甲氧基-4-乙烯苯酚	木头味	1.62	2.98	3.57	2.51	4.58	5.21	5.37	5.51	2.29	2.53	3.04	5.01
5-羟甲基-2-糠醛	纸板味	0.17	1.13	4.18	3.63	0.51	1.10	2.77	3.32	1.05	1.07	1.64	1.73

由表 2 可知:随炒籽温度上升,2-糠醛、乙酸、5-甲基呋喃醛、糠醇含量的增长幅度较大,2,5-二甲基吡嗪的含量在 150 $^{\circ}\text{C}$ 达到峰值,随后逐渐降低;随炒籽时间延长,2-糠醛、乙酸、5-甲基呋喃醛、3-苯基丙腈含量的上升幅度较大,2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基

吡嗪含量呈先增后降的趋势,在炒籽时间为 30 min 时达到峰值;随入炒水分的上升,大部分风味物质的含量呈先上升后下降的趋势,分别在入炒水分为 10% 或 15% 时达到峰值,只有 3-苯基丙腈、 γ -丁内酯、2-甲氧基-4-乙烯苯酚等物质含量呈上升趋势。

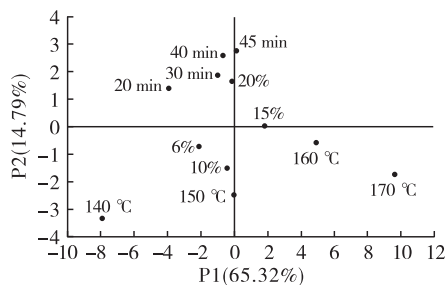


图1 不同炒籽工艺条件下低芥酸浓香菜籽油风味物质的PCA分析

由图1可知:通过比较PCA分析结果中各炒

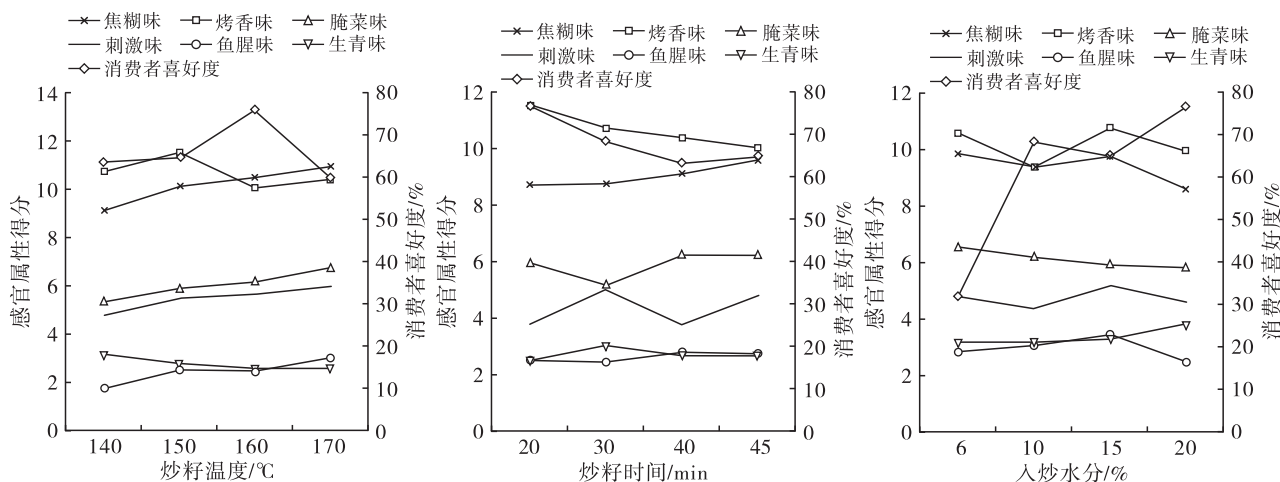


图2 不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油描述性分析及喜好度评价

由图2可知,随着炒籽温度的上升,焦糊味、刺激味、腌菜味、鱼腥味的感官属性得分升高,生青味感官属性得分降低,烤香味先上升后降低,在150℃时烤香味感官属性得分最高。随炒籽温度的上升消费者喜好度先上升后降低,在炒籽温度160℃时消费者喜好度最高。

随着炒籽时间的延长,烤香味感官属性得分逐渐降低,焦糊味感官属性得分逐渐升高,腌菜味、刺激味感官属性得分在一定范围内稳定波动,生青味感官属性得分先升高后降低,鱼腥味感官属性得分整体上升。消费者喜好度随炒籽时间延长逐渐降低。随炒籽时间延长,样品中烤香味感官属性得分呈下降趋势,但样品中主要呈烤香味的杂环类物质总含量上升,说明风味物质间存在拮抗作用,且风味物质含量不同时所呈现的感官风味属性存在差异。

随着入炒水分的增加,烤香味、焦糊味、刺激味、鱼腥味感官属性得分在一定范围内稳定波动,生青味感官属性得分逐渐升高,而腌菜味感官属性得分呈逐渐降低的趋势;炒籽过程中加入水,消费者喜好度明显提升,入炒水分为20%时消费者喜好度最高。

3 结论

低芥酸浓香菜籽油样品中共检测到65种挥发

籽工艺点间相对位置,炒籽温度各点间相对距离较大,因此炒籽温度对浓香菜籽油风味的影响最大;而炒籽时间各点间相对距离较集中,因此炒籽时间的影响较小;入炒水分各点相对距离也较大,因此不同入炒水分条件下浓香菜籽油的风味差异较大。

