

## “藜麦加工、营养与品质调控” 特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.04.005

黄睿涵, 祖里得孜·吐尔得, 黄凯, 等. 脱脂藜麦面条风味物质分析[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 37-49.

HUANG R H, ZULIDEZI Tuerde, HUANG K, et al. Analysis of flavoring substances in defatted quinoa noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 37-49.

# 脱脂藜麦面条风味物质分析

黄睿涵<sup>1</sup>, 祖里得孜·吐尔得<sup>1</sup>, 黄凯<sup>1</sup>, 曹洪伟<sup>1</sup>,  
周小玲<sup>2</sup>, 徐斌<sup>3</sup>, 管骁<sup>1</sup>✉

(1 上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093;

2 克明面业股份有限公司, 湖南 益阳 413200;

3 江苏大学 食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要:** 为改良藜麦面条品质, 抑制在藜麦粉加工中因油脂氧化产生哈败味对面条的负面影响, 采用正己烷作为浸出溶剂将藜麦粉进行脱脂处理, 利用固相微萃取技术和气质联用仪检测, 对普通面条、藜麦面条、脱脂藜麦面条及其面汤挥发性物质进行分析。结果表明, 重复进行3次脱脂操作可以有效降低藜麦油脂含量, 与小麦粉相比, 藜麦粉制成的面条挥发性风味物质中醛类、呋喃类和酮类物质增加, 脱脂处理可以降低藜麦面制品的青草味、酒味, 脱脂藜麦面制品的挥发性风味物质中酮类和酯类物质有明显差别。脱脂处理对藜麦风味具有改善作用, 且对藜麦粉中蛋白和淀粉的结构影响较小, 未来可以作为一种加工手段应用于藜麦加工中。

**关键词:** 藜麦; 面条; 顶空固相微萃取; 挥发性物质; 气质联用

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)04-0037-13

网络首发时间: 2021-07-05 10:10:32

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210702.1054.015.html>

## Analysis of Flavoring Substances in Defatted Quinoa Noodles

HUANG Rui-han<sup>1</sup>, ZULIDEZI Tuerde<sup>1</sup>, HUANG Kai<sup>1</sup>, CAO Hong-wei<sup>1</sup>,  
ZHOU Xiao-ling<sup>2</sup>, XU Bin<sup>3</sup>, GUAN Xiao<sup>1</sup>✉

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Kemin Noodle Manufacturing Co., Ltd., Yiyang, Hunan 413200, China; 3. School of Food Science and Biological engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of quinoa noodles and inhibit the negative effect of rancid taste caused by oil oxidation on noodles in processing quinoa powder, the defatting treatment of quinoa powder was introduced, and the volatile substances in common noodles, quinoa noodles, defatted quinoa noodles and their soups were analyzed. In experiment, n-hexane was used as the leaching solvent for defatting,

收稿日期: 2021-04-22

基金项目: 上海曙光计划项目(19SG45); 上海市青年科技英才扬帆计划(34-20-308-004); 上海市科委地方高校能力建设项目(20060502100)

Supported by: The “Down” Program of Shanghai Education Commission (No.19SG45); Shanghai Sailing Program (No.34-20-308-004); Capacity building project of local universities of Shanghai Science and Technology Commission (No.20060502100)

作者简介: 黄睿涵, 男, 1996年出生, 在读研究生, 研究方向为谷物精深加工。E-mail: hrhresearch@163.com.

通讯作者: 管骁, 男, 1979年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为谷物加工与营养。E-mail: gnxo@163.com.

while the volatile flavor compounds in quinoa noodles and defatted quinoa noodles were detected by solid-phase microextraction technology and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). Results show that repeated defatting for three times could effectively reduce the oil content of quinoa. Compared with wheat flour, the aldehydes, furans and ketones in the volatile flavor substances of quinoa noodles were increased. The grass and wine taste of quinoa flour products could be reduced by defatting treatment. The ketones and esters in the volatile flavor substances of defatted quinoa flour products showed significant difference. Defatting treatment can improve the flavor of quinoa, and has little effect on the structure of protein and starch in quinoa flour. Thus, it can be applied as a processing method for quinoa in the future.

**Key words:** quinoa; noodles; headspace solid phase microextraction; volatile compounds; GC-MS

藜麦 (*Chenopodium quinoa Willd*) 是一种全营养的食物, 其蛋白质含量可达 16%~22%, 且品质与肉类及牛奶相当。藜麦中的氨基酸涵盖人体必需的全部 9 种氨基酸, 尤其是一般植物中的赖氨酸含量非常高。各种氨基酸的比例适宜, 与联合国粮农组织 (FAO) 推荐的氨基酸模式相同并易于吸收, 是 FAO 唯一认定的单体植物即可满足人体基本营养需求的食物。藜麦蛋白不含麸质, 是乳糜泻患者和麸质不耐受患者谷类食品中的最佳选择。此外, 藜麦富含油脂及钙、铁、锌、VE 等营养物质, 还含有皂苷、多酚、黄酮等功能成分, 具有提高人群健康, 预防癌症、过敏、炎症及降低心血管疾病的功效, 被国际营养学家称为“超级谷物”、“未来食品”、“粮食之母”或“营养黄金”<sup>[1]</sup>。目前无麸质饮食仍是治疗乳糜泻唯一有效途径, 将无麸质食品主食化的需求也非常迫切。无麸质面条作为主食化无麸质产品, 既满足营养健康的要求, 市场接受度也高。面条作为方便主食之一, 品种和风味的改善一直是研究热点, 但近年来随着人们饮食习惯的变化, 生活质量的提高, 单一的小麦面条已经不能满足人们的需求, 尤其是杂粮面越来越受到人们的喜爱。

藜麦中因其含有类黄酮、多酚和皂苷等抗氧化活性很强的生物活性成分逐渐走入大众生活中<sup>[2-3]</sup>。但藜麦除了上述优点, 其油脂含量也非常高, 约为 6.0%~9.5%, 在所有谷物中仅次于大豆。藜麦油脂脂肪酸以不饱和脂肪酸为主, 其中多不饱和脂肪酸含量约 54%~58%<sup>[4]</sup>, 因此藜麦油在加工过程中容易被氧化裂变成醛酮类物质, 使得产品口感变差, 产生哈败味, 影响藜麦产品的品质与风味。在加工过程中, 高含量的油脂会影响面带的碾压

成型及淀粉凝胶化, 同时在加工过程中脂肪被分解产生脂肪酸。而脱脂处理能够在保持藜麦蛋白营养成分的同时, 去除或降低藜麦中的油脂含量, 提高藜麦产品加工和储藏特性。

