

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.03.021

HS-SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析藜麦茶及藜麦芽茶的香气成分

王琳琳, 张佰清*, 王萍, 孙露霞
(沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 该研究以藜麦和藜麦芽为原料, 各蒸制 15 min, 藜麦 90 °C 烘烤 20 min 后 200 °C 烘烤 8 min, 藜麦芽 90 °C 烘烤 15 min 后 160 °C 烘烤 3 min; 采用顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术, 分析两种茶的香气成分, 采用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)分析特征香气成分, 最后进行感官评价。结果表明, 藜麦茶中有 39 种香气成分, 主要香气成分为 2-乙基-5-甲基吡嗪、苯甲醛、2-甲基吡嗪等, 醛类物质相对含量最高, 为 26.49%; 癸醛、壬醛、苯乙醛、反-2-辛烯醛为关键性风味物质, 感官评分为 83.76。藜麦芽茶中有 49 种香气成分, 主要香气成分为苯乙醛、苯甲醛、棕榈酸等, 醛类物质相对含量最高, 为 30.63%; 癸醛、苯乙醛、丁香酚、壬醛、1-辛烯-3-醇为关键性风味物质, 感官评分为 85.11。

关键词: 藜麦茶; 藜麦芽茶; 香气成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 相对气味活度值

Analysis of the Aroma Components of Quinoa Tea and Quinoa Sprouts Tea by Using Combination of HS-SPME-GC-MS and ROAV

WANG Linlin, ZHANG Baiqing*, WANG Ping, SUN Luxia

(Food Science College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning, China)

Abstract: In this study, quinoa and quinoa sprouts were used as raw materials. After being steamed for 15 min, quinoa was baked at 90 °C for 20 min and then at 200 °C for 8 min, while quinoa sprouts were baked at 90 °C for 15 min and then at 160 °C for 3 min. Headspace solidphase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the aroma components of the two kinds of tea, and relative odor activity value (ROAV) was adopted to analyze the characteristic aroma components. Finally, a sensory evaluation was conducted. The results showed that there were 39 aroma components in quinoa tea, and the main aroma components were 2-ethyl-5-methylpyrazine, benzaldehyde, 2-methylpyrazine, etc., and the relative content of aldehydes was the highest, which was 26.49%. Decanal, nonanal, phenylacetaldehyde, and *trans*-2-octenal were its key flavor substances, with an organoleptic score of 83.76. There were 49 aroma components in quinoa sprouts tea, and the main aroma components were phenylacetaldehyde, benzaldehyde, palmitic acid, etc., and the relative content of aldehydes was the highest, which was 30.63%. Decanal, phenylacetaldehyde, eugenol, nonanal, and 1-octen-3-ol were its key flavor substances, with an organoleptic score of 85.11.

Key words: quinoa tea; quinoa sprouts tea; aroma components; headspace solidphase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); relative odor activity value (ROAV)

引文格式:

王琳琳, 张佰清, 王萍, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析藜麦茶及藜麦芽茶的香气成分[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(3): 167-173.

WANG Linlin, ZHANG Baiqing, WANG Ping, et al. Analysis of the Aroma Components of Quinoa Tea and Quinoa Sprouts Tea by Using Combination of HS-SPME-GC-MS and ROAV[J]. Food Research and Development, 2025, 46(3): 167-173.