2.3 不同炒籽工艺对低芥酸浓香菜籽油感官品质的影响

不同炒籽温度、炒籽时间、入炒水分条件下低芥酸浓香菜籽油的描述性分析及喜好度评价如图2所示。

性风味物质,不同炒籽工艺条件下产生的浓香菜籽油的风味物质种类相似,但含量存在明显差异。随着炒籽温度上升、炒籽时间延长,低芥酸浓香菜籽油中杂环类物质的总含量逐渐上升;随着入炒水分的增加,菜籽油中杂环类物质总含量先上升后下降,入炒水分为15%时达到峰值,硫苷降解产物(含硫类化合物、腈类化合物)总含量逐渐增加。低芥酸浓香菜籽油主要呈现烤香味、焦糊味,此外还有腌菜味、刺激味体现。炒籽温度和炒籽时间与焦糊味感官属性得分成正比。炒籽过程中一定的炒籽温度和增加水分能够明显提升消费者喜好度。

参考文献:

- [1] 张谦益,包李林,熊巍林,等.不同产地浓香菜籽油中特征风味物质的研究[J].中国油脂,2018,43(8):23-28.
- [2] 王瑞元.中国菜籽油的生产和消费情况[J].中国油脂,2019,44(11):1-2.
- [3] 彭洁,陈甜甜,潘亚瑜,等.浓香型菜籽油制备工艺的优化研究[J].食品与发酵科技,2021,57(2):84-90.
- [4] 毕艳兰.油脂化学[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 毛晓慧.炒籽过程中浓香菜籽油产香机制的研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2020.

(下转第55页)

能较差,而900℃煅烧获得的复合材料的吸附性能最好。分析可知,碳酸钙的分解温度在900℃左右,有可能在900℃煅烧过程中部分碳酸钙分解产生二氧化碳气体导致产生更多微孔隙,从而有利于对亚甲基蓝等有机染料的吸附。

3 结论

本研究以油茶果壳为原料制备了多孔钙/油茶果壳碳复合材料,其表面具有特殊的网状多孔结构,比表面积达到118 m²/g,对亚甲基蓝有机染料具有优异的吸附性能。本研究为活化和开发高性能的油茶果壳碳材料提供了一条新颖的思路,有利于促进油茶产业进一步发展,对油茶果壳废弃物的高效和高值化利用也具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 沈建福,姜天甲,王徐卿. 油茶壳中总黄酮的最佳提取工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(3):104-106.
[2] 蒋应梯,陈顺伟,庄晓伟,等. 油茶壳用微波加热磷酸

法制活性炭[J]. 生物质化学工程, 2011(2):34-36.

- [3] 熊道陵,许光辉,张团结,等. 油茶壳残渣制备活性炭的工艺[J]. 化工进展, 2015, 34(12): 4280-4284.
[4] 刘雪梅,陈嘉玮,王宇航. 油茶壳活性炭的制备及应用研究进展[J]. 应用化工, 2018, 47(1): 190-192.
[5] 蒋恩臣,郭信辉,王明峰,等. 油茶壳连续热解挥发物冷凝特性研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 206-210.
[6] 章磊,安佳欢,徐思泉,等. 油茶壳原料制备木糖和高品质活性炭的研究[J]. 林业科技开发, 2018, 3(4): 81-86.
[7] 覃佐东,谢吉勇,黄生辉,等. 油茶壳综合利用研究进展[J]. 生物加工过程, 2016, 14(5): 74-78.
[8] LU B D, LIU G G, LIU M H, et al. Facile preparation of nano-Fe₃O₄/micro-carbon fiber from waste paper as self-propulsive solar-Fenton catalyst with excellent degradation performance and reusability[J]. Des Water Treat, 2020, 191: 300-309.

(上接第37页)

- [6] 袁桥娜,涂梦婕,董志文,等. 不同制备工艺菜籽油的风味成分比较研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(8):32-38.
[7] 吴浪,徐俐,谢婧,等. 不同炒籽温度对菜籽毛油挥发性风味物质的影响[J]. 中国油脂, 2012, 37(11):39-43.
[8] 谢婧,徐俐,吴浪,等. SPME-GC-MS对菜籽毛油和精炼菜籽油挥发性风味成分的分析[J]. 中国油脂, 2012, 37(8):84-87.
[9] 苏晓霞,郭斐,黄一珍,等. 精炼过程对菜籽油风味成分的影响[J]. 中国油脂, 2019, 44(3):41-47.
[10] 邓龙. 菜籽油特征香气成分和营养物质组成的研究[D]. 南昌:南昌大学, 2017.
[11] GRACKA A, JELEN H H, MAJCHER M, et al. Flavoromics approach in monitoring changes in volatile compounds of virgin rapeseed oil caused by seed roasting[J]. J Chromatogr A, 2016, 1428: 292-304.
[12] 张欢欢. 不同预处理技术对冷榨双低菜籽油品质及挥发性风味成分的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18):233-238.

- [13] 胡健华,吴建宝. 浓香油菜籽仁油制取新工艺技术研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2016, 35(2):106-108.
[14] JING B Y, GUO R, WANG M Z, et al. Influence of seed roasting on the quality of glucosinolate content and flavor in virgin rapeseed oil[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2020, 126(3): 109301 [2021-07-05]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109301>.
[15] 周琦,杨湄,黄凤洪,等. 微波和脱皮处理菜籽对油中活性成分的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(5):507-512.
[16] 陈秋冰,熊双丽,李安林,等. 浓香菜籽油加工工艺与质量评价研究进展[J]. 现代食品, 2019(11):57-59.
[17] 丁艳,李丽倩,曹蓉,等. 油菜籽饼粕中硫苷的酶解条件优化及降解产物分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2):383-393.
[18] 杨瑛洁,李淑燕,胡国伟,等. 硫代葡萄糖苷的降解途径及其产物的研究进展[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7):1490-1496.