固相微萃取 (SPME) 是一种简便、快捷且破坏程度小的挥发性成分提取技术, 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<sup>[4]</sup>; 气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术是分离和鉴定有机化合物的常用手段之一, 具有灵敏度高、结果分析简单等优点<sup>[5]</sup>。SPME-GC-MS 联用技术是研究食品挥发性风味物质的主要手段。不同加工方法的选择对藜麦的营养成分、品质及风味均有一定的影响, 本研究的主要目的是探究脱脂技术对藜麦粉风味物质改变的影响, 这对藜麦面制品的品质改善有积极影响, 同时对其开发、生产和销售有着一定的推动作用<sup>[6-9]</sup>。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验材料

藜麦粉 (自磨粉过 100 目筛): 山西; 面粉、食盐: 市售; 正己烷、石油醚均为分析纯: 上海源叶生物科技有限公司; Pegasus BT 气相色谱飞行时间质谱仪: 美国 LECO 公司; SUPELCO 固相微萃装置 (包括 50/30  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS/DVB 萃取头): 美国色谱科公司; RE-2000A 旋转蒸发器: 上海亚荣生化仪器厂; HK-820 杂粮磨粉机: 广州市旭朗机械设备有限公司, CORNING PC-420 D 磁力搅拌器: 美国康宁公司; Sartorius BSA224S-CW 分析天平: 德国赛多利斯公司。

脱脂藜麦粉: 取 300 g 藜麦粉于烧杯, 以料液

比 1 : 3 (w/v) 加入正己烷于 40 °C 下进行震荡脱脂, 20 min 后将上清液倒出, 将脱脂次数设定为 1、2、3、4、5 次。收集下层藜麦粉, 室温下通风放置 24 h 至正己烷挥发完全, 得脱脂藜麦粉。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 残油率测定

脂肪含量参照 GB5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提的方法测定, 称取 5 g 样品移入滤纸筒内, 将滤纸筒放入索氏抽提中, 乙醚或石油醚至瓶内容积的三分之二处, 于水浴上加热抽提 10 h, 抽提结束后将接收瓶取下回收上层石油醚, 将接收瓶放入预设(100 ± 5) °C 烘箱中干燥至恒重, 计算脂肪含量。

残油率计算按公式:

$$DR = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中: DR 为残油率, %;  $m_0$  为藜麦脂肪含量, g/100g;  $m_1$  为脱脂后藜麦脂肪含量, g/100g。

### 1.2.2 面条制备

面条制备参照 LS/T 3202—1993《面条用小麦粉》方法, 并适当修改。具体操作如下:

过 100 目筛的脱脂藜麦粉以 20% 的比例混入面粉, 以粉质仪测定最大加水量的 60% (企标为 44%) 加水, 盐 (2%), 和面机搅拌慢速 5 min, 快速 2 min; 在 30 °C, 75% 湿度培养箱静止 20 min。压面机在轴距 2.5 mm 压片 (压片 → 合片 → 压片 → 合片) 重复 5 次, 达到表面均匀、光滑、紧实; 之后在 30 °C, 75% 湿度醒发 20 min。最后依次调整距 2.5、2、1.5、1 mm, 最后在厚度 1 mm 处, 切成 2 mm 宽的面条, 挂在室温自然风干 24 h, 干燥后减至 22 cm 长面条。

### 1.2.3 固相微萃取法

取 5.0 g 样品置于 20 mL 顶空瓶中, 将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 60 °C 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 °C 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

### 1.2.4 气相色谱质谱条件

1.2.4.1 气相色谱操作条件 DB-Wax 毛细管色谱柱 (30 m \* 0.25 mm \* 0.25 μm); 进样口温度 250 °C, 载气高纯氦气 (99.99%); 流速 1 mL/min,

不分流; 程序升温至柱温的起始温度 40 °C, 保持 3 min, 以 5 °C/min 上升至 10 °C, 保持 2 min; 在以 10 °C/min 上升至 230 °C, 保持 6 min。

1.2.4.2 质谱操作条件 电离方式为电子电离 (electronic ionization, EI), 电子能量 70 eV, 离子源温度 200 °C, 接口温度 250 °C, 质量扫描范围 m/z 45~450。

### 1.2.5 红外光谱分析

将冻干的藜麦粉样品置于干燥器内充分干燥, 称取 1 mg 样品于 100 mg 溴化钾中混匀, 在玛瑙研钵中研磨并用压片器压片, 于红外光谱仪中测定吸收光谱。测量条件: 波数范围为 4 000~400 cm<sup>-1</sup> 的, 分辨率 4 cm<sup>-1</sup>, 波数精度 0.01 cm<sup>-1</sup>, 扫描次数 64 次, 温度 25 °C<sup>[10]</sup>。

### 1.2.6 气相色谱质谱条件

使用扫描电子显微镜 (SEM) 观察藜麦粉的微观形态特征。参照李茹的方法略作修改, 将处理后的样品用双面粘合胶固定在金属圆盘上, 喷金处理以使样品导电。在 5 kV 的加速电压拍摄, 在合适的放大倍数下拍下清晰照片, 每个样品拍 3 次<sup>[11]</sup>。

## 1.3 数据分析

GC-MS 分析图经化学工作站数据处理系统, 检索 NIST08.L 谱图库及资料分析, 按面积匹配度大于 80% 的成分给予定性, 确定挥发物成分, 峰面积归一化法计算各成分的相对含量, 测定所得的数据使用 Excel 2010 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 脱脂条件确定

为研究脱脂次数对于脱脂效果的影响, 分别设置脱脂次数为 1、2、3、4、5 次, 在温度 40 °C 下进行脱脂处理, 测定残油率, 结果由图 1 可以看出, 随着脱脂次数的增加, 残油率逐渐降低, 第 3、4 次的残油率有轻微差异, 当脱脂次数达到 3 次之后, 残油率的变化率显著降低。随着脱脂次数的增加, 藜麦物料中的油脂会充分被有机溶剂浸出, 藜麦油脂提取的越充分, 残油率越低。但随着脱脂次数的增加, 能量浪费严重, 造成能源利用率低下, 提高脱脂的成本, 因此根据能源利用率及实际需要, 在保证藜麦油被充分浸出的前提下, 确定采用脱脂次数 3 次为最佳脱脂工艺。