作者简介: 王琳琳(1997—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工。

*通信作者: 张佰清(1966—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 农产品加工。

藜麦是藜科藜属一年生的双子叶草本植物,起源于南美洲,是一种营养全面的伪谷物。自1987年引入我国后在吉林、山西、甘肃、青海等多个地区广泛种植,藜麦的食用历史距今已有6000多年^[1]。藜麦含有丰富的蛋白质,其价值与牛奶蛋白近乎一致,氨基酸的组成和比例比较适合人类利用^[2]。藜麦中油脂的含量也非常丰富,其中含有亚麻酸、亚油酸、油酸等不饱和脂肪酸,不饱和度在3.9~4.7之间,因此可作为油料作物^[3-4]。不饱和脂肪酸可以降低人体血液中胆固醇和甘油三酯的含量,对心血管疾病的预防有着积极的作用。此外,藜麦还含有酚类、皂苷等生物活性物质,可在一定程度上降低糖尿病、心血管疾病等慢性疾病的风险^[5]。研究表明,藜麦种子及新芽有较强的抗氧化能力,其抗氧化能力与多酚含量呈正相关,藜麦还含有在大多果蔬中含量极少且具有抗菌消炎功效的异黄酮,是人体所需重要的外源性功能性化合物^[6]。谷物种子在萌发过程中会发生一系列的生理变化,而种子发芽是高等植物生命活动最旺盛的时期,韩雅盟^[7]研究发现发芽期间可以增加藜麦总蛋白、还原糖、总酚、黄酮等物质的含量,也有研究发现藜麦的芽和根较其他部位的抗氧化性高^[8]。目前人们对藜麦的食用方法单一,市场中深加工产品的稀缺,极大限制了藜麦的应用。

近年来,随着生活水平的逐步提高,人们更加注重食品的保健功能,以谷物为原料加工而成的五谷茶越来越受到人们的青睐,但目前大多数五谷茶的制备过程较为单一,在一定程度上限制了谷物发展。以藜麦为原料加工而成的茶品及对藜麦茶和藜麦芽茶香气成分的比较分析研究鲜见。本文以藜麦和藜麦芽为研究对象,预处理后进行分段式烘烤,对其香气成分、相对气味活度值和感官评价进行分析,旨在为藜麦茶和藜麦芽茶的开发与创新提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

白色青海格藜:产于青海省格尔木市。

1.2 仪器与设备

SZ28B1 易储存不锈钢双层复底蒸锅:苏泊尔电器有限公司;NB-HM3810 松下电烤箱:厦门建松电器有限公司;100 μm SPME 萃取头:美国 Supelco 公司;7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪:美国 Agilent 公司;BSA224S 分析天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

1.3 藜麦茶及藜麦芽茶的制备

藜麦在沸水条件下蒸制 15 min,90 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 20 min 后 200 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 8 min,制得藜麦茶;藜麦在 23 $^{\circ}\text{C}$ 条件下发芽 24 h 后,沸水条件下蒸制 15 min,藜麦芽 90 $^{\circ}\text{C}$ 烘

烤 15 min 后 160 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤 3 min,制得藜麦芽茶。

1.4 香气成分提取

分别称取 5 g 茶样,放入 100 mL 烧杯中,加入 50 mL 沸水,盖盖浸泡 5 min。参考张艺沛^[9]方法,采用顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)提取藜麦茶和藜麦芽茶中的香气成分并稍作修改,准确量取 5 mL 茶汤于 20 mL 顶空瓶中,45 $^{\circ}\text{C}$ 条件下平衡 30 min 后将萃取头插入瓶中,顶部空间吸附 30 min,250 $^{\circ}\text{C}$ 下解吸 5 min。

1.5 气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析

气相色谱条件:HP-FFAP 毛细管色谱柱(30 m \times 0.32 mm \times 1 μm),以氦气作为载气,流速为 1.0 mL/min,进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。升温程序:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 120 $^{\circ}\text{C}$,以 80 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 220 $^{\circ}\text{C}$,持续 10 min。

质谱条件:离子源为电子轰击离子源,电子能量 70 eV,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$,扫描质量范围 m/z 33~450。

1.6 数据处理及相对含量计算

通过美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)谱库进行化合物的检索与分析,峰面积归一化法确定样品中各香气成分的相对含量^[10],其计算公式如下。

$$X = \frac{m}{n} \times 100$$

式中: X 为相对含量,%; m 为单组份物质的峰面积; n 为总峰面积。

1.7 相对气味活度值

采用相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)的方法评价各挥发性化合物对样品总体风味的贡献,对样品总体风味贡献最大的组分定义为 $\text{ROAV}_{\text{stan}}=100$,当挥发性成分 $\text{ROAV} \geq 1.0$ 时,认为其对样品风味有重要贡献,为关键性风味物质,当 $0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$ 时,认为其对样品风味有重要的修饰作用,为修饰性风味物质。挥发性风味成分的 $\text{ROAV}(R)$ 计算如公式如下。

$$R_i \approx 100 \times \frac{C_i}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_i}$$

式中: C_i 为样品中某一种物质的相对含量,%; C_{stan} 为样品整体风味体系中贡献最大物质的相对含量,%; T_i 为各物质的感觉阈值; T_{stan} 为样品整体风味体系中贡献最大物质的感觉阈值。

1.8 感官评价

汤色、香气、滋味是影响茶品质的 3 个重要指标,参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》^[11]确定各因素的权重为外形 10%、汤色 20%、香气 35%、滋味 35%。

1.9 数据处理

采用 Microsoft Excel 2021 对数据进行汇总, Origin 2022 软件绘图, SPSS 27.0 对数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 藜麦茶与藜麦芽茶香气成分分析

两种茶香气成分及相对含量见表 1。

表 1 两种茶香气成分及相对含量

Table 1 Aroma components and their relative content of two kinds of tea

序号	类别	名称	分子式	相对含量/%	
				藜麦茶	藜麦芽茶
1	醛类	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	4.26	3.73
2		3-糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	1.85	1.42
3		壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.32	0.82
4		苯甲醛	C ₇ H ₆ O	5.65	5.90
5		癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	2.39	4.23
6		反-2-辛烯醛	C ₈ H ₆ O	1.03	-
7		戊醛	C ₅ H ₁₀ O	1.48	-
8		甲基壬乙醛	C ₁₂ H ₂₄ O	1.21	-
9		苯乙醛	C ₈ H ₈ O	4.98	6.41
10		十五醛	C ₁₅ H ₃₀ O	2.32	-
11		(E)-2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	-	2.38
12		5-甲基-2-苯基-2-乙 烯醛	C ₁₃ H ₂₆ O	-	4.15
13		十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O	-	1.59
	小计			26.49	30.63
14	酚类	3,5-二叔丁基邻苯 二酚	C ₁₄ H ₂₂ O ₂	2.78	-
15		2-甲氧基-4-烯丙 基酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	4.94	-
16		(E)-2-甲氧基-4-(1- 丙烯基苯酚)	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	2.32	1.89
17		丁香酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.97	4.34
18		异丁香酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	2.33
19		4-乙烯基-2-甲氧基苯 酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	1.79	1.15
20		2,4-二叔丁基苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	-	2.69
21		3,5-二叔丁基苯酚	C ₁₄ H ₂₂ O	-	0.76
22		2,3,5,6-四甲基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	1.61
23		香芹酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	0.90
24		邻丁子香酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	-	1.71
25		百里香酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	2.61
26		2-叔丁基苯酚	C ₁₀ H ₁₄ O	-	0.73
	小计			12.80	20.72
27	酯类	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	3.31	3.19
28		油酸甲酯	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	-	0.82
29		呋喃甲酸丁酯	C ₉ H ₁₂ O ₃	1.09	-
30		水杨酸三甲环己酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₃	1.95	-
31		2-呋喃羧酸烯丙酯	C ₈ H ₈ O	-	0.82
32		邻苯二甲酸二异 丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	-	1.67