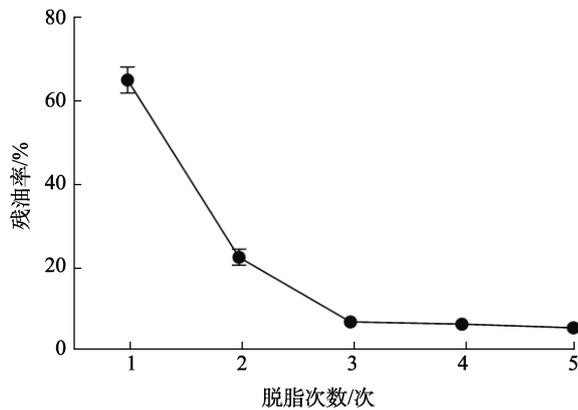


图 1 脱脂次数对藜麦粉残油率影响  
Fig. 1 Effect of degreasing times on residual oil rate of quinoa flour

### 2.2 小麦面条挥发性风味成分测定结果

在风味成分的分析过程中, 根据其在气相色谱中的保留时间和匹配度对样品挥发性组分进行定性分析(图 2), 经 NIST08L 谱图库联机搜索<sup>[10]</sup>

挑选所得到的挥发性风味物质风味物质名称、相对含量、化学式如表 1 所示。

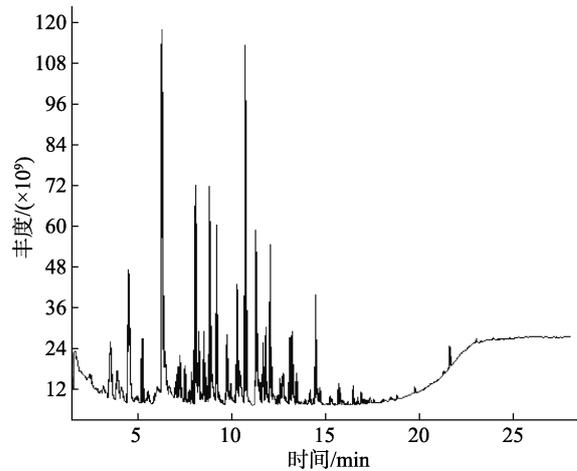


图 2 小麦面条挥发性风味成分的总离子流色谱图  
Fig. 2 Total ion flow chromatogram of volatile flavor components in wheat noodles

表 1 小麦面条风味成分种类统计结果

Table 1 Summary of flavor components in wheat noodles

	组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min
醛类	正己醛	18.282	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	973	6.199
	壬醛	10.347	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	933	11.194
	戊醛	9.263	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	957	4.429
	庚醛	6.194	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	965	7.987
	异戊醛	3.758	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	930	3.470
	反-2-辛烯醛	2.676	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	965	11.711
	反式-2-壬烯醛	1.681	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	954	13.117
	正辛醛	1.417	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	962	9.660
	苯甲醛	1.366	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	954	12.990
	2-己烯醛	0.694	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	923	8.549
	癸醛	0.501	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	891	12.621
	醇类	正己醇	9.910	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	953
1-戊醇		3.990	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	962	9.110
1-辛烯-3-醇		3.148	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	976	11.952
异戊醇		2.958	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	796	3.470
正丁醇		0.809	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	957	7.429
4-甲基-2-戊醇		0.657	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	981	7.780
辛醇		0.639	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	904	13.357
正庚醇		0.631	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	939	12.041
2-乙基己醇		0.472	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	957	12.486
呋喃类		2-正戊基呋喃	8.189	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	944
	2-乙基呋喃	0.992	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	933	4.034
烃类	三氯甲烷	2.613	CHCl <sub>3</sub>	977	5.154
	双戊烯	1.117	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	935	8.163
	正戊烷	0.526	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	835	1.604
	环庚三烯	0.445	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	810	5.461
苯环类	间二甲苯	1.831	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	971	7.172
	邻二甲苯	0.849	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	963	7.944
	乙基苯	0.485	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	966	6.921
酮类	2,3-辛二酮	0.640	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	884	10.159
	丙酮	0.638	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	884	2.403
酯类	乙酸乙酯	0.638	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	949	3.095
	草酸烯丙酯	0.426	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	880	8.438
其他	丙酸酐	0.698	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	802	3.417

由表 1 可知,检测出小麦面条中共含有 35 种风味化合物,包括醛类、醇类、呋喃类、烃类、苯环类、酮类及酯类等。醛类化合物相对含量为 56.179%, 因为其阈值一般比较低且具有叠加效应,所以在食品风味中起到重要作用<sup>[11]</sup>。其中正己醛具有芳香性,呈青草味,苯甲醛具有苦杏仁味和焦味<sup>[12]</sup>。醇类和烃类物质分别有 9 种和 4 种,相对含量分别为 23.214%、4.701%,但大多是不具备芳香性。呋喃类化合物相对含量为 9.181%,其中 2-正戊基呋喃含量较高,其一般为食品用香料。苯类作为芳香烃,使面条具有较好的风味,相对含量为 3.165%。酮类物质的阈值一般高于醛类,但性质比较稳定,在风味分析中占有一定地位,呈现出令人愉悦的清香、水果香和甜味,相对含量为 1.278%。酯类物质则是由酸类和醇类物质化合而成,一般具有酒香味或水果香气<sup>[13]</sup>,相对含量为 1.064%。

### 2.3 小麦面汤挥发性风味成分检测结果

在风味成分的分析过程中,根据总离子色谱

图(图 3),经 NIST08L 谱图库联机搜索以及其在气相色谱中的保留时间和匹配度对样品挥发性组分进行定性分析,挑选所得到的挥发性风味物质风味物质名称、相对含量、化学式如表 2 所示。

由表 2 可知小麦面汤中共有 37 种挥发性风味物质。醛类物质包括 13 种,相对含量为 60.875%,

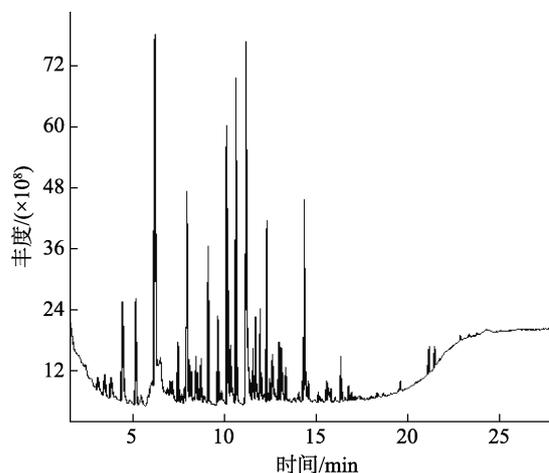


图 3 小麦面汤挥发性风味成分的总离子流色谱图  
 Fig. 3 Total ion flow chromatography of volatile flavor components in wheat noodle soup