续表 1 两种茶香气成分及相对含量

Continue table 1 Aroma components and their relative content of two kinds of tea

序号	类别	名称	分子式	相对含量/%	
				藜麦茶	藜麦芽茶
33		邻苯二甲酸丁苄酯	C ₁₆ H ₂₀ O ₄	-	0.73
	小计			6.35	7.23
34	酸类	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	3.89	4.90
35		十三酸	C ₁₃ H ₂₆ O ₃	2.47	-
36		硬脂酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1.19	0.87
37		肉豆蔻酸	C ₁₈ H ₂₈ O ₂	1.13	0.72
38		反式-13-十八碳烯酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-	1.96
39		油酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-	0.91
40		月桂酸	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	-	0.72
	小计			8.68	10.08
41	醇类	2-癸烯-1-醇	C ₁₀ H ₂₀ O	1.19	-
42		异二十醇	C ₂₀ H ₄₂ O	0.96	-
43		己基癸醇	C ₁₆ H ₃₄ O	-	1.53
44		二十一醇	C ₂₁ H ₄₄ O	-	0.96
45		1-十五醇	C ₁₅ H ₃₂ O	-	0.81
46		1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	0.73
	小计			2.15	4.03
47	酮类	香叶基丙酮	C ₁₃ H ₂₂ O	-	0.90
48		2-羟基-5-甲基苯 乙酮	C ₉ H ₁₀ O ₂	0.72	1.57
49		4-羟基-3-甲基苯 乙酮	C ₉ H ₁₀ O ₂	1.96	0.72
	小计			2.68	3.19
50	烯炔	香茅烯	C ₁₀ H ₁₈	1.72	-
51		1-十九烯	C ₁₉ H ₃₈	0.83	0.82
52		1-二十烯	C ₂₀ H ₄₀	-	1.70
53		1-十一烯	C ₁₁ H ₂₂	0.72	1.49
54		环庚三烯	C ₇ H ₈	1.53	-
	小计			4.80	4.01
55	烷烃	二十烷	C ₂₀ H ₄₂	-	1.24
56		十二烷	C ₁₂ H ₂₆	0.51	0.72
57		十六烷	C ₁₆ H ₃₄	2.55	0.73
58		十八烷	C ₁₈ H ₃₈	1.21	0.72
	小计			4.27	3.41
59	吡嗪	2-甲基吡嗪	C ₅ H ₆ N ₂	5.06	-
60		2,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	1.03	-
61		2-乙基-5-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	6.72	-
	小计			12.81	0
62	其他	1-乙烯基咪唑	C ₅ H ₆ N ₂	2.41	-
63		1,2-二甲基胍	C ₂ H ₈ N ₂	1.09	-
64		2-乙酰基呋喃	C ₆ H ₆ O ₂	-	0.82
65		2-乙酰基吡咯	C ₆ H ₇ NO	-	4.86
66		3-乙酰基吡咯	C ₆ H ₇ NO	-	0.78
67		正丙苯	C ₉ H ₁₂	-	0.59
68		1,3-苯并间二氧杂 环戊烯	C ₇ H ₆ O	0.97	-
	小计			4.47	7.05

注:-表示未检测到该成分。

由表1可知,从藜麦茶中鉴定出39种香气成分,总相对含量为85.50%,其中2-乙基-5-甲基吡嗪相对含量最高,为6.72%,其次是苯甲醛、2-甲基吡嗪、苯乙醛、2-甲氧基-4-烯丙基酚、糠醛,相对含量分别为5.65%、5.06%、4.98%、4.94%、4.26%;从藜麦芽茶中鉴定出49种香气成分,总相对含量为90.35%,苯乙醛相对含量最高,为6.41%,其次是苯甲醛、棕榈酸、2-乙酰基吡咯、丁香酚、癸醛、5-甲基-2-苯基-2-乙烯醛,相对含量分别为5.90%、4.90%、4.86%、4.34%、4.23%、4.15%。藜麦茶和藜麦芽茶共同拥有20种香气成分,包括苯甲醛、癸醛、苯乙醛、丁香酚、邻苯二甲酸二丁酯等。

罗秀秀^[12]在藜麦叶红茶、藜麦叶绿茶、藜麦芽红茶、藜麦芽绿茶中均检测出癸醛、壬醛;许珍珍^[13]在藜麦石头饼中检测出苯乙醛、壬醛、反-2-辛烯醛等醛类物质,与本研究结果一致,表明醛类是藜麦产品中的挥

发性成分。藜麦茶中2-乙基-5-甲基吡嗪及2-甲基吡嗪的相对含量较高,这些物质产生的香气特征主要是坚果香和焙烤香。Rodríguez-Bencomo等^[14]研究发现具有烘烤香的2-乙基-5-甲基吡嗪赋予焙烤开心果强烈的坚果香和咖啡香。研究表明,在茶香气成分中,醛类中的壬醛有青草味、癸醛有香甜味、苯乙醛有一种浓郁的玉簪花香^[15-16]。周洋等^[17]通过研究不同烘烤、热蒸汽处理和挤压膨化处理对藜麦风味的影响,发现苯乙醛、壬醛、反-2-辛烯醛、癸醛是藜麦加工的关键性风味物质,苯乙醛对烘烤藜麦的熟花生香味贡献最大,这些物质将会对藜麦茶及藜麦芽茶的香气滋味有很大的贡献。在两种茶中棕榈酸、十三酸、硬脂酸等酸类物质的相对含量较高,但这类物质的阈值普遍偏大,因此对样品的整体风味影响不明显^[18]。藜麦茶及藜麦芽茶香气成分种类见图1。

由图1可知,将藜麦茶和藜麦芽茶中的香气成分

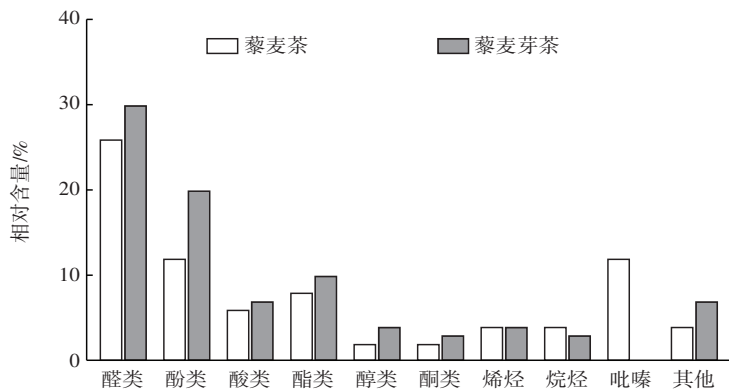


图1 藜麦茶及藜麦芽茶香气成分种类

Fig.1 Types of aroma components of quinoa tea and quinoa sprouts tea

分为10类。藜麦茶香气成分中物质含量最高的是醛类,总相对含量为26.49%,其次是吡嗪类物质和酚类物质,其相对含量分别为12.81%、12.80%,藜麦茶还包括酸类、酯类、醇类、酮类、烯炔、烷炔、吡嗪、其他;藜麦芽茶香气成分中物质含量最高的是醛类,总相对含量为30.36%,其次是酚类物质和酸类物质,其相对含量分别为20.72%、10.08%,藜麦芽茶还包括酯类、醇类、酮类、烯炔、烷炔、其他。

两种茶的香气成分主要以醛类为主,通常具有花果香和清香等香气特征。目前发现藜麦中含有13种脂肪酸,不饱和脂肪酸含量较高,约占脂肪酸含量的88.12%,多不饱和脂肪酸的含量约占脂肪酸的57.28%^[19]。醛类物质主要来源于脂质分子的降解,也有小部分来自于还原糖和氨基酸的美拉德反应^[20],故导致醛类物质含量较高,醛类物质独特的香气可以使藜麦茶及藜麦芽茶的香气更加浓郁,有助于强化食用者的适口感。

2.2 挥发性风味物质 ROAV 分析

通过挥发性化合物相对含量的高低来判定其对样品整体风味的影响并不准确,而是需要结合感觉阈值进行综合性的评价。通过相关文献,共查询到24种香气成分的阈值^[21-22],癸醛的阈值较低为0.1,且两个样品中癸醛的含量相对较高,故将癸醛 ROAV 设定为100,分析结果如表2所示。

由表2可知,藜麦茶和藜麦芽茶共有的关键性风味物质(ROAV \geq 1.0)为壬醛、癸醛、苯乙醛。研究发现,醛类物质大多具有较强的挥发性,且阈值较低,是食品中重要的风味物质。壬醛、癸醛、苯乙醛的 ROAV 较大,ROAV 越大的物质对样品整体风味的贡献程度越大,即使在微量的条件下,也具有较强的叠加风味效应,因此对茶的风味有重要的贡献。丁香酚也是两种茶中共有的风味物质,其香味表现为强烈的丁香及温和的辛香,丁香酚在藜麦芽茶中 ROAV $>$ 1.0,对整体样品风味起着关键性作用,具有重要贡献;但在藜麦茶中