表 2 小麦面汤风味成分种类统计结果  
 Table 2 Summary of flavor components in wheat noodle soup

组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min	
醛类	正己醛	17.435	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	970	6.197
	壬醛	11.446	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	960	11.189
	戊醛	7.859	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	960	4.426
	庚醛	6.814	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	966	7.971
	(E)-2-庚烯醛	3.787	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	961	10.199
	苯甲醛	3.082	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	974	12.988
	正辛醛	2.377	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	958	9.650
	反-2-辛烯醛	2.072	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	958	11.707
	反式-2-壬醛	1.526	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	949	13.111
	异戊醛	1.255	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	940	3.464
	癸醛	1.159	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	865	12.611
	反式-2,4-癸二烯醛	1.146	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	944	16.366
	2-己烯醛	0.917	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	947	8.546
醇类	正己醇	8.546	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	965	10.637
	1-戊醇	4.069	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	965	9.121
	乙醇	2.288	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	946	3.797
	1-辛烯-3-醇	2.126	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	957	11.951
	正丁醇	1.791	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	958	7.468
	辛醇	0.923	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	901	13.357
	异戊醇	0.837	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	812	8.457
	2-乙基己醇	0.551	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	957	12.486
	庚醇	0.491	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	957	12.040
	呋喃类	2-正戊基呋喃	2.316	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	858

续表

组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min
烃类	三氯甲烷	CHCl <sub>3</sub>	976	5.153
	双戊烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	938	8.121
	正己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	955	1.685
	环庚三烯	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	780	5.460
苯环类	间二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	969	7.143
	2,4-二叔丁基苯酚	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	941	21.182
酮类	2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	856	7.955
	过氧化乙酰丙酮	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	963	4.410
	2,3-辛二酮	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	887	10.155
	3-辛烯-2-酮	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	932	11.408
酯类	乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	974	3.088
	庚酸乙酯	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	941	10.322
其他	甲基磺酰氯	CH <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub> S	743	8.204
	3-甲基-1-苯基吡啶	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	861	21.498

其中检出的(E)-2-庚烯醛有青草的香味;醇类和呋喃类物质分别为 9 种和 1 种,相对含量为 21.622%、2.316%;烃类物质不具备有芳香性;苯环类物质提供了较好的风味,相对含量为 1.281%;酮类物质 5 种,相对含量为 2.741%,其中检出的 2-庚酮呈奶油味,3-辛烯-2-酮呈坚果味、蘑菇味<sup>[14-15]</sup>;酯类物质含量较面条明显增多,为 2.751%,因此面汤的酒香味也较面条浓郁;2 种其他物质,相对含量为 1.374%,不具备芳香性。

#### 2.4 藜麦面条挥发性风味成分检测结果

在风味成分的分析过程中,根据其在气相色谱中的保留时间和匹配度对样品挥发性组分进行定性分析(图 4),挑选所得到的挥发性风味物质

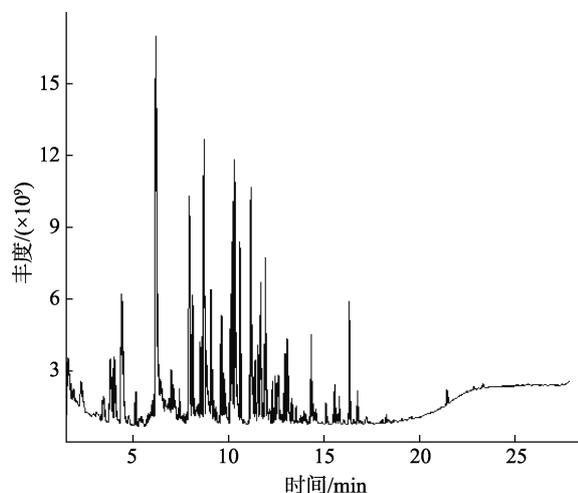


图 4 藜麦面条挥发性风味成分的总离子流色谱图  
Fig. 4 Total ion flow chromatogram of volatile flavor components in quinoa noodles

风味物质名称、相对含量、化学式如表 3 所示。

由表 3 可知,藜麦面条中共有 43 种挥发性风味物质,包括醛类、醇类、呋喃类、烃类、苯环类、酮类和酯类,与表 1 对比可知,藜麦面条比小麦面条风味物质多了 8 种,种类也发生了变化。醛类相对含量为 53.039%,其中较小麦面条多出的(E)-2-庚烯醛有青草的香味,反式-2,4-癸二烯醛具有肉汤味;醇类相对含量为 12.61%;呋喃类含量为 13.987%,较小麦面条明显增加,其中 2-乙基呋喃和 2-正戊基呋喃的增多,丰富了藜麦面条的豆香和麦芽香味;烃类相对含量为 8.17%,虽含量增加,但烷烃类的风味阈值较高,对风味的贡献微弱<sup>[16]</sup>;苯环类物质作为芳香烃,为藜麦面条的风味提供了层次感;酮类含量为 2.85%,酯类含量为 7.084%,与小麦面条相比均有了明显的增高,主要检出物 3-辛烯-2-酮赋予了藜麦面条坚果味和蘑菇味,庚酸乙酯丰富了藜麦面条的果香;1 种其他物质,相对含量为 1.281%,具有一定的柠檬味。

#### 2.5 藜麦面汤挥发性风味成分检测结果

藜麦面汤的总离子色谱图如图 5 所示。

在风味成分的分析过程中,根据其在气相色谱中的保留时间和匹配度对样品挥发性组分进行定性分析(图 5),经 NIST08L 谱图库联机搜索挑选所得到的挥发性风味物质风味物质名称、相对含量、化学式如表 4 所示。