表2 藜麦茶及藜麦芽茶香气成分的 ROAV 值

Table 2 ROAV of aroma components of quinoa tea and quinoa sprouts tea

编号	名称	气味描述	分子式	感觉阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ROAV 值	
					藜麦茶	藜麦芽茶
1	2-甲基吡嗪	烘烤香、可可香	$\text{C}_5\text{H}_6\text{N}_2$	60	0.35	-
2	2,5-二甲基吡嗪	可可香、坚果香、烤肉香	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	1 800	<0.01	-
3	2-乙基-5-甲基吡嗪	坚果香	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{N}_2$	100	0.28	-
4	糠醛	焦糖味	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	3 000	0.01	<0.01
5	壬醛	脂香、青草香	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	1	5.51	1.95
6	苯甲醛	杏仁香、坚果香	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	350	0.07	0.04
7	癸醛	甜香、柑橘香、蜡香、花香	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	0.1	100.00	100.00
8	反-2-辛烯醛	坚果香、脂香	$\text{C}_{18}\text{H}_{14}\text{O}$	3	1.44	-
9	苯乙醛	花香、风信子香	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	4	5.21	3.78
10	戊醛	特殊气味		12	0.52	-
11	十一醛	甜橙香、脂香	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	5	-	0.36
12	(E)-2-庚烯醛	青草香、脂香	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	13	-	0.43
13	棕榈酸	蜡香	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	10 000	<0.01	<0.01
14	硬脂酸	脂香	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	20 000	<0.01	<0.01
15	肉豆蔻酸	蜡香、脂香	$\text{C}_{18}\text{H}_{28}\text{O}_2$	10 000	<0.01	<0.01
16	月桂酸	月桂香	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	10 000	-	<0.01
17	2,4-二叔丁基苯酚	特殊气味	$\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}$	200	-	0.03
18	丁香酚	辛草香	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	6	0.67	2.11
19	百里香酚	辛草香、樟脑香、木香	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	50	-	0.12
20	1-辛烯-3-醇	蘑菇香	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	1	-	1.73
21	香叶基丙酮	木兰香、甜香	$\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{O}$	60	-	0.04
22	二十烷	特殊气味	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	2 040	-	<0.01
23	2-乙酰基呋喃	焦香、甜香	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	10 000	-	<0.01
24	2-乙酰基吡咯	烘烤香	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	170 000	-	<0.01

注:-表示未检测到该成分。

丁香酚 $0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$, 即使贡献作用稍弱, 但对整体样品风味也起着非常重要的修饰作用, 为产品的风味提供了一定的层次感。

反-2-辛烯醛是藜麦茶特有的关键性风味物质, 主要呈现的香味特征是坚果香、脂香, 2-乙基-5-甲基吡嗪 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$)、戊醛 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$) 是藜麦茶中特有的修饰性风味物质。醇类物质主要是由糖代谢、氨基酸脱氢脱羧作用产生^[23], 通常呈现花果香。1-辛烯-3-醇是藜麦芽茶中特有的关键性风味物质, 主要呈现的香味特征是蘑菇香和干草香, 醇类物质不仅可以使香

气拥有浓郁、纯正、持久的特点, 还可以使茶汤产生滋味醇厚、回味甘甜的口感。饱和醇类的阈值较高, 在较高浓度下才会对样品整体风味有较大的影响。1-辛烯-3-醇是一种不饱和醇, 阈值相对较低, 对藜麦芽茶有较大的贡献作用^[24]。十一醛 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$)、(E)-2-庚烯醛 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$)、百里香酚 ($0.1 \leq \text{ROAV} < 1.0$) 是藜麦芽茶中特有的修饰性风味物质, 对样品的整体风味有重要的辅助作用。

2.3 藜麦茶及藜麦芽茶感官评价

藜麦茶及藜麦芽茶感官评价结果见表3。

表3 藜麦茶及藜麦芽茶感官评价

Table 3 Sensory evaluation of quinoa tea and quinoa sprouts tea

茶品	外形		汤色		香气		滋味		总分
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
藜麦茶	完整、金黄	82.28	清澈、透亮、浅黄色	83.31	焦香、纯正、稍持久	86.16	清甜	83.27	83.76
藜麦芽茶	稍不完整、金黄	81.56	清澈、透亮、金黄色	84.71	焦香、纯正、持久	89.23	清甜	84.92	85.11

由表3可知,藜麦茶及藜麦芽茶感官稍有不同。藜麦茶外形完整,呈金黄色,汤色清澈、透亮、表现为浅黄色,香气纯正、稍持久,有浓郁的焦香气味,口感清甜,总分为83.76;藜麦芽茶外形的稍不完整性是由于藜麦芽比较脆弱,在处理过程中有损坏,颜色呈现为金黄色,汤色清澈、透亮、表现为金黄色,香气纯正、持久,有浓郁的焦香气味,口感清甜,总分为85.11。

3 结论

通过GC-MS定量分析藜麦茶和藜麦芽茶的香气成分,分别鉴定出39种和49种香气成分。藜麦茶中主要的香气成分为2-乙基-5-甲基吡嗪(6.72%)、苯甲醛(5.65%)、2-甲基吡嗪(5.06%)、苯乙醛(4.98%)、2-甲氧基-4-烯丙基酚(4.94%)、糠醛(4.26%),其中醛类物质相对含量最多;藜麦芽茶中主要的香气成分为苯乙醛(6.41%)、苯甲醛(5.90%)、棕榈酸(4.90%)、2-乙酰基吡咯(4.86%)、丁香酚(4.34%)、癸醛(4.23%)、5-甲基-2-苯基-2-乙烯醛(4.15%),醛类物质含量最多。ROAV分析藜麦茶香气成分中,癸醛、壬醛、苯乙醛、反-2-辛烯醛为关键性香气成分,2-甲基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪、戊醛、丁香酚为修饰性香气成分;藜麦芽茶香气成分中,癸醛、苯乙醛、丁香酚、壬醛、1-辛烯-3-醇为关键性香气成分,十一醛、(E)-2-庚烯醛、百里香酚为修饰性香气成分。藜麦茶感官评分为83.76,藜麦芽茶感官评分为85.11。

本研究结果表明藜麦茶及藜麦芽茶的挥发性成分主要为醛类、酚类、酯类、酸类、醇类等其他物质,这些物质共同形成了藜麦茶及藜麦芽茶独特的香气。香气特征是由各挥发性物质的含量、感觉阈值以及各物质间相互作用决定的,而香气特征的识别也需要人体感官的参与才能完成。本研究采用顶空固相微萃取结合感官评定对香气成分进行鉴定以及香气特征的描述,但顶空固相微萃取方法仅能简单、快速地检测出茶中大部分挥发性成分,其余挥发性组分难以检测到,因此可结合其他方法进一步对挥发性成分进行测定,从而为藜麦产品的开发利用提供参考。

参考文献:

- [1] 李敏,张倩芳,栗红瑜,等.加工方式对藜麦化学成分及风味的影响[J].农产品加工,2021(17):43-45,48.
LI Min, ZHANG Qianfang, LI Hongyu, et al. Effects of processing methods on chemical composition and flavor of quinoa[J]. Agricultural Product Processing, 2021(17):43-45,48.
- [2] 张艺沛,张婷,史一恒,等.藜麦茶加工工艺及酚类物质组成分析[J].食品科学,2019,40(12):267-274.
ZHANG Yipei, ZHANG Ting, SHI Yiheng, et al. Optimization of processing conditions and phenolic composition analysis of quinoa tea[J]. Food Science, 2019, 40(12): 267-274.
- [3] PRZYBYLSKI R, CHAUHAN G, ESKIN N. Characterization of qui-