表 3 藜麦面条风味成分种类统计结果  
 Table 3 Summary of flavor components in quinoa noodles

组分		相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min	
醛类	正己醛	18.446	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	962	6.207	
	戊醛	6.453	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	963	4.423	
	庚醛	6.194	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	942	7.976	
	壬醛	5.096	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	958	11.190	
	(E)-2-庚烯醛	3.525	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	957	10.200	
	反式-2,4-癸二烯醛	2.265	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	938	16.366	
	反-2-辛烯醛	2.084	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	905	11.708	
	正辛醛	2.040	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	958	9.653	
	苯甲醛	1.988	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	967	12.986	
	反式-2-壬醛	1.768	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	953	13.112	
	2-己烯醛	1.474	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	945	8.547	
	异戊醛	0.857	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	925	3.460	
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.492	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	932	12.572	
	反式-2-癸烯醛	0.357	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	846	14.446	
	醇类	正己醇	3.669	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	965	10.634
		1-辛烯-3-醇	3.140	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	975	11.951
1-戊醇		2.416	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	947	9.115	
乙醇		1.053	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	948	3.792	
2-乙基己醇		0.795	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	961	12.485	
正丁醇		0.681	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	951	7.452	
辛醇		0.446	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	901	13.356	
正庚醇		0.410	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	942	12.040	
呋喃类		2-正戊基呋喃	9.466	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	917	8.836
	2-乙基呋喃	3.689	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	948	4.026	
	2-正丁基呋喃	0.494	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	857	7.026	
	2-正丙基呋喃	0.338	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	839	5.346	
烃类	1-氯戊烷	2.998	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> Cl	912	3.824	
	三氯甲烷	1.154	CHCl <sub>3</sub>	972	5.150	
	十二烷	1.074	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	897	8.121	
	十三烷	0.810	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	934	9.750	
	6,6-二甲基-5-亚甲基-1,3-环戊二烯	0.622	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	710	7.037	
	1-硝基己烷	0.583	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	860	12.638	
	正庚烷	0.564	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	942	1.870	
	十一烷	0.365	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	920	6.355	
	苯环类	间二甲苯	0.593	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	970	7.151
邻二甲苯		0.383	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	968	7.925	
酮类	3-辛烯-2-酮	1.114	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	932	11.409	
	2,3-辛二酮	0.739	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	929	10.156	
	甲基庚烯酮	0.681	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	920	10.390	
	[1S-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )]-4-甲基-1-(1-甲基乙基)二环[3.1.0]己烷-3-酮	0.316	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	899	11.911	
酯类	庚酸乙酯	6.670	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	930	10.370	
	乙酸乙酯	0.414	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	955	3.088	
其他	(+)-柠檬烯	1.281	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	923	8.136	

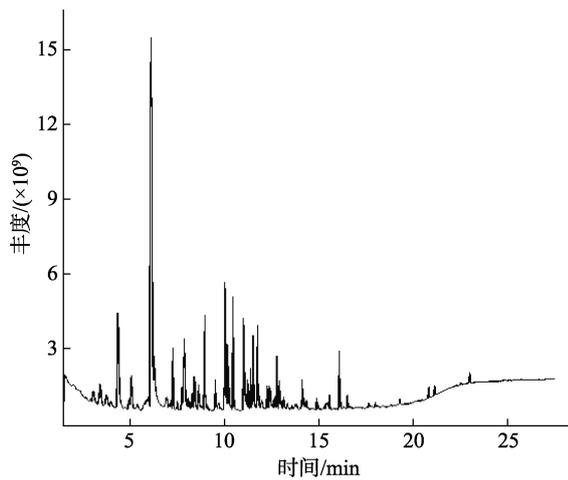


图 5 藜麦面汤挥发性风味成分的总离子流色谱图  
Fig. 5 Total ion flow chromatogram of volatile flavor components in quinoa noodle soup

由表 4 可知，藜麦面汤中含有的挥发性风味物质共有 42 种。醛类物质包括 16 种，相对含量

为 72.043%，较之于小麦面汤有明显的提高，其中正己醛（35.950%）、戊醛（8.846%）、(E)-2-庚烯醛（5.389%）含量较高，呈现青草味、清香味<sup>[17]</sup>，检出的(E,E)-2,4-庚二烯醛、反式-2-戊烯醛和(E,E)-2,4-壬二烯醛赋予藜麦面汤肉香味和辛辣味；醇类和烃类物质分别包括 8 种和 1 种，相对含量为 12.159%和 1.904%；呋喃类物质包括 2 种，相对含量为 1.561%，较之小麦面汤多出的 2-乙基呋喃，赋予藜麦面汤豆香和麦芽香味；酮类物质包括 4 种，相对含量为 3.558%，与表 2 对比可知物质和含量有了较大变化，醛类和酮类物质的增加给藜麦面汤带来了较好的风味；酯类物质包括 6 种，相对含量为 6.025%，检出的邻苯二甲酸二异丁酯呈芳香味；其他物质包括 4 种，相对含量为 2.457%，检出的(-)-柠檬烯呈现一定的柠檬香味<sup>[18]</sup>。

表 4 藜麦面汤风味成分种类统计结果  
Table 4 Summary of flavor components in quinoa noodle soup

	组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min
醛类	正己醛	35.950	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	960	6.210
	戊醛	8.846	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	958	4.433
	(E)-2-庚烯醛	5.389	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	962	10.214
	庚醛	3.706	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	904	8.016
	壬醛	3.034	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	963	11.209
	苯甲醛	2.671	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	975	12.992
	反-2-辛烯醛	2.351	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	969	11.720
	异戊醛	2.127	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	934	3.473
	2-己烯醛	1.840	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	951	8.558
	反式-2,4-癸二烯醛	1.620	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	941	16.368
	反式-2-壬醛	1.114	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	952	13.121
	正辛醛	1.066	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	967	9.681
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.726	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	929	12.577
	癸醛	0.678	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	866	12.628
	反式-2-戊烯醛	0.592	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	935	7.046
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.333	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	935	15.142
醇类	正己醇	3.367	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	964	10.633
	1-戊醇	3.063	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	956	9.103
	1-辛烯-3-醇	2.269	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	956	11.956
	正丁醇	1.832	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	960	7.387
	2-乙基己醇	0.637	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	955	12.489
	辛醇	0.415	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	906	13.358
	1-戊烯-3-醇	0.292	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	955	7.631
	4-乙基环己醇	0.284	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	857	13.188
呋喃类	2-正戊基呋喃	1.041	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	941	8.780
	2-乙基呋喃	0.520	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	930	4.038
烃类	三氯甲烷	1.904	CHCl <sub>3</sub>	979	5.159

续表

	组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min
苯环类	2,4-二叔丁基苯酚	0.295	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	951	21.181
酮类	丙酮	1.716	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	855	7.976
	3-辛烯-2-酮	0.877	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	938	11.418
	甲基庚烯酮	0.578	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	917	10.403
	2,5-己二酮	0.387	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	841	10.177
酯类	庚酸乙酯	1.965	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	925	10.350
	乙酸乙酯	1.568	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	959	3.098
	丙烯酸正丁酯	1.484	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	970	7.874
	邻苯二甲酸二异丁酯	0.390	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	951	23.390
	甲酸庚酯	0.381	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	852	12.043
	乙酸丁酯	0.237	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	871	6.064
	其他	(-)-柠檬烯	1.419	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	854
	丙酸酐	0.364	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	805	3.421
	吡咯	0.348	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> N	955	12.844
	3-甲基-1-苯基吡啶	0.326	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	861	21.497

## 2.6 脱脂藜麦面条挥发性风味成分检测结果

在风味成分的分析过程中, 根据总离子流色谱图(图 6), 经 NIST08L 谱图库联机搜索, 然后经过挑选所得到的挥发性风味物质风味物质名称、相对含量、化学式如表 5 所示。