- noa (*Chenopodium quinoa*) lipids[J]. Food Chemistry, 1994, 51(2): 187-192.
- [4] PEIRETTI P G, GAI F, TASSONE S. Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 183(1/2): 56-61.
- [5] 聂攀,曾辉,陆军,等.焙烤温度对藜麦理化特性的影响[J].食品研究与开发,2022,43(14):105-111.
NIE Pan, ZENG Hui, LU Jun, et al. Effect of roasting temperature on physicochemical properties of quinoa[J]. Food Research and Development, 2022, 43(14): 105-111.
- [6] 党斌.青海藜麦资源酚类物质及其抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2019,40(17):30-37.
DANG Bin. Analysis on phenols and antioxidant activities of quinoa resources in Qinghai[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(17): 30-37.
- [7] 韩雅盟.不同加工方式对藜麦酚类物质及其抗氧化活性的影响[D].太原:山西大学,2019.
HAN Yameng. Effects of different processing methods on phenolic compounds and their antioxidant activities in quinoa[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2019.
- [8] LIM J G, PARK H M, YOON K S. Analysis of saponin composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(1): 694-702.
- [9] 张艺沛.藜麦茶的加工工艺及功能成分研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
ZHANG Yipei. Study on processing technology and functional components of *Chenopodium album* tea[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.
- [10] 王永瑞,张雪艳,肖何,等.HS-SPME-GC-MS结合ROAV法对新疆刺槐花香气成分的研究[J].中国食品添加剂,2018(7):176-181.
WANG Yongrui, ZHANG Xueyan, XIAO He, et al. Analysis of aroma components in *Sophora japonica* L. of Xinjiang by HS-SPME-GC-MS and ROAV[J]. China Food Additives, 2018(7): 176-181.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.茶叶感官审评方法:GB/T 23776—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Methodology for sensory evaluation of tea: GB/T 23776—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [12] 罗秀秀.藜麦茶主要营养功能成分分析及抗氧化评价研究[D].北京:中国农业科学院,2018.
LUO Xiuxiu. Analysis of main nutritional functional components and antioxidant evaluation of *Chenopodium album* tea[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [13] 许珍珍.功能性藜麦石头饼加工工艺及挥发性成分研究[D].太原:山西大学,2020.
XU Zhenzhen. Study on processing technology and volatile components of functional quinoa stone cake[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2020.
- [14] RODRÍGUEZ-BENCOMO J J, KELEBEK H, SONMEZDAG A S, et al. Characterization of the aroma-active, phenolic, and lipid profiles of the pistachio (*Pistacia vera* L.) nut as affected by the single and double roasting process[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(35): 7830-7839.
- [15] DU L P, LI J X, LI W, et al. Characterization of volatile compounds

- of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research International, 2014, 57: 61-70.
- [16] XU Y Q, WANG C, LI C W, et al. Characterization of aroma-active compounds of Pu-erh tea by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation-extraction (SDE) coupled with GC-olfactometry and GC-MS[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(5): 1188-1198.
- [17] 周洋, 李璐, 吕莹. 烘烤、蒸汽热处理和挤压膨化对藜麦风味和苦味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 263-269.
ZHOU Yang, LI Lu, LV Ying. Effects of roasting, steaming and extrusion on the flavor and bitterness of quinoa[J]. Food Science, 2020, 41(20): 263-269.
- [18] 胥伟, 姜依何, 田双红, 等. 基于 GC-MS 和 PCA 分析黑毛茶高湿霉变过程挥发性组分[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 198-205.
XU Wei, JIANG Yihe, TIAN Shuanghong, et al. Analysis of volatile compounds of mildewed raw dark tea exposed to high humidity based on GC-MS and PCA[J]. Food Science, 2019, 40(14): 198-205.
- [19] PRAKASH D, PAL M. *Chenopodium*: Seed protein, fractionation and amino acid composition[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1998, 49(4): 271-275.
- [20] YANG Y, ZHANG X, WANG Y, et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of Chinese bacon (un-smoked) during processing[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119(10): 1600512.
- [21] 孙宝国. 食用调香术[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2010.
SUN Baoguo. Edible flavoring[M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [22] RUTH J H. Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: A review[J]. American Industrial Hygiene Association Journal, 1986, 47(3): A142-A151.
- [23] YE Y T, WANG L X, ZHAN P, et al. Characterization of the aroma compounds of millet Huangjiu at different fermentation stages[J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130691.
- [24] 李欢康, 杨佳玮, 刘文玉, 等. 不同工艺核桃油挥发性物质比对及关键香气成分表征[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 185-192.
LI Huankang, YANG Jiawei, LIU Wenyu, et al. Comparison of volatile substances and characterization of key aroma components in walnut oil from different processes[J]. Food Science, 2021, 42(16): 185-192.

责任编辑:冯娜

收稿日期:2023-11-21