由表 5 可知, 脱脂藜麦面条中共有 37 种挥发性物质, 包括醛类、醇类、呋喃类、烃类、苯环类、酮类、酯类和其他。醛类物质包括 11 种, 相对含量为 61.262%, 对比表 1 知检出的(E)-2-庚烯醛使脱脂藜麦面条呈青草味; 醇类物质包括 8 种, 相对含量为 15.612%, 醇类风味物质阈值较高, 对藜麦面条的整体风味贡献较低<sup>[19]</sup>; 呋喃类物质包括 2 种, 相对含量为 5.362%; 烃类物质包括 4

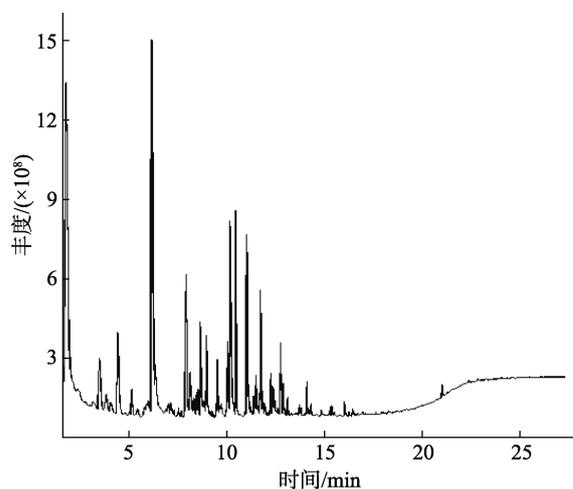


图 6 脱脂藜麦面条挥发性风味成分的总离子流色谱图  
 Fig. 6 Total ion flow chromatogram of volatile flavor components in defatted quinoa noodles

表 5 脱脂藜麦面条风味成分种类统计结果

Table 5 Summary of flavor components in defatted quinoa noodles

	组分	相对含量/%	分子式	匹配度	保留时间/min
醛类	正己醛	28.515	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	925	6.207
	庚醛	7.552	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	920	8.015
	壬醛	5.493	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	958	11.210
	戊醛	5.146	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	927	4.431
	异戊醛	4.648	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	934	3.473
	苯甲醛	3.027	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	973	12.991
	(E)-2-庚烯醛	2.267	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	956	10.212
	正辛醛	1.708	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	966	9.680
	反-2-辛烯醛	1.136	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	961	11.720
	反式-2-壬烯醛	0.953	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	958	13.121
	2-己烯醛	0.817	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	948	8.557

续表

组分		相对含量/%	分子式	匹配度	保留时间/min
醇类	正己醇	6.595	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	962	10.633
	1-辛烯-3-醇	3.375	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	972	11.955
	1-戊醇	2.318	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	946	9.102
	2-乙基己醇	1.002	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	963	12.489
	2-己醇	0.802	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	962	8.640
	辛醇	0.540	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	924	13.359
	正庚醇	0.504	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	947	12.042
	3-己醇	0.476	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	862	8.246
呋喃类	2-正戊基呋喃	4.337	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	941	8.780
	2-乙基呋喃	1.025	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	937	4.035
烃类	三氯甲烷	1.626	CHCl <sub>3</sub>	976	5.157
	双戊烯	0.897	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	902	8.214
	1,2-环氧环戊烷	0.778	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	709	10.402
	正辛烷	0.648	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	914	2.307
苯环类	苯	1.005	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	881	3.825
	间二甲苯	0.425	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	964	7.221
酮类	过氧化乙酰丙酮	1.181	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	964	4.415
	仲辛酮	0.581	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	970	9.624
	2,3-辛二酮	0.548	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	857	10.175
	2,3-戊二酮	0.484	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	838	5.825
	[1S-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )]-4-甲基-1-(1-甲基乙基)二 环[3.1.0]己烷-3-酮	0.484	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	918	11.660
酯类	庚酸乙酯	6.730	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	950	10.350
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇乙酸酯	0.609	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	831	8.251
	乙酸乙酯	0.425	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	899	3.097
其他	丙酸酐	0.953	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	802	3.418
	3-甲基-1-苯基吡啶	0.392	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	860	21.498

种, 相对含量为 3.949%; 苯环类物质包括 2 种, 相对含量为 1.430%; 酮类物质包括 5 种, 相对含量为 3.278%, 酯类物质包括 3 种, 相对含量为 7.764%, 与表 1 对比可知酮类和酯类含量与种类均有了增加, 酮类物质的增加赋予了脱脂藜麦面条花香; 其他物质包括 2 种, 相对含量为 1.345%。

### 2.7 脱脂藜麦面汤挥发性风味成分检测结果

在风味成分的分析过程中, 根据其在气相色谱中的保留时间和匹配度对样品挥发性组分进行定性分析(图 7), 挑选所得到的挥发性风味物质风味物质名称、相对含量、化学式如表 6 所示。

由表 6 可知, 脱脂藜麦面汤中共有 36 挥发性风味物质。醛类物质包括 12 种, 相对含量为 62.268%, 对比表 4 可知脱脂藜麦面汤的肉香味和脂肪味有所减轻; 醇类物质包括 11 种, 相对含量为 20.100%, 对比表 2 可知检出的柏木醇赋予了

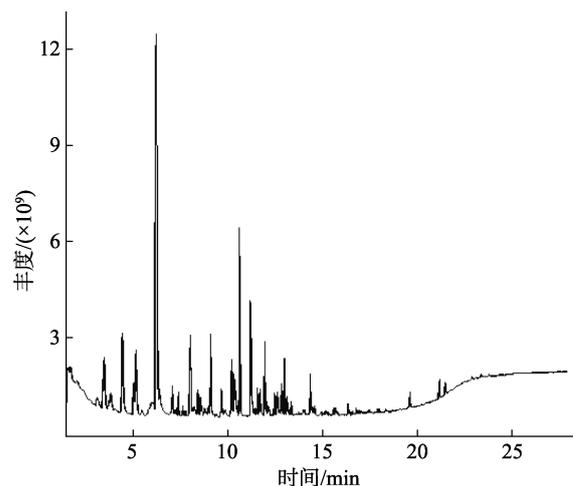


图 7 脱脂藜麦面汤挥发性风味成分的总离子流色谱图  
Fig. 7 Total ion flow chromatogram of volatile flavor components in defatted quinoa noodle soup

脱脂藜麦面汤柏木味; 呋喃类、烃类和苯环类物质相对含量分别为 0.562%、6.534%和 0.596%, 对面汤的风味贡献较小; 酮类物质包括 3 种, 相

对含量为 3.411%；酯类物质包括 2 种，相对含量为 2.781%，对比表 4 可知酯类含量和种类有了明

显的降低，因此脱脂藜麦面汤的青草味、酒味得到减轻。其他物质包括 4 种，相对含量为 3.741%。

表 6 脱脂藜麦面汤风味成分种类统计结果

Table 6 Summary of flavor components of defatted quinoa noodle soup

组分	相对含量/%	化学式	匹配度	保留时间/min		
醛类	正己醛	30.671	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	962	6.208	
	庚醛	6.746	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	889	8.011	
	异戊醛	5.857	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	928	3.473	
	壬醛	4.585	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	963	11.211	
	戊醛	4.360	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	904	4.466	
	苯甲醛	3.103	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	969	12.992	
	(E)-2-庚烯醛	2.157	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	955	10.213	
	正辛醛	1.148	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	965	9.680	
	反-2-辛烯醛	1.030	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	957	11.720	
	2-己烯醛	0.963	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	961	8.558	
	癸醛	0.871	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	947	12.628	
	反式-2-壬醛	0.777	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	960	13.122	
	醇类	正己醇	7.327	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	962	10.634
		1-戊醇	3.091	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	952	9.103
		1-辛烯-3-醇	2.520	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	958	11.956
乙醇		1.927	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	970	3.798	
1-甲氧基-2-丙醇		1.036	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	965	7.082	
正丁醇		0.958	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	958	7.388	
2-乙基己醇		0.782	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	948	12.489	
异戊醇		0.771	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	903	8.425	
异丙醇		0.607	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	944	3.723	
柏木醇		0.552	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	928	19.634	
1-辛醇		0.529	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	905	13.360	
呋喃类		2-正戊基呋喃	0.562	C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O	934	8.783
烃类		三氯甲烷	4.663	CHCl <sub>3</sub>	976	5.158
		正己烷	1.871	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	958	1.694
苯环类		2,4-二叔丁基苯酚	0.596	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	952	21.182
酮类	丙酮	1.407	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	747	7.974	
	过氧化乙酰丙酮	1.261	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	948	4.415	
	甲基庚烯酮	0.743	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	929	10.402	
酯类	庚酸乙酯	1.672	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	923	10.349	
	乙酸乙酯	1.109	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	959	3.096	
其他	吡咯	1.223	C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> N	955	12.844	
	丙酸酐	1.211	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	805	3.418	
	二甲基硫	0.706	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	956	2.050	
	左旋樟脑	0.601	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	950	12.968	

## 2.8 脱脂对藜麦粉结构的影响

藜麦粉中含有大量的蛋白，红外光谱图有 3 组特征吸收谱带，包括酰胺 I 带、酰胺 II 带、酰胺 III 带，酰胺 I 带位于波数 1 600~1 700 cm<sup>-1</sup> 范围内，主要由 C=O 的伸缩振动和 H-O-H 弯曲振动引起的，能够反映蛋白质二级结构  $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -

折叠、 $\beta$ -转角、无规则卷曲含量的变化。由图中可以看出藜麦蛋白主要由  $\beta$ -折叠构成，而脱脂之后藜麦粉红外谱图的位置和峰型基本不变说明脱脂对藜麦粉蛋白结构的影响较小（图 8A）。这主要是因为脱脂属于比较温和的处理手段，未触及蛋白的二级结构，蛋白在处理过程中也未发生变

性。通过对藜麦粉的微观结构也可以看出(图 8B), 脱脂能够脱除藜麦中大部分脂肪, 藜麦粉中保留大部分淀粉颗粒。藜麦淀粉的颗粒较小, 成规则的多边形。尽管脱脂处理后藜麦淀粉的颗粒较为分散, 但是通过对比可以发现藜麦淀粉构型未发生变化<sup>[20-22]</sup>。通过对藜麦中蛋白和淀粉两种主要成分的分析, 可以发现脱脂可以作为改善藜麦制品风味的处理手段, 因为脱脂处理并不会对藜麦中的蛋白和淀粉结构产生较大影响。

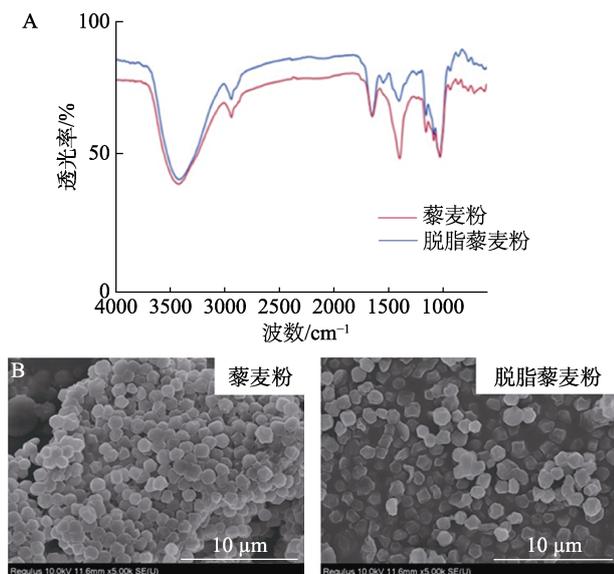


图 8 脱脂处理对藜麦粉结构的影响: A 脱脂处理藜麦粉傅里叶红外光谱图; B 脱脂藜麦粉的扫描电镜图 (x5000)

Fig. 8 Effect of defatting treatment on the structure of quinoa flour, A: FTIR spectrum of defatted quinoa flour; B: Scanning electron microscopy of defatted quinoa flour (x5000)

### 3 结论

脱脂次数对残油率的影响表明, 经重复 3 次脱脂可以有效降低藜麦脂肪含量。面条的挥发性风味物质分析可知, 小麦面条中共检出 35 种挥发性风味物质, 醛类含量最高, 其中以正己醛为主要风味物质, 呈青草味。藜麦面条中共检出 43 种挥发性风味物质, 较小麦面条风味物质种类发生了变化, 其中(E)-2-庚烯醛有青草的香味, 反式-2,4-癸二烯醛具有肉汤味, 2-乙基呋喃和 2-正戊基呋喃的增多, 丰富了藜麦面条的豆香和麦芽香味以及酮类和酯类物质增加带来了坚果味和果香。面条经过煮制后, 高温会增强部分风味物质的释放, 因此小麦面汤和藜麦面汤的风味均有提高, 产生了更令人愉悦的香味。对比小麦面条和小麦

面汤可发现酯类物质含量较面条明显增多, 因此小麦面汤的酒香味也较面条浓郁。由于藜麦粉的加入, 藜麦面汤的挥发性风味物质较之于小麦面汤有了明显的提高, 较之小麦面汤多出的 2-乙基呋喃, 赋予了藜麦面汤豆香和麦芽香味。此外, 醛类和酮类物质的增加给藜麦面汤带来了较好的风味。经过脱脂技术处理后, 脱脂藜麦面条较藜麦面条风味物质种类有显著改变, 其中对风味贡献较弱的烷烃类物质得到显著减少。脱脂藜麦面汤与藜麦面汤对比可知, 醛类物质种类和含量均有减少, 导致脱脂藜麦面汤的肉香味和脂肪味有所减轻。和小麦面条相比, 脱脂藜麦面条的酮类物质含量与种类均有了增加, 赋予了脱脂藜麦面条花香; 脱脂藜麦面汤中酯类物质含量和种类有了明显的降低, 因此青草味、酒味得到减轻。脱脂处理的藜麦风味有积极的作用, 且对藜麦自身的品质影响较小。

### 参考文献:

- [1] 黄金. 基于藜麦营养及功能成分的健康食品研发[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.  
HUANG J. The research of health food on the based of the quinoa nutritional and functional ingredient[D]. Guiyang: Guizhou University, 2017.
- [2] 王雪竹, 张国治, 卫阿枝. 青麦仁面条风味物质分析[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 174-179.  
WANG X Z, ZHANG G Z, WEI A Z. Analysis of flavor compounds in green wheat noodle[J]. Food Technology, 2018, 43(12): 174-179.
- [3] 马永革, 邓瑞强, 王瑞萍, 等. 藜麦杂粮面条配方与工艺[J]. 农业科技与信息, 2019, 580(23): 47-49.  
MA Y G, DENG R Q, WANG R P, et al. Formula and technology of quinoa noodle [J]. Agricultural Science and Technology and Information, 2019, 580(23): 47-49.
- [4] 郑云云, 黄锐敏, 陈美卿, 等. 固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对黄金蜜柚天然花香成分的分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(14): 4602-4607.  
ZHENG Y Y, HUANG R M, CHEN M Q, et al. Analysis of natural floral components of golden pomelo by solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(14): 4602-4607.
- [5] 马先发. 气相色谱-质谱联用技术简介及应用[J]. 广东化工, 2020, 47(18): 165-168.  
MA X F. Introduction and applications of GC-MS[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(18): 165-168.

- [6] ABUGOCH J, LILIAN E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional and functional properties[J]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2009, 58(2): 18-20.
- [7] TANG Y, LI X H, PETER X, et al. Characterisation of fatty acid, carotenoid, tocopherol/tocotrienol compositions and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes[J]. *Food Chemistry*, 2015(1): 174.
- [8] 刘月瑶. 不同加工方式对藜麦营养品质及抗氧化性能影响的研究[D]. 沈阳师范大学, 2020.  
LIU Y Y. Study on the effects of different processing methods on the nutritional quality and antioxidant properties of quinoa[D]. Shenyang Normal University, 2020.
- [9] YUE J X, GU Z X, ZHU Z B, et al. Impact of defatting treatment and oat varieties on structural, functional properties, and aromatic profile of oat protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021(5): 112.
- [10] 李林, 宋立荣, 甘南琴, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定水中异味化合物[J]. *分析化学*, 2005(8): 1058-1062.  
LI L, SONG L R, GAN N Q, et al. Determination of odorous compounds in water by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Analytical Chemistry*, 2005(8): 1058-1062.
- [11] ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J]. *Food Chemistry*, 2017(9): 226.
- [12] 王万厚, 母智深. UHT 热处理对牛奶中风味物质的影响[J]. *中国乳品工业*, 2012, 40(4): 36-38.  
WANG W H, MU Z S. Effect of UHT heat treatment on volatile compounds in milk[J]. *China Dairy Industry*, 2012, 40(4): 36-38.
- [13] 咎学梅, 刘明, 刘艳香, 等. 酶解辅助预糊化技术工艺优化及风味物质差异分析[J]. *食品工业科技*: 1-16.  
ZAN X M, LIU M, LIU Y X, et al. Study on the improvement of cooking time and flavoring of brown rice by enzymatic hydrolysis assisted pregelatinization[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021(4): 1-16.
- [14] 许柠, 王远辉, 张国治, 等. 青麦绿豆糕风味物质分析[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(4): 69-76.  
XU N, WANG Y H, ZHANG G Z, et al. Analysis of flavor substances in green wheat-mung bean cake[J]. *Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition)*, 2020, 41(4): 69-76.
- [15] VALERO E, VILLAMIEL M, MIRALLES B, et al. Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(1): 51-58.
- [16] 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.  
LE Z X, ZHUANG W Q, HUANG J, et al. Analysis of volatile flavors in *hericium erinaceus* by using solid microextraction combined with GC-MS[J]. *Food Industry*, 2015, 36(9): 278-282.
- [17] 鲜灵芝, 刘金阳, 鲁金花, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱分析杨梅酒和糯米杨梅酒的风味特征[J]. *食品与机械*: 2013(42): 1-8.  
XIAN L Z, LIU J Y, LU J H, et al. The flavor characteristics of bayberry wine and glutinous rice bayberry were analyzed based on gas chromatography-ion migration spectrum[J]. *Food and Machinery*, 2013(42): 1-8.
- [18] 卫春会, 郑自强, 郭燕, 等. 橄榄果酒的研制及其风味物质分析[J]. *现代食品科技*, 2017(43): 1-10.  
WEI C H, ZHENG Z Q, GUO Y, et al. Development of olive wine and analysis of its flavor substances[J]. *Modern Food Technology*, 2017(43): 1-10.
- [19] 毛永强, 李彦虎, 贲建民, 等. 传统陇西腊肉制作过程中挥发性风味物质变化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 47(4): 144-152.  
MAO Y Q, LI Y H, YUN J M, et al. The analysis of the volatile flavor compounds in traditional Longxi bacon production[J]. *Food Fermentation Industry*, 2017, 47(4): 144-152.
- [20] 袁德保. 大豆蛋白热聚集行为及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.  
YUAN D B. Heat-induced aggregation of soy proteins and its mechanism[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [21] 李茹, 古丽热汗·依明, 黄钰雯, 等. 马铃薯全粉产品结构及性质的测定研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(16): 89-92.  
LI R, GULIREHAN Y M, HUANG Y W, et al. Microstructure and characteristics of different potato powders[J]. *Food Industry Technology*, 2016, 37(16): 89-92.
- [22] XING B, TENG C, SUN M, et al. Effect of germination treatment on the structural and physicochemical properties of quinoa starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 115: 106604. 完